HTB
DHV3T

М. П. С.

ЕКАТЕРИНОСЛАВСКОЕ

ТЕХНИЧЕСКОЕ

ЖЕЛѢЗНОДОРОЖНОЕ

УЧИЛИЩЕ.

НТБ
ДНУЗТ

Книга

„HÜTTE“

СПРАВОЧНАЯ КНИГА

1990

ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВЪ, АРХИТЕКТОРОВЪ, МЕХАНИКОВЪ и СТУДЕНТОВЪ,

съ дополненіями

ДЛЯ РУССКИХЪ ТЕХНИКОВЪ,

40
ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ

инженера Г. Л. Зандберга.

230326

Пятое изданіе, переработанное, исправленное и значительно дополненное.

Болѣе 1200 чертежей въ текстѣ, рѣзанныхъ на деревѣ.

Часть I.

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІВ ТРАНСПОРТУ БІБЛІОТЕКА КНИЖНЫЙ МАГАЗИНЪ

ПОСТАВЩ. ДВОРА ЕГО ВЕЛИЧЕСТВА Т-во СКОРОПЕЧ. А. А. ЛЕВЕНСОНЪ
МОСКВА, ТВЕРСКАЯ, МАМОНОВСКІЙ ПЕР., СОБ. Д.

1902.

НТБ ДНУЗТ

СПРАВОЧНАЯ КНИГА

ДЛЯ

ИНЖЕНЕРОВЪ, АРХИТЕКТОРОВЪ,

МЕХАНИКОВЪ и СТУДЕНТОВЪ.

НТБ
ДНУЗТ

ОГЛАВЛЕНІЕ

ПЕРВОЙ ЧАСТИ.

ПЕРВЫЙ ОТДѢЛЪ.

Математика.

I. Таблицы.

	Стр.
A. Таблицы степеней, корней, бригговыхъ логариѳмовъ, обратныхъ величинъ, окружностей и площадей круга	1
B. Окружности и площади круга для діаметра отъ $^1/_8$ до $99^7{}_8$ . .	22
C. Натуральные логариемы . .	24
D. Таблицы круговыхъ функцій	26
E. Таблицы гиперболическихъ функцій .	30
F. Правильные многоугольники .	35
G. Коэффиціенты бинома Ньютона .	35
H. Произведенія 1! до 12!	35
J. Длины и стрѣлы дугъ, длины хордъ и площади сегментовъ для радіуса = 1.	36
K. Объемы шара для діаметра 1 до 200	38
L. Таблицы дѣлителей для нечетныхъ чиселъ отъ 1 до 99 .	39
M. Часто встрѣчающіяся числовыя величины . .	40
N. Квадратные и кубическіе корни нѣкоторыхъ дробей	41
Примѣчанія къ таблицамъ .	41

II. Ариѳметика.

A. Степеня, корни, логариомы .	43
B. Теорія сочетаній .	47
C. Опредѣлители.	47
D. Уравненія	49
E. Разсчетъ сложныхъ процентовъ и рентъ	56
F. Ряды	58

III. Круговыя и гиперболическія функціи.

A. Круговыя функціи .	60
B. Плоскіе треугольники . .	64
C. Сферическіе треугольники.	66
D. Гиперболическія функціи .	67

IV. Дифференціальное и интегральное исчисленіе.

A. Формулы для дифференцированія	69
B. Ряды Тайлора и Маклорена	70
C. Опредѣленіе величинъ, являющихся въ видѣ неопредѣленностей .	71

НТБ ДНУЗТ

стр.
D. Maxima и Minima. 72
E. Разложеніе раціональныхъ дробей на частныя дроби 73
F. Формулы для интегрированія . 74
G. Дифференціальныя уравненія 83

V. Теорія вѣроятностей и теорія ошибокъ при наблюденіяхъ . 87

VI. Аналитическая геометрія.

B. Точка и прямая линія въ плоскости 93
C. Плоскія кривыя 96
D. Точка, линія и плоскость въ пространств 121
A Кривыя двойной кривизны . . 125
E. Кривыя поверхности 127

VII. Площади, объемы и поверхности тѣлъ.

A. Площади плоскихъ тѣлъ. . 131
B. Объемы и поверхности тѣлъ 134

VIII. Параллельная перспектива 140

ВТОРОЙ ОТДѢЛЪ.

Механика.

I. Геометрическіе законы движенія.

A. Движеніе точки . . 143
B. Движеніе твердыхъ тѣлъ . 150

II. Статика твердыхъ тѣлъ.

A. Силы и пары силъ 161
B. Равновѣсіе силъ въ подпертыхъ твердыхъ тѣлахъ . 169
C. Центръ параллельныхъ силъ и центръ тяжести. . 172
D. Моменты инерцій . . 181

III. Динамика твердыхъ тѣлъ.

A. Объясненія, мѣры и основные 194
B. Движенія матеріальной точки 196
C. Движеніе системы массъ . 206
D. Ударъ . 213

IV. Сопротивленіе отъ тренія и жесткости.

A. Коэффиціенты тренія . 215
B. Соотношеній силъ и работъ въ частахъ передачъ 221

V. Статика жидкихъ тѣлъ. 237

VI. Динамика жидкихъ тѣлъ.

A. Общіе законы 240
B. Истеченіе воды наъ отверстій 246
C. Треніе воды въ трубопроводахъ . 249
D. Рѣки и каналы и сооруженія на нихъ . . 257
E. Прохожденіе (просачиваніе) воды черезъ различные грунты 266

НТБ ДНУЗТ

Стр.
E. Высота подъема свободной фонтанной струи . 268
G. Ударъ воды о твердыя тѣла . . 269
H. Обмѣръ воды. 272

VII. Механика газовъ и паровъ.

A. Общія данныя . . 274
B. Уравненія состоянія газовъ и паровъ . . . 276
C. Измѣненіе состоянія газовъ, паровъ и смѣсей . 285
D. Истеченіе газовъ и паровъ изъ сосудовъ . . 294
E. Движеніе газовъ и паровъ по трубопроводамъ . 299
F. Давленіе и сопротивленіе вѣтра . 306

ТРЕТІЙ ОТДѢЛЪ.

Теплота

A. Измѣреніе теплоты 311
B. Расширеніе тѣлъ отъ теплоты 314
C. Теплоемкость 317
D. Измѣненіе строенія тѣлъ отъ теплоты 320
E. Горѣніе, теплопроизводительность и паропроизводительность 322
F. Механическая теорія теплоты . . 327

ЧЕТВЕРТЫЙ ОТДѢЛЪ.

Сопротивленіе матеріаловъ.

I. Общіе законы и опытныя данныя.

A. Объясненія и общіе законы 330
B. Коэффиціентъ упругости и сопротивленія 334
C. Допускаемыя напряженія . . 340

II. Сопротивленіе прямыхъ брусьевъ.

A. Сопротивленіе растяженію и сжатію 344
B. Сопротивленіе продольному изгибу 347
C. Сопротивленіе сдвиженію . . 351
D. Сопротивленіе изгибу . . 352
E. Сопротивленіе скручиванію . 397
F. Сложное сопротивленіе . 400

III. Сопротивленіе рессоръ. 413

IV. Сопротивленіе стѣнокъ цилиндрическихъ сосудовъ и плоскихъ дискообразныхъ тѣлъ. 419

ПЯТЫЙ ОТДѢЛЪ.

Детали машинъ.

I. Части для соединенія деталей машинъ.

A. Клинья 424
B. Винты и болты 426
C. Заклепки . . 437

НТБ ДНУЗТ

II. Машинныя части для вращательнаго движенія.

	Стр.
A. Зубчатыя колеса .	447
B. Фрикціонныя колеса	468
C. Ремешки и веревочная передачи	469
D. Цапфы (шины) .	488
E. Оси и валы .	492
F. Соодиненіе валовъ	496
G. Подшипники .	500

III. Детали грузоподъемныхъ машинъ.

A. Ремни, пояса и барабаны къ нимъ .	507
B. Канаты, канатные шкивы и барабаны .	508
C. Цѣпи, цѣпныя колеса и барабаны .	514
D. Крюки и ушки . .	521

IV. Механизмы для останова и тормаженія.

A. Остановы	524
B. Тормаза .	525

V. Поршни, стержни ихъ и сальники.

A. Поршни	530
B. Поршневые стержни	535
C. Сальники. .	537

VI. Механизмъ кривошипа и шатуна.

A. Соотношеніе движеній поршня и кривошипа .	539
B. Соотношенія силъ и работъ . .	544
C. Кривошипы и эксцентрики	546
D. Шатуны . .	550
E. Крестовины (кулаки, крейцкопфы)	555
F. Шарнирные механизмы для полученія прямолинейнаго движенія.	557

VII. Цилиндры насосовъ и прессовъ, трубы, задвижки и клапаны.

A. Цилиндры .	561
B. Трубы	563
C. Клапаны	584

VIII. Регуляторы движенія машинъ.

A. Маховыя колеса для машинъ-двигателей .	590
B. Центробѣжные регуляторы .	596

ШЕСТОЙ ОТДѢЛЪ.

Рабочія машины.

I. Станки.

A. Станки для обработки металловъ .	619
B. Стаики для обработки дерева .	634

НТБ ДНУЗТ

II. Машины для подъема грузовъ.

	Стр.
A. Блоки .	638
B. Полиспасты . . .	639
C. Домкраты прямого дѣйствія	641
D. Лебедки . .	642
E. Краны	646

III. Гидравлическія подъемныя машины.

A. Ручной приводъ .	662
B. Машинный приводъ	662
C. Гидравлическіе краны	666
IV. Подъемники .	672
V. Подъемныя машины	678
VI. Машины для перемѣщенія сыпучихъ тѣлъ .	646

VII. Машины для подъема жидкихъ тѣлъ.

A. Черпательныя машины .	698
B. Насосы	699

VIII. Воздуходувки и компрессоры.

A. Общія данныя .	719
B. Вентиляторы . .	720
C. Цилиндрическія воздуходувныя машины и компрессоры	729
D. Цилиндрическіе вентиляторы	737
E. Паростpуйные вентиляторы	738

СЕДЬМОЙ ОТДѢЛЪ.

Машины-двигатели.

I. Живые двигатели	740

II. Водяные двигатели.

A. Водяныя колеса	743
B. Турбины	758
C. Графическое построеніе турбинъ и центробѣжныхъ насосовъ .	769
D. Детали турбинъ. .	774

III. Паровыя машины.

A. Разсчетъ паровыхъ машинъ . .	779
I. Аналитическій разсчетъ	779
II. Разсчетъ паровыхъ машинъ на основаніи діаграммы упругости пара .	798
B. Пораспредѣленіе	807
I. Пораспредѣлительные каналы . . .	807
II. Распредѣленіе простымъ золотникомъ .	809
III. Расширительное пораспредѣленіе . .	824
IV. Механизмы для перемѣны хода машинъ .	832
C. Детали паровыхъ машинъ .	841
D. Паровыя турбины. .	856

НТБ ДНУЗТ

IV. Паровые котлы.

Стр.

Обозначенія. 858
A. Общія данныя. 859
B. Главнѣйшія системы котловъ. 880
C. Детали паровыхъ котловъ. 902
D. Правила относительно устройства, установки и содержанія паровыхъ котловъ, а также порядка освидѣтельствованія опыхъ 944
Техническія правила о паровозныхъ и вагонныхъ паровыхъ котлахъ. 951
E. Данныя для изслѣдованія паровыхъ котловъ и машинъ съ цѣлью опредѣленія ихъ производительности.

V. Газовые двигатели.

ВОСЬМОЙ ОТДѢЛЪ.

Строительные матеріалы.

I. Общія данныя.

A. Химическіе элементы и соединенія. 970
B. Удѣльные вѣса. . 973
C. Вѣса сыпучихъ тѣлъ. 980

II. Металлы.

Общія 982
A. Желѣзо 985
B. Цинкъ. . . 1037
C. Красная мѣдь 1038
D. Свинецъ 1040
E. Олово. 1041
F. Металлическіе сплавы. 1041

III. Естественные камни и земли. . 1045

IV. Искусственные камни. 1049

V. Растворы, штукатурка, цементъ, бетонъ и т. п . 1054

VI. Стекло. . 1072

VII. Растворимое стекло, замазки, асфальтъ, кровельный толь. 1075

VIII. Дерево. 1077

IX. Смазочные матеріалы. 1084

X. Кожаные приводные ремни. . . 1089

ПРИБАВЛЕНІЕ КЪ ВОСЬМОМУ ОТДѢЛУ.

Нормальныя техническія условія на поставку матеріаловъ и издѣлій для желѣзныхъ дорогъ.

1. Паровозы и тендеры 1092
2. Оси. . . 1103
3. Шины. . . . 1105
4. Желѣзныя и стальныя колеса . 1108

НТБ ДНУЗТ

ПЕРВЫЙ ОТДѢЛЪ.

МАТЕМАТИКА.

I. ТАБЛИЦЫ.

(Примѣчанія къ этимъ таблицамъ см. стр. 41 и 42).

А. Таблицы степеней, корней, бригговыхъ логариомовъ, обратныхъ величинъ, окружностей и площадей круга.

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
1	1	1	1,0000	1,0000	0,00000	1000,000	3,142	0,7854	1
2	4	8	1,4142	1,2599	0,30103	500,000	6,283	3,1416	2
3	9	27	1,7321	1,4422	0,47712	333,333	9,425	7,0686	3
4	16	64	2,0000	1,5874	0,60206	250,000	12,566	12,5664	4
5	25	125	2,2361	1,7100	0,69897	200,000	15,708	19,6350	5
6	36	216	2,4495	1,8171	0,77815	166,667	18,850	28,2743	6
7	49	343	2,6458	1,9129	0,84510	142,857	21,991	38,4845	7
8	64	512	2,8284	2,0000	0,90309	125,000	25,133	50,2655	8
9	81	729	3,0000	2,0801	0,95424	111,111	28,274	63,6173	9
10	100	1000	3,1623	2,1544	1,00000	100,000	31,416	78,5398	10
11	121	1331	3,3166	2,2240	1,04139	90,9091	34,558	95,0332	11
12	144	1728	3,4641	2,2894	1,07918	83,3333	37,699	113,097	12
13	169	2197	3,6056	2,3513	1,11394	76,9231	40,841	132,732	13
14	196	2744	3,7417	2,4101	1,14613	71,4286	43,982	153,938	14
15	225	3375	3,8730	2,4662	1,17609	66,6667	47,124	176,715	15
16	256	4096	4,0000	2,5198	1,20412	62,5000	50,265	201,062	16
17	289	4913	4,1231	2,5713	1,23045	58,8235	53,407	226,980	17
18	324	5832	4,2426	2,6207	1,25527	55,5556	56,549	254,469	18
19	361	6859	4,3589	2,6684	1,27875	52,6316	59,690	283,529	19
20	400	8000	4,4721	2,7144	1,30103	50,0000	62,832	314,159	20
21	401	9261	4,5826	2,7589	1,32222	47,6190	65,973	346,361	21
22	484	10648	4,6904	2,8020	1,34242	45,4545	69,115	380,133	22
23	529	12167	4,7958	2,8439	1,36173	43,4783	72,257	415,476	23
24	576	13824	4,8990	2,8845	1,38021	41,6667	75,398	452,389	24
25	625	15625	5,0000	2,9240	1,39794	40,0000	78,540	490,874	25
26	676	17576	5,0990	2,9625	1,41497	38,4615	81,681	530,929	26
27	729	19683	5,1962	3,0000	1,43136	37,0370	84,823	572,555	27
28	784	21952	5,2915	3,0366	1,44716	35,7143	87,965	615,752	28
29	841	24389	5,3852	3,0723	1,46240	34,4828	91,106	660,520	29
30	900	27000	5,4772	3,1072	1,47712	33,3333	94,248	706,858	30
31	961	29791	5,5678	3,1414	1,49136	32,2581	97,389	754,768	31
32	1024	32768	5,6569	3,1748	1,50515	31,2500	100,531	804,248	32
33	1089	35937	5,7446	3,2075	1,51851	30,3030	103,673	855,299	33
34	1156	39304	5,8310	3,2396	1,53148	29,4118	106,814	907,920	34
35	1225	42875	5,9161	3,2711	1,54407	28,5714	109,956	962,113	35
36	1296	46656	6,0000	3,3019	1,55630	27,7778	113,097	1017,88	36
37	1369	50653	6,0828	3,3322	1,56820	27,0270	116,239	1075,21	37
38	1444	54872	6,1644	3,3620	1,57978	26,3158	119,381	1134,11	38
39	1521	59319	6,2450	3,3912	1,59106	25,6410	122,522	1194,59	39
40	1600	64000	6,3246	3,4200	1,60206	25,0000	125,66	1256,64	40
41	1681	68921	6,4031	3,4482	1,61278	24,3902	128,81	1320,25	41
42	1764	74088	6,4807	3,4760	1,62325	23,8095	131,95	1385,44	42
43	1849	79507	6,5574	3,5034	1,63347	23,2558	135,09	1452,20	43
44	1936	85184	6,6332	3,5303	1,64345	22,7273	138,23	1520,53	44
45	2025	91125	6,7082	3,5569	1,65321	22,2222	141,37	1590,43	45
46	2116	97336	6,7823	3,5830	1,66276	21,7391	144,51	1661,90	46
47	2209	103823	6,8557	3,6088	1,67210	21,2766	147,65	1734,94	47
48	2304	110592	6,9282	3,6342	1,68124	20,8333	150,80	1809,56	48
49	2401	117649	7,0000	3,6593	1,69020	20,4082	153,94	1885,74	49
50	2500	125000	7,0711	3,6840	1,69897	20,0000	157,08	1963,50	50

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
50	2500	125000	7,0711	3,6840	1,69897	20,0000	157,08	1963,50	**50**
51	2601	132651	7,1414	3,7084	1,70757	19,6078	160,22	2042,82	51
52	2704	140608	7,2111	3,7325	1,71600	19,2308	163,36	2123,72	52
53	2809	148877	7,2801	3,7563	1,72428	18,8679	166,50	2206,18	53
54	2916	157464	7,3485	3,7798	1,73239	18,5185	169,65	2290,22	54
55	3025	166375	7,4162	3,8030	1,74036	18,1818	172,79	2375,83	55
56	3136	175616	7,4833	3,8259	1,74819	17,8571	175,93	2463,01	56
57	3249	185193	7,5498	3,8485	1,75587	17,5439	179,07	2551,76	57
58	3364	195112	7,6158	3,8709	1,76343	17,2414	182,21	2642,08	58
59	3481	205379	7,6811	3,8930	1,77085	16,9492	185,35	2733,97	59
60	3600	216000	7,7460	3,9149	1,77815	16.6667	188,50	2827,43	**60**
61	3721	226981	7,8102	3,9365	1,78533	16,3934	191,64	2922,47	61
62	3844	238328	7,8740	3,9579	1,79239	16,1290	194,78	3019,07	62
63	3969	250047	7,9373	3,9791	1,79934	15,8730	197,92	3117,25	63
64	4096	262144	8,0000	4,0000	1,80618	15,6250	201,06	3216,99	64
65	4225	274625	8,0623	4,0207	1,81291	15,3846	204,20	3318,31	65
66	4356	287496	8,1240	4,0412	1,81954	15,1515	207,35	3421,19	66
67	4489	300763	8,1854	4,0615	1,82607	14,9254	210,49	3525,65	67
68	4624	314432	8,2462	4,0817	1,83251	14,7059	213,63	3631,68	68
69	4761	328509	8,3066	4,1016	1,83885	14,4928	216,77	3739.28	69
70	4900	343000	8,3666	4,1213	1,84510	14,2857	219,91	3848,45	**70**
71	5041	357911	8,4261	4,1408	1,85126	14,0845	223,05	3959,19	71
72	5184	373248	8,4853	4,1602	1,85733	13,8889	226,19	4071,50	72
73	5329	389017	8,5440	4,1793	1,86332	13,6986	229,34	4185,39	73
74	5476	405224	8,6023	4,1983	1,86923	13,5135	232,48	4300,84	74
75	5625	421875	8,6603	4,2172	1,87506	13,3333	235,62	4417,86	75
76	5776	438976	8,7178	4,2358	1,88081	13,1579	238,76	4536,46	76
77	5929	456533	8,7750	4,2543	1,88649	12,9870	241,90	4656,63	77
78	6084	474552	8,8318	4,2727	1,89209	12,8205	245,04	4778,36	78
79	6241	493039	8,8882	4,2908	1,89763	12,6582	248,19	4901,67	79
80	6400	512000	8,9443	4,3089	1,90309	12,5000	251,33	5026,55	**80**
81	6561	531441	9,0000	4,3267	1,90849	12,3457	254,47	5153,00	81
82	6724	551368	9,0554	4,3445	1,91381	12,1951	257,61	5281,02	82
83	6889	571787	9,1104	4,3621	1,91908	12,0482	260,75	5410,61	83
84	7056	592704	9,1652	4,3795	1,92428	11,9048	263,89	5541,77	84
85	7225	614125	9,2195	4,3968	1,92942	11,7647	267,04	5674,50	85
86	7396	636056	9,2736	4,4140	1,93450	11,6279	270,18	5808,80	86
87	7569	658503	9,3274	4,4310	1,93952	11,4943	273,32	5944,68	87
88	7744	681472	9,3808	4,4480	1,94448	11,3636	276,46	6082,12	88
89	7921	704969	9,4340	4,4647	1,94939	11,2360	279,60	6221,14	89
90	8100	729000	9,4868	4,4814	1,95424	11,1111	282,74	6361,73	**90**
91	8281	753571	9,5394	4,4979	1,95904	10,9890	285,88	6503,88	91
92	8464	778688	9,5917	4,5144	1,96379	10,8696	289,03	6647,61	92
93	8649	804357	9,6437	4,5307	1,96848	10,7527	292,17	6792,91	93
94	8836	830584	9,6954	4,5468	1,97313	10,6383	295,31	6939,78	94
95	9025	857375	9,7468	4,5629	1,97772	10,5263	298,45	7088,22	95
96	9216	884736	9,7980	4,5789	1,98227	10,4167	301,59	7238,23	96
97	9409	912673	9,8489	4,5947	1,98677	10,3093	304,73	7389,81	97
98	9604	941192	9,8995	4,6104	1,99123	10,2041	307,88	7542,96	98
99	9801	970299	9,9499	4,6261	1,99564	10,1010	311,02	7697,69	99
100	10000	1000000	10,0000	4,6416	2,00000	10,0000	314,16	7853,98	**100**

ИТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	log n	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
100	10000	1000000	10,0000	4,6416	2,00000	10,0000	314,16	7853,98	**100**
101	10201	1030301	10,0499	4,6570	2,00432	9,90099	317,30	8011,85	101
102	10404	1061208	10,0995	4,6723	2,00860	9,80392	320,44	8171,28	102
103	10609	1092727	10,1489	4,6875	2,01284	9,70874	323,58	8332,29	103
104	10816	1124864	10,1980	4,7027	2,01703	9,61538	326,73	8494,87	104
105	11025	1157625	10,2470	4,7177	2,02119	9,52381	329,87	8659,01	105
106	11236	1191016	10,2956	4,7326	2,02531	9,43396	333,01	8824,73	106
107	11449	1225043	10,3441	4,7475	2,02938	9,34579	336,15	8992,02	107
108	11664	1259712	10,3923	4,7622	2,03342	9,25926	339,29	9160,88	108
109	11881	1295029	10,4403	4,7769	2,03743	9,17431	342,43	9331,32	109
110	12100	1331000	10,4881	4,7914	2,04139	9,09091	345,58	9503,32	**110**
111	12321	1367631	10,5357	4,8059	2,04532	9,00901	348,72	9676,89	111
112	12544	1404928	10,5830	4,8203	2,04922	8,92857	351,86	9852,03	112
113	12769	1442897	10,6301	4,8346	2,05308	8,84956	355,00	10028,7	113
114	12996	1481544	10,6771	4,8488	2,05690	8,77193	358,14	10207,0	114
115	13225	1520875	10,7238	4,8629	2,06070	8,69565	361,28	10386,9	115
116	13456	1560896	10,7703	4,8770	2,06446	8,62069	364,42	10568,3	116
117	13689	1601613	10,8167	4,8910	2,06819	8,54701	367,57	10751,3	117
118	13924	1643032	10,8628	4,9049	2,07188	8,47458	370,71	10935,9	118
119	14161	1685159	10,9087	4,9187	2,07555	8,40336	373,85	11122,0	119
120	14400	1728000	10,9545	4,9324	2,07918	8,33333	376,99	11309,7	**120**
121	14641	1771561	11,0000	4,9461	2,08279	8,26446	380,13	11499,0	121
122	14884	1815848	11,0454	4,9597	2,08636	8,19672	383,27	11689,9	122
123	15129	1860867	11,0905	4,9732	2,08991	8,13008	386,42	11882,3	123
124	15376	1906624	11,1355	4,9866	2,09342	8,06452	389,56	12076,3	124
125	15625	1953125	11,1803	5,0000	2,09691	8,00000	392,70	12271,8	125
126	15876	2000376	11,2250	5,0133	2,10037	7,93651	395,84	12469,0	126
127	16129	2048383	11,2694	5,0265	2,10380	7,87402	398,98	12667,7	127
128	16384	2097152	11,3137	5,0397	2,10721	7,81250	402,12	12868,0	128
129	16641	2146689	11,3578	5,0528	2,11059	7,75194	405,27	13069,8	129
130	16900	2197000	11,4018	5,0658	2,11394	7,69231	408,41	13273,2	**130**
131	17161	2248091	11,4455	5,0788	2,11727	7,63359	411,55	13478,2	131
132	17424	2299968	11,4891	5,0916	2,12057	7,57576	414,69	13684,8	132
133	17689	2352637	11,5326	5,1045	2,12385	7,51880	417,83	13892,9	133
134	17956	2406104	11,5758	5,1172	2,12710	7,46269	420,97	14102,6	134
135	18225	2460375	11,6190	5,1299	2,13033	7,40741	424,12	14313,9	135
136	18496	2515456	11,6619	5,1426	2,13354	7,35294	427,26	14526,7	136
137	18769	2571353	11,7047	5,1551	2,13672	7,29927	430,40	14741,1	137
138	19044	2628072	11,7473	5,1676	2,13988	7,24638	433,54	14957,1	138
139	19321	2685619	11,7898	5,1801	2,14301	7,19424	436,68	15174,7	139
140	19600	2744000	11,8322	5,1925	2,14613	7,14286	439,82	15393,8	**140**
141	19881	2803221	11,8743	5,2048	2,14922	7,09220	442,96	15614,5	141
142	20164	2863288	11,9164	5,2171	2,15229	7,04225	446,11	15836,8	142
143	20449	2924207	11,9583	5,2293	2,15534	6,99301	449,25	16060,6	143
144	20736	2985984	12,0000	5,2415	2,15836	6,94444	452,39	16286,0	144
145	21025	3048625	12,0416	5,2536	2,16137	6,89655	455,53	16513,0	145
146	21316	3112136	12,0830	5,2656	2,16435	6,84932	458,67	16741,5	146
147	21609	3176523	12,1244	5,2776	2,16732	6,80272	461,81	16971,7	147
148	21904	3241792	12,1655	5,2896	2,17026	6,75676	464,96	17203,4	148
149	22201	3307949	12,2066	5,3015	2,17319	6,71141	468,10	17436,6	149
150	22500	3375000	12,2474	5,3133	2,17609	6,66667	471,24	17671,5	**150**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
150	22500	3375000	12,2474	5,3133	2,17609	6,66667	471,24	17671,5	**150**
151	22801	3442951	12,2882	5,3251	2,17898	6,62252	474,38	17907,9	151
152	23104	3511808	12,3288	5,3368	2,18184	6,57895	477,52	18145,8	152
153	23409	3581577	12,3693	5,3485	2,18469	6,53595	480,66	18385,4	153
154	23716	3652264	12,4097	5,3601	2,18752	6,49351	483,81	18626,5	154
155	24025	3723875	12,4499	5,3717	2,19033	6,45161	486,95	18869,2	155
156	24336	3796416	12,4900	5,3832	2,19312	6,41026	490,09	19113,4	156
157	24649	3869893	12,5300	5,3947	2,19590	6,36943	493,23	19359,3	157
158	24964	3944312	12,5698	5,4061	2,19866	6,32911	496,37	19606,7	158
159	25281	4019679	12,6095	5,4175	2,20140	6,28931	499,51	19855,7	159
160	25600	4096000	12,6491	5,4288	2,20412	6,25000	502,65	20106,2	**160**
161	25921	4173281	12,6886	5,4401	2,20683	6,21118	505,80	20358,3	161
162	26244	4251528	12,7279	5,4514	2,20952	6,17284	508,94	20612,0	162
163	26569	4330747	12,7671	5,4626	2,21219	6,13497	512,08	20867,2	163
164	26896	4410944	12,8062	5,4737	2,21484	6,09756	515,22	21124,1	164
165	27225	4492125	12,8452	5,4848	2,21748	6,06061	518,36	21382,5	165
166	27556	4574296	12,8841	5,4959	2,22011	6,02410	521,50	21642,4	166
167	27889	4657463	12,9228	5,5069	2,22272	5,98802	524,65	21904,0	167
168	28224	4741632	12,9615	5,5178	2,22531	5,95238	527,79	22167,1	168
169	28561	4826809	13,0000	5,5288	2,22789	5,91716	530,93	22431,8	169
170	28900	4913000	13,0384	5,5397	2,23045	5,88235	534,07	22698,0	**170**
171	29241	5000211	13,0767	5,5505	2,23300	5,84795	537,21	22965,8	171
172	29584	5088448	13,1149	5,5613	2,23553	5,81395	540,35	23235,2	172
173	29929	5177717	13,1529	5,5721	2,23805	5,78035	543,50	23506,2	173
174	30276	5268024	13,1909	5,5828	2,24055	5,74713	546,64	23778,7	174
175	30625	5359375	13,2288	5,5934	2,24304	5,71429	549,78	24052,8	175
176	30976	5451776	13,2665	5,6041	2,24551	5,68182	552,92	24328,5	176
177	31329	5545233	13,3041	5,6147	2,24797	5,64972	556,06	24605,7	177
178	31684	5639752	13,3417	5,6252	2,25042	5,61798	559,20	24884,6	178
179	32041	5735339	13,3791	5,6357	2,25285	5,58659	562,35	25164,9	179
180	32400	5832000	13,4164	5,6462	2,25527	5,55556	565,49	25446,9	**180**
181	32761	5929741	13,4536	5,6567	2,25768	5,52486	568,63	25730,4	181
182	33124	6028568	13,4907	5,6671	2,26007	5,49451	571,77	26015,5	182
183	33489	6128487	13,5277	5,6774	2,26245	5,46448	574,91	26302,2	183
184	33856	6229504	13,5647	5,6877	2,26482	5,43478	578,05	26590,4	184
185	34225	6331625	13,6015	5,6980	2,26717	5,40541	581,19	26880,3	185
186	34596	6434856	13,6382	5,7083	2,26951	5,37634	584,34	27171,6	186
187	34969	6539203	13,6748	5,7185	2,27184	5,34759	587,48	27464,6	187
188	35344	6644672	13,7113	5,7287	2,27416	5,31915	590,62	27759,1	188
189	35721	6751269	13,7477	5,7388	2,27646	5,29101	593,76	28055,2	189
190	36100	6859000	13,7840	5,7489	2,27875	5,26316	596,90	28352,9	**190**
191	36481	6967871	13,8203	5,7590	2,28103	5,23560	600,04	28652,1	191
192	36864	7077888	13,8564	5,7690	2,28330	5,20833	603,19	28952,9	192
193	37249	7189057	13,8924	5,7790	2,28556	5,18135	606,33	29255,3	193
194	37636	7301384	13,9284	5,7890	2,28780	5,15464	609,47	29559,2	194
195	38025	7414875	13,9642	5,7989	2,29003	5,12821	612,61	29864,8	195
196	38416	7529536	14,0000	5,8088	2,29226	5,10204	615,75	30171,9	196
197	38809	7645373	14,0357	5,8186	2,29447	5,07614	618,89	30480,5	197
198	39204	7762392	14,0712	5,8285	2,29667	5,05051	622,04	30790,7	198
199	39601	7880599	14,1067	5,8383	2,29885	5,02513	625,18	31102,6	199
200	40000	8000000	14,1421	5,8480	2,30103	5,00000	628,32	31415,9	**200**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
200	40000	8000000	14,1421	5,8480	2,30103	5,00000	628,32	31415,9	**200**
201	40401	8120601	14,1774	5,8578	2,30320	4,97512	631,46	31730,9	201
202	40804	8242408	14,2127	5,8675	2,30535	4,95050	634,60	32047,4	202
203	41209	8365427	14,2478	5,8771	2,30750	4,92611	637,74	32365,5	203
204	41616	8489664	14,2829	5,8868	2,30963	4,90196	640,88	32685,1	204
205	42025	8615125	14,3178	5,8964	2,31175	4,87805	644,03	33006,4	205
206	42436	8741816	14,3527	5,9059	2,31387	4,85437	647,17	33329,2	206
207	42849	8869743	14,3875	5,9155	2,31597	4,83092	650,31	33653,5	207
208	43264	8998912	14,4222	5,9250	2,31806	4,80769	653,45	33979,5	208
209	43681	9129329	14,4568	5,9345	2,32015	4,78469	656,59	34307,0	209
210	44100	9261000	14,4914	5,9439	2,32222	4,76190	659,73	34636,1	**210**
211	44521	9393931	14,5258	5,9533	2,32428	4,73934	662,88	34966,7	211
212	44944	9528128	14,5602	5,9627	2,32634	4,71698	666,02	35298,9	212
213	45369	9663597	14,5945	5,9721	2,32838	4,69484	669,16	35632,7	213
214	45796	9800344	14,6287	5,9814	2,33041	4,67290	672,30	35968,1	214
215	46225	9938375	14,6629	5,9907	2,33244	4,65116	675,44	36305,0	215
216	46656	10077696	14,6969	6,0000	2,33445	4,62963	678,58	36643,5	216
217	47089	10218313	14,7309	6,0092	2,33646	4,60829	681,73	36983,6	217
218	47524	10360232	14,7648	6,0185	2,33846	4,58716	684,87	37325,3	218
219	47961	10503459	14,7986	6,0277	2,34044	4,56621	688,01	37668,5	219
220	48400	10648000	14,8324	6,0368	2,34242	4,54545	691,15	38013,3	**220**
221	48841	10793861	14,8661	6,0459	2,34439	4,52489	694,29	38359,6	221
222	49284	10941048	14,8997	6,0550	2,34635	4,50450	697,43	38707,6	222
223	49729	11089567	14,9332	6,0641	2,34830	4,48430	700,58	39057,1	223
224	50176	11239424	14,9666	6,0732	2,35025	4,46429	703,72	39408,1	224
225	50625	11390625	15,0000	6,0822	2,35218	4,44444	706,86	39760,8	225
226	51076	11543176	15,0333	6,0912	2,35411	4,42478	710,00	40115,0	226
227	51529	11697083	15,0665	6,1002	2,35603	4,40529	713,14	40470,8	227
228	51984	11852352	15,0997	6,1091	2,35793	4,38596	716,28	40828,1	228
229	52441	12008989	15,1327	6,1180	2,35984	4,36681	719,42	41187,1	229
230	52900	12167000	15,1658	6,1269	2,36173	4,34783	722,57	41547,6	**230**
231	53361	12326391	15,1987	6,1358	2,36361	4,32900	725,71	41909,6	231
232	53824	12487168	15,2315	6,1446	2,36549	4,31034	728,85	42273,3	232
233	54289	12649337	15,2643	6,1534	2,36736	4,29185	731,99	42638,5	233
234	54756	12812904	15,2971	6,1622	2,36922	4,27350	735,13	43005,3	234
235	55225	12977875	15,3297	6,1710	2,37107	4,25532	738,27	43373,6	235
236	55696	13144256	15,3623	6,1797	2,37291	4,23729	741,42	43743,5	236
237	56169	13312053	15,3948	6,1885	2,37475	4,21941	744,56	44115,0	237
238	56644	13481272	15,4272	6,1972	2,37658	4,20168	747,70	44488,1	238
239	57121	13651919	15,4596	6,2058	2,37840	4,18410	750,84	44862,7	239
240	57600	13824000	15,4919	6,2145	2,38021	4,16667	753,98	45238,9	**240**
241	58081	13997521	15,5242	6,2231	2,38202	4,14938	757,12	45616,7	241
242	58564	14172488	15,5563	6,2317	2,38382	4,13223	760,27	45996,1	242
243	59049	14348907	15,5885	6,2403	2,38561	4,11523	763,41	46377,0	243
244	59536	14526784	15,6205	6,2488	2,38739	4,09836	766,55	46759,5	244
245	60025	14706125	15,6525	6,2573	2,38917	4,08163	769,69	47143,5	245
246	60516	14886936	15,6844	6,2658	2,39094	4,06504	772,83	47529,2	246
247	61009	15069223	15,7162	6,2743	2,39270	4,04858	775,97	47916,4	247
248	61504	15252992	15,7480	6,2828	2,39445	4,03226	779,11	48305,1	248
249	62001	15438249	15,7797	6,2912	2,39620	4,01606	782,26	48695,5	249
250	62500	15625000	15,8114	6,2996	2,39794	4,00000	785,40	49087,4	**250**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
250	62500	15625000	15,8114	6,2996	2,39794	4,00000	785,40	49087,4	**250**
251	63001	15813251	15,8430	6,3080	2,39967	3,98406	788,54	49480,9	251
252	63504	16003008	15,8745	6,3164	2,40140	3,96825	791,68	49875,9	252
253	64009	16194277	15,9060	6,3247	2,40312	3,95257	794,82	50272,6	253
254	64516	16387064	15,9374	6,3330	2,40483	3,93701	797,96	50670,7	254
255	65025	16581375	15,9687	6,3413	2,40654	3,92157	801,11	51070,5	255
256	65536	16777216	16,0000	6,3496	2,40824	3,90625	804,25	51471,9	256
257	66049	16974593	16,0312	6,3579	2,40993	3,89105	807,39	51874,8	257
258	66564	17173512	16,0624	6,3661	2,41162	3,87597	810,53	52279,2	258
259	67081	17373979	16,0935	6,3743	2,41330	3,86100	813,67	52685,3	259
260	67600	17576000	16,1245	6,3825	2,41497	3,84615	816,81	53092,9	**260**
261	68121	17779581	16,1555	6,3907	2,41664	3,83142	819,96	53502,1	261
262	68644	17984728	16,1864	6,3988	2,41830	3,81679	823,10	53912,9	262
263	69169	18191447	16,2173	6,4070	2,41996	3,80228	826,24	54325,2	263
264	69696	18399744	16,2481	6,4151	2,42160	3,78788	829,38	54739,1	264
265	70225	18609625	16,2788	6,4232	2,42325	3,77358	832,52	55154,6	265
266	70756	18821096	16,3095	6,4312	2,42488	3,75940	835,66	55571,6	266
267	71289	19034163	16,3401	6,4393	2,42651	3,74532	838,81	55990,3	267
268	71824	19248832	16,3707	6,4473	2,42813	3,73134	841,95	56410,4	268
269	72361	19465109	16,4012	6,4553	2,42975	3,71747	845,09	56832,2	269
270	72900	19683000	16,4317	6,4633	2,43136	3,70370	848,23	57255,5	**270**
271	73441	19902511	16,4621	6,4713	2,43297	3,69004	851,37	57680,4	271
272	73984	20123648	16,4924	6,4792	2,43457	3,67647	854,51	58106,9	272
273	74529	20346417	16,5227	6,4872	2,43616	3,66300	857,65	58534,9	273
274	75076	20570824	16,5529	6,4951	2,43775	3,64964	860,80	58964,6	274
275	75625	20796875	16,5831	6,5030	2,43933	3,63636	863,94	59395,7	275
276	76176	21024576	16,6132	6,5108	2,44091	3,62319	867,08	59828,5	276
277	76729	21253933	16,6433	6,5187	2,44248	3,61011	870,22	60262,8	277
278	77284	21484952	16,6733	6,5265	2,44404	3,59712	873,36	60698,7	278
279	77841	21717639	16,7033	6,5343	2,44560	3,58423	876,50	61136,2	279
280	78400	21952000	16,7332	6,5421	2,44716	3,57143	879,65	61575,2	**280**
281	78961	22188041	16,7631	6,5499	2,44871	3,55872	882,79	62015,8	281
282	79524	22425768	16,7929	6,5577	2,45025	3,54610	885,93	62458,0	282
283	80089	22665187	16,8226	6,5654	2,45179	3,53357	889,07	62901,8	283
284	80656	22906304	16,8523	6,5731	2,45332	3,52113	892,21	63347,1	284
285	81225	23149125	16,8819	6,5808	2,45484	3,50877	895,35	63794,0	285
286	81796	23393656	16,9115	6,5885	2,45637	3,49650	898,50	64242,4	286
287	82369	23639903	16,9411	6,5962	2,45788	3,48432	901,64	64692,5	287
288	82944	23887872	16,9706	6,6039	2,45939	3,47222	904,78	65144,1	288
289	83521	24137569	17,0000	6,6115	2,46090	3,46021	907,92	65597,2	289
290	84100	24389000	17,0294	6,6191	2,46240	3,44828	911,06	66052,0	**290**
291	84681	24642171	17,0587	6,6267	2,46389	3,43643	914,20	66508,3	291
292	85264	24897088	17,0880	6,6343	2,46538	3,42466	917,35	66966,2	292
293	85849	25153757	17,1172	6,6419	2,46687	3,41297	920,49	67425,6	293
294	86436	25412184	17,1464	6,6494	2,46835	3,40136	923,63	67886,7	294
295	87025	25672375	17,1756	6,6569	2,46982	3,38983	926,77	68349,3	295
296	87616	25934336	17,2047	6,6644	2,47129	3,37838	929,91	68813,4	296
297	88209	26198073	17,2337	6,6719	2,47276	3,36700	933,05	69279,2	297
298	88804	26463592	17,2627	6,6794	2,47422	3,35570	936,19	69746,5	298
299	89401	26730899	17,2916	6,6869	2,47567	3,34448	939,34	70215,4	299
300	90000	27000000	17,3205	6,6943	2,47712	3,33333	942,48	70685,8	**300**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
300	90000	27000000	17,3205	6,6943	2,47712	3,33333	942,48	70685,8	**300**
301	90601	27270901	17,3494	6,7018	2,47857	3,32226	945,62	71157,9	301
302	91204	27543608	17,3781	6,7092	2,48001	3,31126	948,76	71631,5	302
303	91809	27818127	17,4069	6,7166	2,48144	3,30033	951,90	72106,6	303
304	92416	28094464	17,4356	6,7240	2,48287	3,28947	955,04	72583,4	304
305	93025	28372625	17,4642	6,7313	2,48430	3,27869	958,19	73061,7	305
306	93636	28652616	17,4929	6,7387	2,48572	3,26797	961,33	73541,5	306
307	94249	28934443	17,5214	6,7460	2,48714	3,25733	964,47	74023,0	307
308	94864	29218112	17,5499	6,7533	2,48855	3,24675	967,61	74506,0	308
309	95481	29503629	17,5784	6,7606	2,48996	3,23625	970,75	74990,6	309
310	96100	29791000	17,6068	6,7679	2,49136	3,22581	973,89	75476,8	**310**
311	96721	30080231	17,6352	6,7752	2,49276	3,21543	977,04	75964,5	311
312	97344	30371328	17,6635	6,7824	2,49415	3,20513	980,18	76453,8	312
313	97969	30664297	17,6918	6,7897	2,49554	3,19489	983,32	76944,7	313
314	98596	30959144	17,7200	6,7969	2,49693	3,18471	986,46	77437,1	314
315	99225	31255875	17,7482	6,8041	2,49831	3,17460	989,60	77931,1	315
316	99856	31554496	17,7764	6,8113	2,49969	3,16456	992,74	78426,7	316
317	100489	31855013	17,8045	6,8185	2,50106	3,15457	995,88	78923,9	317
318	101124	32157432	17,8326	6,8256	2,50243	3,14465	999,03	79422,6	318
319	101761	32461759	17,8606	6,8328	2,50379	3,13480	1002,2	79922,9	319
320	102400	32768000	17,8885	6,8399	2,50515	3,12500	1005,3	80424,8	**320**
321	103041	33076161	17,9165	6,8470	2,50651	3,11526	1008,5	80928,2	321
322	103684	33386248	17,9444	6,8541	2,50786	3,10559	1011,6	81433,2	322
323	104329	33698267	17,9722	6,8612	2,50920	3,09598	1014,7	81939,8	323
324	104976	34012224	18,0000	6,8683	2,51055	3,08642	1017,9	82448,0	324
325	105625	34328125	18,0278	6,8753	2,51188	3,07692	1021,0	82957,7	325
326	106276	34645976	18,0555	6,8824	2,51322	3,06748	1024,2	83469,0	326
327	106929	34965783	18,0831	6,8894	2,51455	3,05810	1027,3	83981,8	327
328	107584	35287552	18,1108	6,8964	2,51587	3,04878	1030,4	84496,3	328
329	108241	35611289	18,1384	6,9034	2,51720	3,03951	1033,6	85012,3	329
330	108900	35937000	18,1659	6,9104	2,51851	3,03030	1036,7	85529,9	**330**
331	109561	36264691	18,1934	6,9174	2,51983	3,02115	1039,9	86049,0	331
332	110224	36594368	18,2209	6,9244	2,52114	3,01205	1043,0	86569,7	332
333	110889	36926037	18,2483	6,9313	2,52244	3,00300	1046,2	87092,0	333
334	111556	37259704	18,2757	6,9382	2,52375	2,99401	1049,3	87615,9	334
335	112225	37595375	18,3030	6,9451	2,52504	2,98507	1052,4	88141,3	335
336	112896	37933056	18,3303	6,9521	2,52634	2,97619	1055,6	88668,3	336
337	113569	38272753	18,3576	6,9589	2,52763	2,96736	1058,7	89196,9	337
338	114244	38614472	18,3848	6,9658	2,52892	2,95858	1061,9	89727,0	338
339	114921	38958219	18,4120	6,9727	2,53020	2,94985	1065,0	90258,7	339
340	115600	39304000	18,4391	6,9795	2,53148	2,94118	1068,1	90792,0	**340**
341	116281	39651821	18,4662	6,9864	2,53275	2,93255	1071,3	91326,9	341
342	116964	40001688	18,4932	6,9932	2,53403	2,92398	1074,4	91863,3	342
343	117649	40353607	18,5203	7,0000	2,53529	2,91545	1077,6	92401,3	343
344	118336	40707584	18,5472	7,0068	2,53656	2,90698	1080,7	92940,9	344
345	119025	41063625	18,5742	7,0136	2,53782	2,89855	1083,8	93482,0	345
346	119716	41421736	18,6011	7,0203	2,53908	2,89017	1087,0	94024,7	346
347	120409	41781923	18,6279	7,0271	2,54033	2,88184	1090,1	94569,0	347
348	121104	42144192	18,6548	7,0338	2,54158	2,87356	1093,3	95114,9	348
349	121801	42508549	18,6815	7,0406	2,54283	2,86533	1096,4	95662,3	349
350	122500	42875000	18,7083	7,0473	2,54407	2,85714	1099,6	96211,3	**350**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
350	122500	42875000	18,7083	7,0473	2,54407	2,85714	1099,6	96211,3	**350**
351	123201	43243551	18,7350	7,0540	2,54531	2,84900	1102,7	96761,8	351
352	123904	43614208	18,7617	7,0607	2,54654	2,84091	1105,8	97314,0	352
353	124609	43986977	18,7883	7,0674	2,54777	2,83286	1109,0	97867,7	353
354	125316	44361864	18,8149	7,0740	2,54900	2,82486	1112,1	98423,0	354
355	126025	44738875	18,8414	7,0807	2,55023	2,81690	1115,3	98979,8	355
356	126736	45118016	18,8680	7,0873	2,55145	2,80899	1118,4	99538,2	356
357	127449	45499293	18,8944	7,0940	2,55267	2,80112	1121,5	100098	357
358	128164	45882712	18,9209	7,1006	2,55388	2,79330	1124,7	100660	358
359	128881	46268279	18,9473	7,1072	2,55509	2,78552	1127,8	101223	359
360	129600	46656000	18,9737	7,1138	2,55630	2,77778	1131,0	101788	**360**
361	130321	47045881	19,0000	7,1204	2,55751	2,77008	1134,1	102354	361
362	131044	47437928	19,0263	7,1269	2,55871	2,76243	1137,3	102922	362
363	131769	47832147	19,0526	7,1335	2,55991	2,75482	1140,4	103491	363
364	132496	48228544	19,0788	7,1400	2,56110	2,74725	1143,5	104062	364
365	133225	48627125	19,1050	7,1466	2,56229	2,73973	1146,7	104635	365
366	133956	49027896	19,1311	7,1531	2,56348	2,73224	1149,8	105209	366
367	134689	49430863	19,1572	7,1596	2,56467	2,72480	1153,0	105785	367
368	135424	49836032	19,1833	7,1661	2,56585	2,71739	1156,1	106362	368
369	136161	50243409	19,2094	7,1726	2,56703	2,71003	1159,2	106941	369
370	136900	50653000	19,2354	7,1791	2,56820	2,70270	1162,4	107521	**370**
371	137641	51064811	19,2614	7,1855	2,56937	2,69542	1165,5	108103	371
372	138384	51478848	19,2873	7,1920	2,57054	2,68817	1168,7	108687	372
373	139129	51895117	19,3132	7,1984	2,57171	2,68097	1171,8	109272	373
374	139876	52313624	19,3391	7,2048	2,57287	2,67380	1175,0	109858	374
375	140625	52734375	19,3649	7,2112	2,57403	2,66667	1178,1	110447	375
376	141376	53157376	19,3907	7,2177	2,57519	2,65957	1181,2	111036	376
377	142129	53582633	19,4165	7,2240	2,57634	2,65252	1184,4	111628	377
378	142884	54010152	19,4422	7,2304	2,57749	2,64550	1187,5	112221	378
379	143641	54439939	19,4679	7,2368	2,57864	2,63852	1190,7	112815	379
380	144400	54872000	19,4936	7,2432	2,57978	2,63158	1193,8	113411	**380**
381	145161	55306341	19,5192	7,2495	2,58092	2,62467	1196,9	114009	381
382	145924	55742968	19,5448	7,2558	2,58206	2,61780	1200,1	114608	382
383	146689	56181887	19,5704	7,2622	2,58320	2,61097	1203,2	115209	383
384	147456	56623104	19,5959	7,2685	2,58433	2,60417	1206,4	115812	384
385	148225	57066625	19,6214	7,2748	2,58546	2,59740	1209,5	116416	385
386	148996	57512456	19,6469	7,2811	2,58659	2,59067	1212,7	117021	386
387	149769	57960603	19,6723	7,2874	2,58771	2,58398	1215,8	117628	387
388	150544	58411072	19,6977	7,2936	2,58883	2,57732	1218,9	118237	388
389	151321	58863869	19,7231	7,2999	2,58995	2,57069	1222,1	118847	389
390	152100	59319000	19,7484	7,3061	2,59106	2,56410	1225,2	119459	**390**
391	152881	59776471	19,7737	7,3124	2,59218	2,55754	1228,4	120072	391
392	153664	60236288	19,7990	7,3186	2,59329	2,55102	1231,5	120687	392
393	154449	60698457	19,8242	7,3248	2,59439	2,54453	1234,6	121304	393
394	155236	61162984	19,8494	7,3310	2,59550	2,53807	1237,8	121922	394
395	156025	61629875	19,8746	7,3372	2,59660	2,53165	1240,9	122542	395
396	156816	62099136	19,8997	7,3434	2,59770	2,52525	1244,1	123163	396
397	157609	62570773	19,9249	7,3496	2,59879	2,51889	1247,2	123786	397
398	158404	63044792	19,9499	7,3558	2,59988	2,51256	1250,4	124410	398
399	159201	63521199	19,9750	7,3619	2,60097	2,50627	1253,5	125036	399
400	160000	64000000	20,0000	7,3681	2,60206	2,50000	1256,6	125664	**400**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
400	160000	64000000	20,0000	7,3681	2,60206	2,50000	1256,6	125664	**400**
401	160801	64481201	20,0250	7,3742	2,60314	2,49377	1259,8	126293	401
402	161604	64964808	20,0499	7,3803	2,60423	2,48756	1262,9	126923	402
403	162409	65450827	20,0749	7,3864	2,60531	2,48139	1266,1	127556	403
404	163216	65939264	20,0998	7,3925	2,60638	2,47525	1269,2	128190	404
405	164025	66430125	20,1246	7,3986	2,60746	2,46914	1272,3	128825	405
406	164836	66923416	20,1494	7,4047	2,60853	2,46305	1275,5	129462	406
407	165649	67419143	20,1742	7,4108	2,60959	2,45700	1278,6	130100	407
408	166464	67917312	20,1990	7,4169	2,61066	2,45098	1281,8	130741	408
409	167281	68417929	20,2237	7,4229	2,61172	2,44499	1284,9	131382	409
410	168100	68921000	20,2485	7,4290	2,61278	2,43902	1288,1	132025	**410**
411	168921	69426531	20,2731	7,4350	2,61384	2,43309	1291,2	132670	411
412	169744	69934528	20,2978	7,4410	2,61490	2,42718	1294,3	133317	412
413	170569	70444997	20,3224	7,4470	2,61595	2,42131	1297,5	133965	413
414	171396	70957944	20,3470	7,4530	2,61700	2,41546	1300,6	134614	414
415	172225	71473375	20,3715	7,4590	2,61805	2,40964	1303,8	135265	415
416	173056	71991296	20,3961	7,4650	2,61909	2,40385	1306,9	135918	416
417	173889	72511713	20,4206	7,4710	2,62014	2,39808	1310,0	136572	417
418	174724	73034632	20,4450	7,4770	2,62118	2,39234	1313,2	137228	418
419	175561	73560059	20,4695	7,4829	2,62221	2,38663	1316,3	137885	419
420	176400	74088000	20,4939	7,4889	2,62325	2,38095	1319,5	138544	**420**
421	177241	74618461	20,5183	7,4948	2,62428	2,37530	1322,6	139205	421
422	178084	75151448	20,5426	7,5007	2,62531	2,36967	1325,8	139867	422
423	178929	75686967	20,5670	7,5067	2,62634	2,36407	1328,9	140531	423
424	179776	76225024	20,5913	7,5126	2,62737	2,35849	1332,0	141196	424
425	180625	76765625	20,6155	7,5185	2,62839	2,35294	1335,2	141863	425
426	181476	77308776	20,6398	7,5244	2,62941	2,34742	1338,3	142531	426
427	182329	77854483	20,6640	7,5302	2,63043	2,34192	1341,5	143201	427
428	183184	78402752	20,6882	7,5361	2,63144	2,33645	1344,6	143872	428
429	184041	78953589	20,7123	7,5420	2,63246	2,33100	1347,7	144545	429
430	184900	79507000	20,7364	7,5478	2,63347	2,32558	1350,9	145220	**430**
431	185761	80062991	20,7605	7,5537	2,63448	2,32019	1354,0	145896	431
432	186624	80621568	20,7846	7,5595	2,63548	2,31481	1357,2	146574	432
433	187489	81182737	20,8087	7,5654	2,63649	2,30947	1360,3	147254	433
434	188356	81746504	20,8327	7,5712	2,63749	2,30415	1363,5	147934	434
435	189225	82312875	20,8567	7,5770	2,63849	2,29885	1366,6	148617	435
436	190096	82881856	20,8806	7,5828	2,63949	2,29358	1369,7	149301	436
437	190969	83453453	20,9045	7,5886	2,64048	2,28833	1372,9	149987	437
438	191844	84027672	20,9284	7,5944	2,64147	2,28311	1376,0	150674	438
439	192721	84604519	20,9523	7,6001	2,64246	2,27790	1379,2	151363	439
440	193600	85184000	20,9762	7,6059	2,64345	2,27273	1382,3	152053	**440**
441	194481	85766121	21,0000	7,6117	2,64444	2,26757	1385,4	152745	441
442	195364	86350888	21,0238	7,6174	2,64542	2,26244	1388,6	153439	442
443	196249	86938307	21,0476	7,6232	2,64640	2,25734	1391,7	154134	443
444	197136	87528384	21,0713	7,6289	2,64738	2,25225	1394,9	154830	444
445	198025	88121125	21,0950	7,6346	2,64836	2,24719	1398,0	155528	445
446	198916	88716536	21,1187	7,6403	2,64933	2,24215	1401,2	156228	446
447	199809	89314623	21,1424	7,6460	2,65031	2,23714	1404,3	156930	447
448	200704	89915392	21,1660	7,6517	2,65128	2,23214	1407,4	157633	448
449	201601	90518849	21,1896	7,6574	2,65225	2,22717	1410,6	158337	449
450	202500	91125000	21,2132	7,6631	2,65321	2,22222	1413,7	159043	**450**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	log n	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
450	202500	91125000	21,2132	7,6631	2,65321	2,22222	1413,7	159043	**450**
451	203401	91733851	21,2368	7,6688	2,65418	2,21729	1416,9	159751	451
452	204304	92345408	21,2603	7,6744	2,65514	2,21239	1420,0	160460	452
453	205209	92959677	21,2838	7,6801	2,65610	2,20751	1423,1	161171	453
454	206116	93576664	21,3073	7,6857	2,65706	2,20264	1426,3	161883	454
455	207025	94196375	21,3307	7,6914	2,65801	2,19780	1429,4	162597	455
456	207936	94818816	21,3542	7,6970	2,65896	2,19298	1432,6	163313	456
457	208849	95443993	21,3776	7,7026	2,65992	2,18818	1435,7	164030	457
458	209764	96071912	21,4009	7,7082	2,66087	2,18341	1438,8	164748	458
459	210681	96702579	21,4243	7,7138	2,66181	2,17865	1442,0	165468	459
460	211600	97336000	21,4476	7,7194	2,66276	2,17391	1445,1	166190	**460**
461	212521	97972181	21,4709	7,7250	2,66370	2,16920	1448,3	166914	461
462	213444	98611128	21,4942	7,7306	2,66464	2,16450	1451,4	167639	462
463	214369	99252847	21,5174	7,7362	2,66558	2,15983	1454,6	168365	463
464	215296	99897344	21,5407	7,7418	2,66652	2,15517	1457,7	169093	464
465	216225	100544625	21,5639	7,7473	2,66745	2,15054	1460,8	169823	465
466	217156	101194696	21,5870	7,7529	2,66839	2,14592	1464,0	170554	466
467	218089	101847563	21,6102	7,7584	2,66932	2,14133	1467,1	171287	467
468	219024	102503232	21,6333	7,7639	2,67025	2,13675	1470,3	172021	468
469	219961	103161709	21,6564	7,7695	2,67117	2,13220	1473,4	172757	469
470	220900	103823000	21,6795	7,7750	2,67210	2,12766	1476,5	173494	**470**
471	221841	104487111	21,7025	7,7805	2,67302	2,12314	1479,7	174234	471
472	222784	105154048	21,7256	7,7860	2,67394	2,11864	1482,8	174974	472
473	223729	105823817	21,7486	7,7915	2,67486	2,11416	1486,0	175716	473
474	224676	106496424	21,7715	7,7970	2,67578	2,10970	1489,1	176460	474
475	225625	107171875	21,7945	7,8025	2,67669	2,10526	1492,3	177205	475
476	226576	107850176	21,8174	7,8079	2,67761	2,10084	1495,4	177952	476
477	227529	108531333	21,8403	7,8134	2,67852	2,09644	1498,5	178701	477
478	228484	109215352	21,8632	7,8188	2,67943	2,09205	1501,7	179451	478
479	229441	109902239	21,8861	7,8243	2,68034	2,08768	1504,8	180203	479
480	230400	110592000	21,9089	7,8297	2,68124	2,08333	1508,0	180956	**480**
481	231361	111284641	21,9317	7,8352	2,68215	2,07900	1511,1	181711	481
482	232324	111980168	21,9545	7,8406	2,68305	2,07469	1514,2	182467	482
483	233289	112678587	21,9773	7,8460	2,68395	2,07039	1517,4	183225	483
484	234256	113379904	22,0000	7,8514	2,68485	2,06612	1520,5	183984	484
485	235225	114084125	22,0227	7,8568	2,68574	2,06186	1523,7	184745	485
486	236196	114791256	22,0454	7,8622	2,68664	2,05761	1526,8	185508	486
487	237169	115501303	22,0681	7,8676	2,68753	2,05339	1530,0	186272	487
488	238144	116214272	22,0907	7,8730	2,68842	2,04918	1533,1	187038	488
489	239121	116930169	22,1133	7,8784	2,68931	2,04499	1536,2	187805	489
490	240100	117649000	22,1359	7,8837	2,69020	2,04082	1539,4	188574	**490**
491	241081	118370771	22,1585	7,8891	2,69108	2,03666	1542,5	189345	491
492	242064	119095488	22,1811	7,8944	2,69197	2,03252	1545,7	190117	492
493	243049	119823157	22,2036	7,8998	2,69285	2,02840	1548,8	190890	493
494	244036	120553784	22,2261	7,9051	2,69373	2,02429	1551,9	191665	494
495	245025	121287375	22,2486	7,9105	2,69461	2,02020	1555,1	192442	495
496	246016	122023936	22,2711	7,9158	2,69548	2,01613	1558,2	193221	496
497	247009	122763473	22,2935	7,9211	2,69636	2,01207	1561,4	194000	497
498	248004	123505992	22,3159	7,9264	2,69723	2,00803	1564,5	194782	498
499	249001	124251499	22,3383	7,9317	2,69810	2,00401	1567,7	195565	499
500	250000	125000000	22,3607	7,9370	2,69897	2,00000	1570,8	196350	**500**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
500	250000	125000000	22,3607	7,9370	2,69897	2,00000	1570,8	196350	**500**
501	251001	125751501	22,3830	7,9423	2,69984	1,99601	1573,9	197136	501
502	252004	126506008	22,4054	7,9476	2,70070	1,99203	1577,1	197923	502
503	253009	127263527	22,4277	7,9528	2,70157	1,98807	1580,2	198713	503
504	254016	128024064	22,4499	7,9581	2,70243	1,98413	1583,4	199504	504
505	255025	128787625	22,4722	7,9634	2,70329	1,9802(	1586,5	200296	505
506	256036	129554216	22,4944	7,9686	2,70415	1,97628	1589,6	201090	506
507	257049	130323843	22,5167	7,9739	2,70501	1,97239	1592,8	201886	507
508	258064	131096512	22,5389	7,9791	2,70586	1,96850	1595,9	202683	508
509	259081	131872229	22,5610	7,9843	2,70672	1,96464	1599,1	203482	509
510	260100	132651000	22,5832	7,9896	2,70757	1,96078	1602,2	204282	**510**
511	261121	133432831	22,6053	7,9948	2,70842	1,95695	1605,4	205084	511
512	262144	134217728	22,6274	8,0000	2,70927	1,95312	1608,5	205887	512
513	263169	135005697	22,6495	8,0052	2,71012	1,94932	1611,6	206692	513
514	264196	135796744	22,6716	8,0104	2,71096	1,94553	1614,8	207499	514
515	265225	136590875	22,6936	8,0156	2,71181	1,94175	1617,9	208307	515
516	266256	137388096	22,7156	8,0208	2,71265	1,93798	1621,1	209117	516
517	267289	138188413	22,7376	8,0260	2,71349	1,93424	1624,2	209928	517
518	268324	138991832	22,7596	8,0311	2,71433	1,93050	1627,3	210741	518
519	269361	139798359	22,7816	8,0363	2,71517	1,92678	1630,5	211556	519
520	270400	140608000	22,8035	8,0415	2,71600	1,92308	1633,6	212372	**520**
521	271441	141420761	22,8254	8,0466	2,71684	1,91939	1636,8	213189	521
522	272484	142236648	22,8473	8,0517	2,71767	1,91571	1639,9	214008	522
523	273529	143055667	22,8692	8,0569	2,71850	1,91205	1643,1	214829	523
524	274576	143877824	22,8910	8,0620	2,71933	1,90840	1646,2	215651	524
525	275625	144703125	22,9129	8,0671	2,72016	1,90476	1649,3	216475	525
526	276676	145531576	22,9347	8,0723	2,72099	1,90114	1652,5	217301	526
527	277729	146363183	22,9565	8,0774	2,72181	1,89753	1655,6	218128	527
528	278784	147197952	22,9783	8,0825	2,72263	1,89394	1658,8	218956	528
529	279841	148035889	23,0000	8,0876	2,72346	1,89036	1661,9	219787	529
530	280900	148877000	23,0217	8,0927	2,72428	1,88679	1665,0	220618	**530**
531	281961	149721291	23,0434	8,0978	2,72509	1,88324	1668,2	221452	531
532	283024	150568768	23,0651	8,1028	2,72591	1,87970	1671,3	222287	532
533	284089	151419437	23,0868	8,1079	2,72673	1,87617	1674,5	223123	533
534	285156	152273304	23,1084	8,1130	2,72754	1,87266	1677,6	223961	534
535	286225	153130375	23,1301	8,1180	2,72835	1,86916	1680,8	224801	535
536	287296	153990656	23,1517	8,1231	2,72916	1,86567	1683,9	225642	536
537	288369	154854153	23,1733	8,1281	2,72997	1,86220	1687,0	226484	537
538	289444	155720872	23,1948	8,1332	2,73078	1,85874	1690,2	227329	538
539	290521	156590819	23,2164	8,1382	2,73159	1,85529	1693,3	228175	539
540	291600	157464000	23,2379	8,1433	2,73239	1,85185	1696,5	229022	**540**
541	292681	158340421	23,2594	8,1483	2,73320	1,84843	1699,6	229871	541
542	293764	159220088	23,2809	8,1533	2,73400	1,84502	1702,7	230722	542
543	294849	160103007	23,3024	8,1583	2,73480	1,84162	1705,9	231574	543
544	295936	160989184	23,3238	8,1633	2,73560	1,83824	1709,0	232428	544
545	297025	161878625	23,3452	8,1683	2,73640	1,83486	1712,2	233283	545
546	298116	162771336	23,3666	8,1733	2,73719	1,83150	1715,3	234140	546
547	299209	163667323	23,3880	8,1783	2,73799	1,82815	1718,5	234998	547
548	300304	164566592	23,4094	8,1833	2,73878	1,82482	1721,6	235858	548
549	301401	165469149	23,4307	8,1882	2,73957	1,82149	1724,7	236720	549
550	302500	166375000	23,4521	8,1932	2,74036	1,81818	1727,9	237583	**550**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
550	302500	166375000	23,4521	8,1932	2,74036	1,81818	1727,9	237583	**550**
551	303601	167284151	23,4734	8,1982	2,74115	1,81488	1731,0	238448	551
552	304704	168196608	23,4947	8,2031	2,74194	1,81159	1734,2	239314	552
553	305809	169112377	23,5160	8,2081	2,74273	1,80832	1737,3	240182	553
554	306916	170031464	23,5372	8,2130	2,74351	1,80505	1740,4	241051	554
555	308025	170953875	23,5584	8,2180	2,74429	1,80180	1743 6	241922	555
556	309136	171879616	23,5797	8,2229	2,74507	1,79856	1746,7	242795	556
557	310249	172808693	23,6008	8,2278	2,74586	1,79533	1749,9	243669	557
558	311364	173741112	23,6220	8,2327	2,74663	1,79211	1753,0	244545	558
559	312481	174676879	23,6432	8,2377	2,74741	1,78891	1756,2	245422	559
560	313600	175616000	23,6643	8,2426	2,74819	1,78571	1759,3	246301	**560**
561	314721	176558481	23,6854	8,2475	2,74896	1,78253	1762,4	247181	561
562	315844	177504328	23,7065	8,2524	2,74974	1,77936	1765,6	248063	562
563	316969	178453547	23,7276	8,2573	2,75051	1,77620	1768,7	248947	563
564	318096	179406144	23,7487	8,2621	2,75128	1,77305	1771,9	249832	564
565	319225	180362125	23,7697	8,2670	2,75205	1,76991	1775,0	250719	565
566	320356	181321496	23,7908	8,2719	2,75282	1,76678	1778,1	251607	566
567	321489	182284263	23,8118	8,2768	2,75358	1,76367	1781,3	252497	567
568	322624	183250432	23,8328	8,2816	2,75435	1,76056	1784,4	253388	568
569	323761	184220009	23,8537	8,2865	2,75511	1,75747	1787,6	254281	569
570	324900	185193000	23,8747	8,2913	2,75587	1,75439	1790,7	255176	**570**
571	326041	186169411	23,8956	8,2962	2,75664	1,75131	1793,8	256072	571
572	327184	187149248	23,9165	8,3010	2,75740	1,74825	1797,0	256970	572
573	328329	188132517	23,9374	8,3059	2,75815	1,74520	1800,1	257869	573
574	329476	189119224	23,9583	8,3107	2,75891	1,74216	1803,3	258770	574
575	330625	190109375	23,9792	8,3155	2,75967	1,73913	1806,4	259672	575
576	331776	191102976	24,0000	8,3203	2,76042	1,73611	1809,6	260576	576
577	332929	192100033	24,0208	8,3251	2,76118	1,73310	1812,7	261482	577
578	334084	193100552	24,0416	8,3300	2,76193	1,73010	1815,8	262389	578
579	335241	194104539	24,0624	8,3348	2,76268	1,72712	1819,0	263298	579
580	336400	195112000	24,0832	8,3396	2,76343	1,72414	1822,1	264208	**580**
581	337561	196122941	24,1039	8,3443	2,76418	1,72117	1825,3	265120	581
582	338724	197137368	24,1247	8,3491	2,76492	1,71821	1828,4	266033	582
583	339889	198155287	24,1454	8,3539	2,76567	1,71527	1831,6	266948	583
584	341056	199176704	24,1661	8,3587	2,76641	1,71233	1834,7	267865	584
585	342225	200201625	24,1868	8,3634	2,76716	1,70940	1837,8	268783	585
586	343396	201230056	24,2074	8,3682	2,76790	1,70648	1841,0	269703	586
587	344569	202262003	24,2281	8,3730	2,76864	1,70358	1844,1	270624	587
588	345744	203297472	24,2487	8,3777	2,76938	1,70068	1847,3	271547	588
589	346921	204336469	24,2693	8,3825	2,77012	1,69779	1850,4	272471	589
590	348100	205379000	24,2899	8,3872	2,77085	1,69492	1853,5	273397	**590**
591	349281	206425071	24,3105	8,3919	2,77159	1,69205	1856,7	274325	591
592	350464	207474688	24,3311	8,3967	2,77232	1,68919	1859,8	275254	592
593	351649	208527857	24,3516	8,4014	2,77305	1,68634	1863,0	276184	593
594	352836	209584584	24,3721	8,4061	2,77379	1,68350	1866,1	277117	594
595	354025	210644875	24,3926	8,4108	2,77452	1,68067	1869,2	278051	595
596	355216	211708736	24,4131	8,4155	2,77525	1,67785	1872,4	278986	596
597	356409	212776173	24,4336	8,4202	2,77597	1,67504	1875,5	279923	597
598	357604	213847192	24,4540	8,4249	2,77670	1,67224	1878,7	280862	598
599	358801	214921799	24,4745	8,4296	2,77743	1,66945	1881,8	281802	599
600	360000	216000000	24,4949	8,4343	2,77815	1,66667	1885,0	282743	**600**

БГТУ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
600	360000	216000000	24,4949	8,4343	2,77815	1,66667	1885,0	282743	**600**
601	361201	217081801	24,5153	8,4390	2,77887	1,66389	1888,1	283687	601
602	362404	218167208	24,5357	8,4437	2,77960	1,66113	1891,2	284631	602
603	363609	219256227	24,5561	8,4484	2,78032	1,65837	1894,4	285578	603
604	364816	220348864	24,5764	8,4530	2,78104	1,65563	1897,5	286526	604
605	366025	221445125	24,5967	8,4577	2,78176	1,65289	1900,7	287475	605
606	367236	222545016	24,6171	8,4623	2,78247	1,65017	1903,8	288426	606
607	368449	223648543	24,6374	8,4670	2,78319	1,64745	1906,9	289379	607
608	369664	224755712	24,6577	8,4716	2,78390	1,64474	1910,1	290333	608
609	370881	225866529	24,6779	8,4763	2,78462	1,64204	1913,2	291289	609
610	372100	226981000	24,6982	8,4809	2,78533	1,63934	1916,4	292247	**610**
611	373321	228099131	24,7184	8,4856	2,78604	1,63666	1919,5	293206	611
612	374544	229220928	24,7386	8,4902	2,78675	1,63399	1922,7	294166	612
613	375769	230346397	24,7588	8,4948	2,78746	1,63132	1925,8	295128	613
614	376996	231475544	24,7790	8,4994	2,78817	1,62866	1928,9	296092	614
615	378225	232608375	24,7992	8,5040	2,78888	1,62602	1932,1	297057	615
616	379456	233744896	24,8193	8,5086	2,78958	1,62338	1935,2	298024	616
617	380689	234885113	24,8395	8,5132	2,79029	1,62075	1938,4	298992	617
618	381924	236029032	24,8596	8,5178	2,79099	1,61812	1941,5	299962	618
619	383161	237176659	24,8797	8,5224	2,79169	1,61551	1944,6	300934	619
620	384400	238328000	24,8998	8,5270	2,79239	1,61290	1947,8	301907	**620**
621	385641	239483061	24,9199	8,5316	2,79309	1,61031	1950,9	302882	621
622	386884	240641848	24,9399	8,5362	2,79379	1,60772	1954,1	303858	622
623	388129	241804367	24,9600	8,5408	2,79449	1,60514	1957,2	304836	623
624	389376	242970624	24,9800	8,5453	2,79518	1,60256	1960,4	305815	624
625	390625	244140625	25,0000	8,5499	2,79588	1,60000	1963,5	306796	625
626	391876	245314376	25,0200	8,5544	2,79657	1,59744	1966,6	307779	626
627	393129	246491883	25,0400	8,5590	2,79727	1,59490	1969,8	308763	627
628	394384	247673152	25,0599	8,5635	2,79796	1,59236	1972,9	309748	628
629	395641	248858189	25,0799	8,5681	2,79865	1,58983	1976,1	310736	629
630	396900	250047000	25,0998	8,5726	2,79934	1,58730	1979,2	311725	**630**
631	398161	251239591	25,1197	8,5772	2,80003	1,58479	1982,3	312715	631
632	399424	252435968	25,1396	8,5817	2,80072	1,58228	1985,5	313707	632
633	400689	253636137	25,1595	8,5862	2,80140	1,57978	1988,6	314700	633
634	401956	254840104	25,1794	8,5907	2,80209	1,57729	1991,8	315696	634
635	403225	256047875	25,1992	8,5952	2,80277	1,57480	1994,9	316692	635
636	404496	257259456	25,2190	8,5997	2,80346	1,57233	1998,1	317690	636
637	405769	258474853	25,2389	8,6043	2,80414	1,56986	2001,2	318690	637
638	407044	259694072	25,2587	8,6088	2,80482	1,56740	2004,3	319692	638
639	408321	260917119	25,2784	8,6132	2,80550	1,56495	2007,5	320695	639
640	409600	262144000	25,2982	8,6177	2,80618	1,56250	2010,6	321699	**640**
641	410881	263374721	25,3180	8,6222	2,80686	1,56006	2013,8	322705	641
642	412164	264609288	25,3377	8,6267	2,80754	1,55763	2016,9	323713	642
643	413449	265847707	25,3574	8,6312	2,80821	1,55521	2020,0	324722	643
644	414736	267089984	25,3772	8,6357	2,80889	1,55280	2023,2	325733	644
645	416025	268336125	25,3969	8,6401	2,80956	1,55039	2026,3	326745	645
646	417316	269586136	25,4165	8,6446	2,81023	1,54799	2029,5	327759	646
647	418609	270840023	25,4362	8,6490	2,81090	1,54560	2032,6	328775	647
648	419904	272097792	25,4558	8,6535	2,81158	1,54321	2035,8	329792	648
649	421201	273359449	25,4755	8,6579	2,81224	1,54083	2038,9	330810	649
650	422500	274625000	25,4951	8,6624	2,81291	1,53846	2042,0	331831	**650**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
650	422500	274625000	25,4951	8,6624	2,81291	1,53846	2042,0	331831	**650**
651	423801	275894451	25,5147	8,6668	2,81358	1,53610	2045,2	332853	651
652	425104	277167808	25,5343	8,6713	2,81425	1,53374	2048,3	333876	652
653	426409	278445077	25,5539	8,6757	2,81491	1,53139	2051,5	334901	653
654	427716	279726264	25,5734	8,6801	2,81558	1,52905	2054,6	335927	654
655	429025	281011375	25,5930	8,6845	2,81624	1,52672	2057,7	336955	655
656	430336	282300416	25,6125	8,6890	2,81690	1,52439	2060,9	337985	656
657	431649	283593393	25,6320	8,6934	2,81757	1,52207	2064,0	339016	657
658	432964	284890312	25,6515	8,6978	2,81823	1,51976	2067,2	340049	658
659	434281	286191179	25,6710	8,7022	2,81889	1,51745	2070,3	341084	659
660	435600	287496000	25,6905	8,7066	2,81954	1,51515	2073,5	342119	**660**
661	436921	288804781	25,7099	8,7110	2,82020	1,51286	2076,6	343157	661
662	438244	290117528	25,7294	8,7154	2,82086	1,51057	2079,7	344196	662
663	439569	291434247	25,7488	8,7198	2,82151	1,50830	2082,9	345237	663
664	440896	292754944	25,7682	8,7241	2,82217	1,50602	2086,0	346279	664
665	442225	294079625	25,7876	8,7285	2,82282	1,50376	2089,2	347323	665
666	443556	295408296	25,8070	8,7329	2,82347	1,50150	2092,3	348368	666
667	444889	296740963	25,8263	8,7373	2,82413	1,49925	2095,4	349415	667
668	446224	298077632	25,8457	8,7416	2,82478	1,49701	2098,6	350464	668
669	447561	299418309	25,8650	8,7460	2,82543	1,49477	2101,7	351514	669
670	448900	300763000	25,8844	8,7503	2,82607	1,49254	2104,9	352565	**670**
671	450241	302111711	25,9037	8,7547	2,82672	1,49031	2108,0	353618	671
672	451584	303464448	25,9230	8,7590	2,82737	1,48810	2111,2	354673	672
673	452929	304821217	25,9422	8,7634	2,82802	1,48588	2114,3	355730	673
674	454276	306182024	25,9615	8,7677	2,82866	1,48368	2117,4	356788	674
675	455625	307546875	25,9808	8,7721	2,82930	1,48148	2120,6	357847	675
676	456976	308915776	26,0000	8,7764	2,82995	1,47929	2123,7	358908	676
677	458329	310288733	26,0192	8,7807	2,83059	1,47710	2126,9	359971	677
678	459684	311665752	26,0384	8,7850	2,83123	1,47493	2130,0	361035	678
679	461041	313046839	26,0576	8,7893	2,83187	1,47275	2133,1	362101	679
680	462400	314432000	26,0768	8,7937	2,83251	1,47059	2136,3	363168	**680**
681	463761	315821241	26,0960	8,7980	2,83315	1,46843	2139,4	364237	681
682	465124	317214568	26,1151	8,8023	2,83378	1,46628	2142,6	365308	682
683	466489	318611987	26,1343	8,8066	2,83442	1,46413	2145,7	366380	683
684	467856	320013504	26,1534	8,8109	2,83506	1,46199	2148,8	367453	684
685	469225	321419125	26,1725	8,8152	2,83569	1,45985	2152,0	368528	685
686	470596	322828856	26,1916	8,8194	2,83632	1,45773	2155,1	369605	686
687	471969	324242703	26,2107	8,8237	2,83696	1,45560	2158,3	370684	687
688	473344	325660672	26,2298	8,8280	2,83759	1,45349	2161,4	371764	688
689	474721	327082769	26,2488	8,8323	2,83822	1,45138	2164,6	372845	689
690	476100	328509000	26,2679	8,8366	2,83885	1,44928	2167,7	373928	**690**
691	477481	329939371	26,2869	8,8408	2,83948	1,44718	2170,8	375013	691
692	478864	331373888	26,3059	8,8451	2,84011	1,44509	2174,0	376099	692
693	480249	332812557	26,3249	8,8493	2,84073	1,44300	2177,1	377187	693
694	481636	334255384	26,3439	8,8536	2,84136	1,44092	2180,3	378276	694
695	483025	335702375	26,3629	8,8578	2,84198	1,43885	2183,4	379367	695
696	484416	337153536	26,3818	8,8621	2,84261	1,43678	2186,5	380459	696
697	485809	338608873	26,4008	8,8663	2,84323	1,43472	2189,7	381553	697
698	487204	340068392	26,4197	8,8706	2,84386	1,43266	2192,8	382649	698
699	488601	341532099	26,4386	8,8748	2,84448	1,43062	2196,0	383746	699
700	490000	343000000	26,4575	8,8790	2,84510	1,42857	2199,1	384845	**700**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
700	490000	343000000	26,4575	8,8790	2,84510	1,42857	2199,1	384845	**700**
701	491401	344472101	26,4764	8,8833	2,84572	1,42653	2202,3	385945	701
702	492804	345948408	26,4953	8,8875	2,84634	1,42450	2205,4	387047	702
703	494209	347428927	26,5141	8,8917	2,84696	1,42248	2208,5	388151	703
704	495616	348913664	26,5330	8,8959	2,84757	1,42045	2211,7	389256	704
705	497025	350402625	26,5518	8,9001	2,84819	1,41844	2214,8	390363	705
706	498436	351895816	26,5707	8,9043	2,84880	1,41643	2218,0	391471	706
707	499849	353393243	26,5895	8,9085	2,84942	1,41443	2221,1	392580	707
708	501264	354894912	26,6083	8,9127	2,85003	1,41243	2224,2	393692	708
709	502681	356400829	26,6271	8,9169	2,85065	1,41044	2227,4	394805	709
710	504100	357911000	26,6458	8,9211	2,85126	1,40845	2230,5	395919	**710**
711	505521	359425431	26,6646	8,9253	2,85187	1,40647	2233,7	397035	711
712	506944	360944128	26,6833	8,9295	2,85248	1,40449	2236,8	398153	712
713	508369	362467097	26,7021	8,9337	2,85309	1,40252	2240,0	399272	713
714	509796	363994344	26,7208	8,9378	2,85370	1,40056	2243,1	400393	714
715	511225	365525875	26,7395	8,9420	2,85431	1,39860	2246,2	401515	715
716	512656	367061696	26,7582	8,9462	2,85491	1,39665	2249,4	402639	716
717	514089	368601813	26,7769	8,9503	2,85552	1,39470	2252,5	403765	717
718	515524	370146232	26,7955	8,9545	2,85612	1,39276	2255,7	404892	718
719	516961	371694959	26,8142	8,9587	2,85673	1,39082	2258,8	406020	719
720	518400	373248000	26,8328	8,9628	2,85733	1,38889	2261,9	407150	**720**
721	519841	374805361	26,8514	8,9670	2,85794	1,38696	2265,1	408282	721
722	521284	376367048	26,8701	8,9711	2,85854	1,38504	2268,2	409415	722
723	522729	377933067	26,8887	8,9752	2,85914	1,38313	2271,4	410550	723
724	524176	379503424	26,9072	8,9794	2,85974	1,38122	2274,5	411687	724
725	525625	381078125	26,9258	8,9835	2,86034	1,37931	2277,7	412825	725
726	527076	382657176	26,9444	8,9876	2,86094	1,37741	2280,8	413965	726
727	528529	384240583	26,9629	8,9918	2,86153	1,37552	2283,9	415106	727
728	529984	385828352	26,9815	8,9959	2,86213	1,37363	2287,1	416248	728
729	531441	387420489	27,0000	9,0000	2,86273	1,37174	2290,2	417393	729
730	532900	389017000	27,0185	9,0041	2,86332	1,36986	2293,4	418539	**730**
731	534361	390617891	27,0370	9,0082	2,86392	1,36799	2296,5	419686	731
732	535824	392223168	27,0555	9,0123	2,86451	1,36612	2299,6	420835	732
733	537289	393832837	27,0740	9,0164	2,86510	1,36426	2302,8	421986	733
734	538756	395446904	27,0924	9,0205	2,86570	1,36240	2305,9	423138	734
735	540225	397065375	27,1109	9,0246	2,86629	1,36054	2309,1	424293	735
736	541696	398688256	27,1293	9,0287	2,86688	1,35870	2312,2	425447	736
737	543169	400315553	27,1477	9,0328	2,86747	1,35685	2315,4	426604	737
738	544644	401947272	27,1662	9,0369	2,86806	1,35501	2318,5	427762	738
739	546121	403583419	27,1846	9,0410	2,86864	1,35318	2321,6	428922	739
740	547600	405224000	27,2029	9,0450	2,86923	1,35135	2324,8	430084	**740**
741	549081	406869021	27,2213	9,0491	2,86982	1,34953	2327,9	431247	741
742	550564	408518488	27,2397	9,0532	2,87040	1,34771	2331,1	432412	742
743	552049	410172407	27,2580	9,0572	2,87099	1,34590	2334,2	433578	743
744	553536	411830784	27,2764	9,0613	2,87157	1,34409	2337,3	434746	744
745	555025	413493625	27,2947	9,0654	2,87216	1,34228	2340,5	435916	745
746	556516	415160936	27,3130	9,0694	2,87274	1,34048	2343,6	437087	746
747	558009	416832723	27,3313	9,0735	2,87332	1,33869	2346,8	438259	747
748	559504	418508992	27,3496	9,0775	2,87390	1,33690	2349,9	439433	748
749	561001	420189749	27,3679	9,0816	2,87448	1,33511	2353,1	440609	749
750	562500	421875000	27,3861	9,0856	2,87506	1,33333	2356,2	441786	**750**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
750	562500	421875000	27,3861	9,0856	2,87506	1,33333	2356,2	441786	**750**
751	564001	423564751	27,4044	9,0896	2,87564	1,33156	2359,3	442965	751
752	565504	425259008	27,4226	9,0937	2,87622	1,32979	2362,5	444146	752
753	567009	426957777	27,4408	9,0977	2,87679	1,32802	2365,6	445328	753
754	568516	428661064	27,4591	9,1017	2,87737	1,32626	2368,8	446511	754
755	570025	430368875	27,4773	9,1057	2,87795	1,32450	2371,9	447697	755
756	571536	432081216	27,4955	9,1098	2,87852	1,32275	2375,0	448883	756
757	573049	433798093	27,5136	9,1138	2,87910	1,32100	2378,2	450072	757
758	574564	435519512	27,5318	9,1178	2,87967	1,31926	2381,3	451262	758
759	576081	437245479	27,5500	9,1218	2,88024	1,31752	2384,5	452453	759
760	577600	438976000	27,5681	9,1258	2,88081	1,31579	2387,6	453646	**760**
761	579121	440711081	27,5862	9,1298	2,88138	1,31406	2390,8	454841	761
762	580644	442450728	27,6043	9,1338	2,88195	1,31234	2393,9	456037	762
763	582169	444194947	27,6225	9,1378	2,88252	1,31062	2397,0	457234	763
764	583696	445943744	27,6405	9,1418	2,88309	1,30890	2400,2	458434	764
765	585225	447697125	27,6586	9,1458	2,88366	1,30719	2403,3	459635	765
766	586756	449455096	27,6767	9,1498	2,88423	1,30548	2406,5	460837	766
767	588289	451217663	27,6948	9,1537	2,88480	1,30378	2409,6	462041	767
768	589824	452984832	27,7128	9,1577	2,88536	1,30208	2412,7	463247	768
769	591361	454756609	27,7308	9,1617	2,88593	1,30039	2415,9	464454	769
770	592900	456533000	27,7489	9,1657	2,88649	1,29870	2419,0	465663	**770**
771	594441	458314011	27,7669	9,1696	2,88705	1,29702	2422,2	466873	771
772	595984	460099648	27,7849	9,1736	2,88762	1,29534	2425,3	468085	772
773	597529	461889917	27,8029	9,1775	2,88818	1,29366	2428,5	469298	773
774	599076	463684824	27,8209	9,1815	2,88874	1,29199	2431,6	470513	774
775	600625	465484375	27,8388	9,1855	2,88930	1,29032	2434,7	471730	775
776	602176	467288576	27,8568	9,1894	2,88986	1,28866	2437,9	472948	776
777	603729	469097433	27,8747	9,1933	2,89042	1,28700	2441,0	474168	777
778	605284	470910952	27,8927	9,1973	2,89098	1,28535	2444,2	475389	778
779	606841	472729139	27,9106	9,2012	2,89154	1,28370	2447,3	476612	779
780	608400	474552000	27,9285	9,2052	2,89209	1,28205	2450,4	477836	**780**
781	609961	476379541	27,9464	9,2091	2,89265	1,28041	2453,6	479062	781
782	611524	478211768	27,9643	9,2130	2,89321	1,27877	2456,7	480290	782
783	613089	480048687	27,9821	9,2170	2,89376	1,27714	2459,9	481519	783
784	614656	481890304	28,0000	9,2209	2,89432	1,27551	2463,0	482750	784
785	616225	483736625	28,0179	9,2248	2,89487	1,27389	2466,2	483982	785
786	617796	485587656	28,0357	9,2287	2,89542	1,27226	2469,3	485216	786
787	619369	487443403	28,0535	9,2326	2,89597	1,27065	2472,4	486451	787
788	620944	489303872	28,0713	9,2365	2,89653	1,26904	2475,6	487688	788
789	622521	491169069	28,0891	9,2404	2,89708	1,26743	2478,7	488927	789
790	624100	493039000	28,1069	9,2443	2,89763	1,26582	2481,9	490167	**790**
791	625681	494913671	28,1247	9,2482	2,89818	1,26422	2485,0	491409	791
792	627264	496793088	28,1425	9,2521	2,89873	1,26263	2488,1	492652	792
793	628849	498677257	28,1603	9,2560	2,89927	1,26103	2491,3	493897	793
794	630436	500566184	28,1780	9,2599	2,89982	1,25945	2494,4	495143	794
795	632025	502459875	28,1957	9,2638	2,90037	1,25786	2497,8	496391	795
796	633616	504358336	28,2135	9,2677	2,90091	1,25628	2500,7	497641	796
797	635209	506261573	28,2312	9,2716	2,90146	1,25471	2503,8	498892	797
798	636804	508169592	28 2489	9,2754	2,90200	1,25313	2507,0	500145	798
799	638401	510082399	28 2666	9,2793	2,90255	1,25156	2510,1	501399	799
800	640000	512000000	28 2843	9,2832	2,90309	1,25000	2513,3	502655	**800**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
800	640000	512000000	28,2843	9,2832	2,90309	1,25000	2513,3	502655	**800**
801	641601	513922401	28,3019	9,2870	2,90363	1,24844	2516,4	503912	801
802	643204	515849608	28,3196	9,2909	2,90417	1,24688	2519,6	505171	802
803	644809	517781627	28,3373	9,2948	2,90472	1,24533	2522,7	506432	803
804	646416	519718464	28,3549	9,2986	2,90526	1,24378	2525,8	507694	804
805	648025	521660125	28,3725	9,3025	2,90580	1,24224	2529,0	508958	805
806	649636	523606616	28,3901	9,3063	2,90634	1,24069	2532,1	510223	806
807	651249	525557943	28,4077	9,3102	2,90687	1,23916	2535,3	511490	807
808	652864	527514112	28,4253	9,3140	2,90741	1,23762	2538,4	512758	808
809	654481	529475129	28,4429	9,3179	2,90795	1,23609	2541,5	514028	809
810	656100	531441000	28,4605	9,3217	2,90849	1,23457	2544,7	515300	**810**
811	657721	533411731	28,4781	9,3255	2,90902	1,23305	2547,8	516573	811
812	659344	535387328	28,4956	9,3294	2,90956	1,23153	2551,0	517848	812
813	660969	537367797	28,5132	9,3332	2,91009	1,23001	2554,1	519124	813
814	662596	539353144	28,5307	9,3370	2,91002	1,22850	2557,3	520402	814
815	664225	541343375	28,5482	9,3408	2,91116	1,22699	2560,4	521681	815
816	665856	543338496	28,5657	9,3447	2,91169	1,22549	2563,5	522962	816
817	667489	545338513	28,5832	9,3485	2,91222	1,22399	2566,7	524245	817
818	669124	547343432	28,6007	9,3523	2,91275	1,22249	2569,8	525529	818
819	670761	549353259	28,6182	9,3561	2,91328	1,22100	2573,0	526814	819
820	672400	551368000	28,6356	9,3599	2,91381	1,21951	2576,1	528102	**820**
821	674041	553387661	28,6531	9,3637	2,91434	1,21803	2579,2	529391	821
822	675684	555412248	28,6705	9,3675	2,91487	1,21655	2582,4	530681	822
823	677329	557441767	28,6880	9,3713	2,91540	1,21507	2585,5	531973	823
824	678976	559476224	28,7054	9,3751	2,91593	1,21359	2588,7	533267	824
825	680625	561515625	28,7228	9,3789	2,91645	1,21212	2591,8	534562	825
826	682276	563559976	28,7402	9,3827	2,91698	1,21065	2595,0	535858	826
827	683929	565609283	28,7576	9,3865	2,91751	1,20919	2598,1	537157	827
828	685584	567663552	28,7750	9,3902	2,91803	1,20773	2601,2	538456	828
829	687241	569722789	28,7924	9,3940	2,91855	1,20627	2604,4	539758	829
830	688900	571787000	28,8097	9,3978	2,91908	1,20482	2607,5	541061	**830**
831	690561	573856191	28,8271	9,4016	2,91960	1,20337	2610,7	542365	831
832	692224	575930368	28,8444	9,4053	2,92012	1,20192	2613,8	543671	832
833	693889	578009537	28,8617	9,4091	2,92065	1,20048	2616,9	544979	833
834	695556	580093704	28,8791	9,4129	2,92117	1,19904	2620,1	546288	834
835	697225	582182875	28,8964	9,4166	2,92169	1,19760	2623,2	547599	835
836	698896	584277056	28,9137	9,4204	2,92221	1,19617	2626,4	548912	836
837	700569	586376253	28,9310	9,4241	2,92273	1,19474	2629,5	550226	837
838	702244	588480472	28,9482	9,4279	2,92324	1,19332	2632,7	551541	838
839	703921	590589719	28,9655	9,4316	2,92376	1,19190	2635,8	552858	839
840	705600	592704000	28,9828	9,4354	2,92428	1,19048	2638,9	554177	**840**
841	707281	594823321	29,0000	9,4391	2,92480	1,18906	2642,1	555497	841
842	708964	596947688	29,0172	9,4429	2,92531	1,18765	2645,2	556819	842
843	710649	599077107	29,0345	9,4466	2,92583	1,18624	2648,4	558142	843
844	712336	601211584	29,0517	9,4503	2,92634	1,18483	2651,5	559467	844
845	714025	603351125	29,0689	9,4541	2,92686	1,18343	2654,6	560794	845
846	715716	605495736	29,0861	9,4578	2,92737	1,18203	2657,8	562122	846
847	717409	607645423	29,1033	9,4615	2,92788	1,18064	2660,9	563452	847
848	719104	609800192	29,1204	9,4652	2,92840	1,17925	2664,1	564783	848
849	720801	611960049	29,1376	9,4690	2,92891	1,17786	2667,2	566116	849
850	722500	614125000	29,1548	9,4727	2,92942	1,17647	2670,4	567450	**850**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
850	722500	614125000	29,1548	9,4727	2,92942	1,17647	2670,4	567450	**850**
851	724201	616295051	29,1719	9,4764	2,92993	1,17509	2673,5	568786	851
852	725904	618470208	29,1890	9,4801	2,93044	1,17371	2676,6	570124	852
853	727609	620650477	29,2062	9,4838	2,93095	1,17233	2679,8	571463	853
854	729316	622835864	29,2233	9,4875	2,93146	1,17096	2682,9	572803	854
855	731025	625026375	29,2404	9,4912	2,93197	1,16959	2686,1	574146	855
856	732736	627222016	29,2575	9,4949	2,93247	1,16822	2689,2	575490	856
857	734449	629422793	29,2746	9,4986	2,93298	1,16686	2692,3	576835	857
858	736164	631628712	29,2916	9,5023	2,93349	1,16550	2695,5	578182	858
859	737881	633839779	29,3087	9,5060	2,93399	1,16414	2698,6	579530	859
860	739600	636056000	29,3258	9,5097	2,93450	1,16279	2701,8	580880	**860**
861	741321	638277381	29,3428	9,5134	2,93500	1,16144	2704,9	582232	861
862	743044	640503928	29,3598	9,5171	2,93551	1,16009	2708,1	583585	862
863	744769	642735647	29,3769	9,5207	2,93601	1,15875	2711,2	584940	863
864	746496	644972544	29,3939	9,5244	2,93651	1,15741	2714,3	586297	864
865	748225	647214625	29,4109	9,5281	2,93702	1,15607	2717,5	587655	865
866	749956	649461896	29,4279	9,5317	2,93752	1,15473	2720,6	589014	866
867	751689	651714363	29,4449	9,5354	2,93802	1,15340	2723,8	590375	867
868	753424	653972032	29,4618	9,5391	2,93852	1,15207	2726,9	591738	868
869	755161	656234909	29,4788	9,5427	2,93902	1,15075	2730,0	593102	869
870	756900	658503000	29,4958	9,5464	2,93952	1,14943	2733,2	594468	**870**
871	758641	660776311	29,5127	9,5501	2,94002	1,14811	2736,3	595835	871
872	760384	663054848	29,5296	9,5537	2,94052	1,14679	2739,5	597204	872
873	762129	665338617	29,5466	9,5574	2,94101	1,14548	2742,6	598575	873
874	763876	667627624	29,5635	9,5610	2,94151	1,14416	2745,8	599947	874
875	765625	669921875	29,5804	9,5647	2,94201	1,14286	2748,9	601320	875
876	767376	672221376	29,5973	9,5683	2,94250	1,14155	2752,0	602696	876
877	769129	674526133	29,6142	9,5719	2,94300	1,14025	2755,2	604073	877
878	770884	676836152	29,6311	9,5756	2,94349	1,13895	2758,3	605451	878
879	772641	679151439	29,6479	9,5792	2,94399	1,13766	2761,5	606831	879
880	774400	681472000	29,6648	9,5828	2,94448	1,13636	2764,6	608212	**880**
881	776161	683797841	29,6816	9,5865	2,94498	1,13507	2767,7	609595	881
882	777924	686128968	29,6985	9,5901	2,94547	1,13379	2770,9	610980	882
883	779689	688465387	29,7153	9,5937	2,94596	1,13250	2774,0	612366	883
884	781456	690807104	29,7321	9,5973	2,94645	1,13122	2777,2	613754	884
885	783225	693154125	29,7489	9,6010	2,94694	1,12994	2780,3	615143	885
886	784996	695506456	29,7658	9,6046	2,94743	1,12867	2783,5	616534	886
887	786769	697864103	29,7825	9,6082	2,94792	1,12740	2786,6	617927	887
888	788544	700227072	29,7993	9,6118	2,94841	1,12613	2789,7	619321	888
889	790321	702595369	29,8161	9,6154	2,94890	1,12486	2792,9	620717	889
890	792100	704969000	29,8329	9,6190	2,94939	1,12360	2796,0	622114	**890**
891	793881	707347971	29,8496	9,6226	2,94988	1,12233	2799,2	623513	891
892	795664	709732288	29,8664	9,6262	2,95036	1,12108	2802,3	624913	892
893	797449	712121957	29,8831	9,6298	2,95085	1,11982	2805,4	626315	893
894	799236	714516984	29,8998	9,6334	2,95134	1,11857	2808,6	627718	894
895	801025	716917375	29,9166	9,6370	2,95182	1,11732	2811,7	629124	895
896	802816	719323136	29,9333	9,6406	2,95231	1,11607	2814,9	630530	896
897	804609	721734273	29,9500	9,6442	2,95279	1,11483	2818,0	631938	897
898	806404	724150792	29,9666	9,6477	2,95328	1,11359	2821,2	633348	898
899	808201	726572699	29,9833	9,6513	2,95376	1,11235	2824,3	634760	899
900	810000	729000000	30,0000	9,6549	2,95424	1,11111	2827,4	636173	**900**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
900	810000	729000000	30,0000	9,6549	2,95424	1,11111	2827,4	636173	**900**
901	811801	731432701	30,0167	9,6585	2,95472	1,10988	2830,6	637587	901
902	813604	733870808	30,0333	9,6620	2,95521	1,10865	2833,7	639003	902
903	815409	736314327	30,0500	9,6656	2,95569	1,10742	2836,9	640421	903
904	817216	738763264	30,0666	9,6692	2,95617	1,10619	2840,0	641840	904
905	819025	741217625	30,0832	9,6727	2,95665	1,10497	2843,1	643261	905
906	820836	743677416	30,0998	9,6763	2,95713	1,10375	2846,3	644683	906
907	822649	746142643	30,1164	9,6799	2,95761	1,10254	2849,4	646107	907
908	824464	748613312	30,1330	9,6834	2,95809	1,10132	2852,6	647533	908
909	826281	751089429	30,1496	9,6870	2,95856	1,10011	2855,7	648960	909
910	828100	753571000	30,1662	9,6905	2,95904	1,09890	2858,8	650388	**910**
911	829921	756058031	30,1828	9,6941	2,95952	1,09769	2862,0	651818	911
912	831744	758550528	30,1993	9,6976	2,95999	1,09649	2865,1	653250	912
913	833569	761048497	30,2159	9,7012	2,96047	1,09529	2868,3	654684	913
914	835396	763551944	30,2324	9,7047	2,96095	1,09409	2871,4	656118	914
915	837225	766060875	30,2490	9,7082	2,96142	1,09290	2874,6	657555	915
916	839056	768575296	30,2655	9,7118	2,96190	1,09170	2877,7	658993	916
917	840889	771095213	30,2820	9,7153	2,96237	1,09051	2880,8	660433	917
918	842724	773620632	30,2985	9,7188	2,96284	1,08932	2884,0	661874	918
919	844561	776151559	30,3150	9,7224	2,96332	1,08814	2887,1	663317	919
920	846400	778688000	30,3315	9,7259	2,96379	1,08696	2890,3	664761	**920**
921	848241	781229961	30,3480	9,7294	2,96426	1,08578	2893,4	666207	921
922	850084	783777448	30,3645	9,7329	2,96473	1,08460	2896,5	667654	922
923	851929	786330467	30,3809	9,7364	2,96520	1,08342	2899,7	669103	923
924	853776	788889024	30,3974	9,7400	2,96567	1,08225	2902,8	670554	924
925	855625	791453125	30,4138	9,7435	2,96614	1,08108	2906,0	672006	925
926	857476	794022776	30,4302	9,7470	2,96661	1,07991	2909,1	673460	926
927	859329	796597983	30,4467	9,7505	2,96708	1,07875	2912,3	674915	927
928	861184	799178752	30,4631	9,7540	2,96755	1,07759	2915,4	676372	928
929	863041	801765089	30,4795	9,7575	2,96802	1,07643	2918,5	677831	929
930	864900	804357000	30,4959	9,7610	2,96848	1,07527	2921,7	679291	**930**
931	866761	806954491	30,5123	9,7645	2,96895	1,07411	2924,8	680752	931
932	868624	809557568	30,5287	9,7680	2,96942	1,07296	2928,0	682216	932
933	870489	812166237	30,5450	9,7715	2,96988	1,07181	2931,1	683680	933
934	872356	814780504	30,5614	9,7750	2,97035	1,07066	2934,2	685147	934
935	874225	817400375	30,5778	9,7785	2,97081	1,06952	2937,4	686615	935
936	876096	820025856	30,5941	9,7819	2,97128	1,06838	2940,5	688084	936
937	877969	822656953	30,6105	9,7854	2,97174	1,06724	2943,7	689555	937
938	879844	825293672	30,6268	9,7889	2,97220	1,06610	2946,8	691028	938
939	881721	827936019	30,6431	9,7924	2,97267	1,06496	2950,0	692502	939
940	883600	830584000	30,6594	9,7959	2,97313	1,06383	2953,1	693978	**940**
941	885481	833237621	30,6757	9,7993	2,97359	1,06270	2956,2	695455	941
942	887364	835896888	30,6920	9,8028	2,97405	1,06157	2959,4	696934	942
943	889249	838561807	30,7083	9,8063	2,97451	1,06045	2962,5	698415	943
944	891136	841232384	30,7246	9,8097	2,97497	1,05932	2965,7	699897	944
945	893025	843908625	30,7409	9,8132	2,97543	1,05820	2968,8	701380	945
946	894916	846590536	30,7571	9,8167	2,97589	1,05708	2971,9	702865	946
947	896809	849278123	30,7734	9,8201	2,97635	1,05597	2975,1	704352	947
948	898704	851971392	30,7896	9,8236	2,97681	1,05485	2978,2	705840	948
949	900601	854670349	30,8058	9,8270	2,97727	1,05374	2981,4	707330	949
950	902500	857375000	30,8221	9,8305	2,97772	1,05263	2984,5	708822	**950**

НТБ ДНУЗТ

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[9]{n}$	$\log n$	$1000 \cdot \frac{1}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
950	902500	857375000	30,8221	9,8305	2,97772	1,05263	2984,5	708822	**950**
951	904401	860085351	30,8383	9,8339	2,97818	1,05152	2987,7	710315	951
952	906304	862801408	30,8545	9,8374	2,97864	1,05042	2990,8	711809	952
953	908209	865523177	30,8707	9,8408	2,97909	1,04932	2993,9	713306	953
954	910116	868250664	30,8869	9,8443	2,97955	1,04822	2997,1	714803	954
955	912025	870983875	30,9031	9,8477	2,98000	1,04712	3000,2	716303	955
956	913936	873722816	30,9192	9,8511	2,98046	1,04603	3003,4	717804	956
957	915849	876467493	30,9354	9,8546	2,98091	1,04493	3006,5	719306	957
958	917764	879217912	30,9516	9,8580	2,98137	1,04384	3009,6	720810	958
959	919681	881974079	30,9677	9,8614	2,98182	1,04275	3012,8	722316	959
960	921600	884736000	30,9839	9,8648	2,98227	1,04167	3015,9	723823	**960**
961	923521	887503681	31,0000	9,8683	2,98272	1,04058	3019,1	725332	961
962	925444	890277128	31,0161	9,8717	2,98318	1,03950	3022,2	726842	962
963	927369	893056347	31,0322	9,8751	2,98363	1,03842	3025,4	728354	963
964	929296	895841344	31,0483	9,8785	2,98408	1,03734	3028,5	729867	964
965	931225	898632125	31,0644	9,8819	2,98453	1,03627	3031,6	731382	965
966	933156	901428696	31,0805	9,8854	2,98498	1,03520	3034,8	732899	966
967	935089	904231063	31,0966	9,8888	2,98543	1,03413	3037,9	734417	967
968	937024	907039232	31,1127	9,8922	2,98588	1,03306	3041,1	735937	968
969	938961	909853209	31,1288	9,8956	2,98632	1,03199	3044,2	737458	969
970	940900	912673000	31,1448	9,8990	2,98677	1,03093	3047,3	738981	**970**
971	942841	915498611	31,1609	9,9024	2,98722	1,02987	3050,5	740506	971
972	944784	918330048	31,1769	9,9058	2,98767	1,02881	3053,6	742032	972
973	946729	921167317	31,1929	9,9092	2,98811	1,02775	3056,8	743559	973
974	948676	924010424	31,2090	9,9126	2,98856	1,02669	3059,9	745088	974
975	950625	926859375	31,2250	9,9160	2,98900	1,02564	3063,1	746619	975
976	952576	929714176	31,2410	9,9194	2,98945	1,02459	3066,2	748151	976
977	954529	932574833	31,2570	9,9227	2,98989	1,02354	3069,3	749685	977
978	956484	935441352	31,2730	9,9261	2,99034	1,02249	3072,5	751221	978
979	958441	938313739	31,2890	9,9295	2,99078	1,02145	3075,6	752758	979
980	960400	941192000	31,3050	9,9329	2,99123	1,02041	3078,8	754296	**980**
981	962361	944076141	31,3209	9,9363	2,99167	1,01937	3081,9	755837	981
982	964324	946966168	31,3369	9,9396	2,99211	1,01833	3085,0	757378	982
983	966289	949862087	31,3528	9,9430	2,99255	1,01729	3088,2	758922	983
984	968256	952763904	31,3688	9,9464	2,99300	1,01626	3091,3	760466	984
985	970225	955671625	31,3847	9,9497	2,99344	1,01523	3094,5	762013	985
986	972196	958585256	31,4006	9,9531	2,99388	1,01420	3097,6	763561	986
987	974169	961504803	31,4166	9,9565	2,99432	1,01317	3100,8	765111	987
988	976144	964430272	31,4325	9,9598	2,99476	1,01215	3103,9	766662	988
989	978121	967361669	31,4484	9,9632	2,99520	1,01112	3107,0	768214	989
990	980100	970299000	31,4643	9,9666	2,99564	1,01010	3110,2	769769	**990**
991	982081	973242271	31,4802	9,9699	2,99607	1,00908	3113,3	771325	991
992	984064	976191488	31,4960	9,9733	2,99651	1,00806	3116,5	772882	992
993	986049	979146657	31,5119	9,9766	2,99695	1,00705	3119,6	774441	993
994	988036	982107784	31,5278	9,9800	2,99739	1,00604	3122,7	776002	994
995	990025	985074875	31,5436	9,9833	2,99782	1,00503	3125,9	777564	995
996	992016	988047936	31,5595	9,9866	2,99826	1,00402	3129,0	779128	996
997	994009	991026973	31,5753	9,9900	2,99870	1,00301	3132,2	780693	997
998	996004	994011992	31,5911	9,9933	2,99913	1,00200	3135,3	782260	998
999	998001	997002999	31,6070	9,9967	2,99957	1,00100	3138,5	783828	999

НТБ ДНУЗТ

$^1/_8$—$49^7/_8$ B. Окружности и площади круга

d	1/8		1/4		3/8		5/8		3/4		7/8		d
	U	F	U	F	U	F	U	F	U	F	U	F	
0	0,393	0,0123	0,785	0,0491	1,178	0,1104	1,963	0,3068	2,356	0,4418	2,749	0,6013	0
1	3,534	0,9940	3,927	1,2272	4,320	1,4849	5,105	2,0739	5,498	2,4053	5,890	2,7612	1
2	6,676	3,5466	7,069	3,9761	7,461	4,4301	8,247	5,4119	8,639	5,9396	9,032	6,4918	2
3	9,817	7,6699	10,21	8,2958	10,60	8,9462	11,39	10,321	11,78	11,045	12,17	11,793	3
4	12,96	13,364	13,35	14,186	13,74	15,033	14,53	16,800	14,92	17,721	15,32	18,665	4
5	16,10	20,629	16,49	21,648	16,89	22,691	17,67	24,850	18,06	25,967	18,46	27,109	5
6	19,24	29,465	19,63	30,680	20,03	31,919	20,81	34,472	21,21	35,785	21,60	37,122	6
7	22,38	39,871	22,78	41,282	23,17	42,718	23,95	45,664	24,35	47,173	24,74	48,707	7
8	25,53	51,849	25,92	53,456	26,31	55,088	27,10	58,426	27,49	60,132	27,88	61,862	8
9	28,67	65,397	29,06	67,201	29,45	69,029	30,24	72,760	30,63	74,662	31,02	76,589	9
10	31,81	80,516	32,20	82,516	32,59	84,541	33,38	88,664	33,77	90,763	34,16	92,886	10
11	34,95	97,205	35,34	99,402	35,74	101,62	36,52	106,14	36,91	108,43	37,31	110,75	11
12	38,09	115,47	38,48	117,86	38,88	120,28	39,66	125,19	40,06	127,68	40,45	130,19	12
13	41,23	135,30	41,63	137,89	42,02	140,50	42,80	145,80	43,20	148,49	43,59	151,20	13
14	44,37	156,70	44,77	159,48	45,16	162 30	45,95	167,99	46,34	170,87	46,73	173,78	14
15	47,52	179,67	47,91	182,65	48,30	185,66	49,09	191,75	49,48	194,83	49,87	197,93	15
16	50,66	204,22	51,05	207,39	51,44	210,60	52,23	217,08	52,62	220,35	53,01	223,65	16
17	53,80	230,33	54,19	233,71	54,59	237,10	55,37	243,98	55,76	247,45	56,16	250,95	17
18	56,94	258,02	57,33	261,59	57,73	265,18	58,51	272,45	58,90	276,12	59,30	279,81	18
19	60,08	287,27	60,48	291,04	60,87	294,83	61,65	302,49	62,05	306,35	62,44	310,24	19
20	63,22	318,10	63,62	322,06	64,01	326,05	64,80	334,10	65,19	338,16	65,58	342,25	20
21	66,37	350,50	66,76	354,66	67,15	358,84	67,94	367,28	68,33	371,54	68,72	375,83	21
22	69,51	384,46	69,90	388,82	70,29	393,20	71,08	402,04	71,47	406,49	71,86	410,97	22
23	72,65	420,00	73,04	424,56	73,43	429,13	74,22	438,36	74,61	443,01	75,01	447,69	23
24	75,79	457,11	76,18	461,86	76,58	466,64	77,36	476,26	77,75	481,11	78,15	485,98	24
25	78,93	495,79	79,33	500,74	79,72	505,71	80,50	515,72	80,90	520,77	81,29	525,84	25
26	82,07	536,05	82,47	541,19	82,86	546,35	83,64	556,76	84,04	562,00	84,43	567,27	26
27	85,22	577,87	85,61	583,21	86,00	588,57	86,79	599,37	87,18	604,81	87,57	610,27	27
28	88,36	621,26	88,75	626,80	89,14	632,36	89,93	643,55	90,32	649,18	90,71	654,84	28
29	91,50	666,23	91,89	671,96	92,28	677,71	93,07	689,30	93,46	695,13	93,86	700,98	29
30	94,64	712,76	95,03	718,69	95,43	724,64	96,21	736,62	96,60	742,64	97,00	743,69	30
31	97,78	760,87	98,17	766,99	98,57	773,14	99,35	785,51	99,75	791,73	100,1	797,98	31
32	100,9	810,54	101,3	816,86	101,7	823,21	102,5	835,97	102,9	842,39	103,3	848,83	32
33	104,1	861,79	104,5	868,31	104,8	874,85	105,6	888,00	106,0	894,62	106,4	901,26	33
34	107,2	914,61	107,6	921,32	108,0	928,06	108,8	941,61	109,2	948,42	109,6	955,25	34
35	110,3	969,00	110,7	975,91	111,1	982,84	111,9	996,78	112,3	1003,8	112,7	1010,8	35
36	113,5	1025,0	113,9	1032,1	114,3	1039,2	115,1	1053,5	115,5	1060,7	115,8	1068,0	36
37	116,6	1082,5	117,0	1089,8	117,4	1097,1	118,2	1111,8	118,6	1119,2	119,0	1126,7	37
38	119,8	1141,6	120,2	1149,1	120,6	1156,6	121,3	1171,7	121,7	1179,3	122,1	1186,9	38
39	122,9	1202,3	123,3	1210,0	123,7	1217,7	124,5	1233,2	124,9	1241,0	125,3	1248,8	39
40	126,1	1264,5	126,4	1272,4	126,8	1280,3	127,6	1296,2	128,0	1304,2	128,4	1312,2	40
41	129,2	1328,3	129,6	1336,4	130,0	1344,5	130,8	1360,8	131,2	1369,0	131,6	1377,2	41
42	132,3	1393,7	132,7	1402,0	133,1	1410,3	133,9	1427,0	134,3	1435,4	134,7	1443,8	42
43	135,5	1460,7	135,9	1469,1	136,3	1477,6	137,1	1494,7	137,4	1503,3	137,8	1511,9	43
44	138,6	1529,2	139,0	1537,9	139,4	1546,6	140,2	1564,0	140,6	1572,8	141,0	1581,6	44
45	141,8	1599,3	142,2	1608,2	142,5	1617,0	143,3	1634,9	143,7	1643,9	144,1	1652,9	45
46	144,9	1670,9	145,3	1680,0	145,7	1689,1	146,5	1707,4	146,9	1716,5	147,3	1725,7	46
47	148,0	1744,2	148,4	1753,5	148,8	1762,7	149,6	1781,4	150,0	1790,8	150,4	1800,1	47
48	151,2	1819,0	151,6	1828,5	152,0	1837,9	152,8	1857,0	153,2	1866,5	153,5	1876,1	48
49	154,3	1895,4	154,7	1905,0	155,1	1914,7	155,9	1934,2	156,3	1943,9	156,7	1953,7	49

НТБ ДНУЗТ

для діаметра отъ $^1/_8$ до $99^7/_8$. $50^1/_8$—$99^7/_8$

d	1/8		1/4		3/8		5/8		3/4		7/8		d
	U	F	U	F	U	F	U	F	U	F	U	F	
50	157,5	1973,3	157,9	1983,2	158,3	1993,1	159,0	2012,9	159,4	2022,8	159,8	2032,8	50
51	160,6	2052,8	161,0	2062,9	161,4	2073,0	162,2	2093,2	162,6	2103,3	163,0	2113,5	51
52	163,8	2133,9	164,1	2144,2	164,5	2154,5	165,3	2175,1	165,7	2185,4	166,1	2195,8	52
53	166,9	2216,6	167,3	2227,0	167,7	2237,5	168,5	2258,5	168,9	2269,1	169,3	2279,6	53
54	170,0	2300,8	170,4	2311,5	170,8	2322,1	171,6	2343,5	172,0	2354,3	172,4	2365,0	54
55	173,2	2386,6	173,6	2397,5	174,0	2408,3	174,8	2430,1	175,1	2441,1	175,5	2452,0	55
56	176,3	2474,0	176,7	2485,0	177,1	2496,1	177,9	2518,3	178,3	2529,4	178,7	2540,6	56
57	179,5	2563,0	179,9	2574,2	180,2	2585,4	181,0	2608,0	181,4	2619,4	181,8	2630,7	57
58	182,6	2653,5	183,0	2664,9	183,4	2676,4	184,2	2699,3	184,6	2710,9	185,0	2722,4	58
59	185,7	2745,6	186,1	2757,2	186,5	2768,8	187,3	2792,2	187,7	2803,9	188,1	2815,7	59
60	188,9	2839,2	189,3	2851,0	189,7	2862,9	190,5	2886,6	190,9	2898,6	191,2	2910,5	60
61	192,0	2934,5	192,4	2946,5	192,8	2958,5	193,6	2982,7	194,0	2994,8	194,4	3006,9	61
62	195,2	3031,3	195,6	3043,5	196,0	3055,7	196,7	3080,2	197,1	3092,6	197,5	3104,9	62
63	198,3	3129,6	198,7	3142,0	199,1	3154,5	199,9	3179,4	200,3	3191,9	200,7	3204,4	63
64	201,5	3229,6	201,8	3242,2	202,2	3254,8	203,0	3280,1	203,4	3292,8	203,8	3305,6	64
65	204,6	3331,1	205,0	3343,9	205,4	3356,7	206,2	3382,4	206,6	3395,3	207,0	3408,2	65
66	207,7	3434,2	208,1	3447,2	208,5	3460,2	209,3	3486,3	209,7	3499,4	210,1	3512,5	66
67	210,9	3538,8	211,3	3552,0	211,7	3565,2	212,5	3591,7	212,8	3605,0	213,2	3618,3	67
68	214,0	3645,0	214,4	3658,4	214,8	3671,8	215,6	3698,7	216,0	3712,2	216,4	3725,7	68
69	217,2	3752,8	217,6	3766,4	217,9	3780,0	218,7	3807,3	219,1	3821,0	219,5	3834,7	69
70	220,3	3862,2	220,7	3876,0	221,1	3889,8	221,9	3917,5	222,3	3931,4	222,7	3945,3	70
71	223,4	3973,1	223,8	3987,1	224,2	4001,1	225,0	4029,2	225,4	4043,3	225,8	4057,4	71
72	226,0	4085,7	227,0	4099,8	227,4	4114,0	228,2	4142,5	228,6	4156,8	228,9	4171,1	72
73	229,7	4199,7	230,1	4214,1	230,5	4228,5	231,3	4257,4	231,7	4271,8	232,1	4286,3	73
74	232,9	4315,4	233,3	4329,9	233,7	4344,5	234,4	4373,8	234,8	4388,5	235,2	4403,2	74
75	236,0	4432,6	236,4	4447,4	236,8	4462,2	237,6	4491,8	238,0	4506,7	238,4	4521,5	75
76	239,2	4551,4	239,5	4566,4	239,9	4581,3	240,7	4611,4	241,1	4626,4	241,5	4641,5	76
77	242,3	4671,8	242,7	4686,9	243,1	4702,1	243,9	4732,5	244,3	4747,8	244,7	4763,1	77
78	245,4	4793,7	245,8	4809,0	246,2	4824,4	247,0	4855,2	247,4	4870,7	247,8	4886,2	78
79	248,6	4917,2	249,0	4932,7	249,4	4948,3	250,1	4979,5	250,5	4995,2	250,9	5010,9	79
80	251,7	5042,3	252,1	5058,0	252,5	5073,8	253,3	5105,4	253,7	5121,2	254,1	5137,1	80
81	254,9	5168,9	255,3	5184,9	255,6	5200,8	256,4	5232,8	256,8	5248,9	257,2	5264,9	81
82	258,0	5297,1	258,4	5313,3	258,8	5329,4	259,6	5361,8	260,0	5378,1	260,4	5394,3	82
83	261,1	5426,9	261,5	5443,3	261,9	5459,6	262,7	5492,4	263,1	5508,8	263,5	5525,3	83
84	264,3	5558,3	264,7	5574,8	265,1	5591,4	265,9	5624,5	266,2	5641,2	266,6	5657,8	84
85	267,4	5691,2	267,8	5707,9	268,2	5724,7	269,0	5758,3	269,4	5775,1	269,8	5791,9	85
86	270,6	5825,7	271,0	5842,6	271,4	5859,6	272,1	5893,5	272,5	5910,6	272,9	5927,6	86
87	273,7	5961,8	274,1	5978,9	274,5	5996,0	275,3	6030,4	275,7	6047,6	276,1	6064,9	87
88	276,9	6099,4	277,2	6116,7	277,6	6134,1	278,4	6168,8	278,8	6186,2	279,2	6203,7	88
89	280,0	6238,6	280,4	6256,1	280,8	6273,7	281,6	6308,8	282,0	6326,4	282,4	6344,1	89
90	283,1	6379,4	283,5	6397,1	283,9	6414,8	284,7	6450,4	285,1	6468,2	285,5	6486,0	90
91	286,3	6521,8	286,7	6539,7	287,1	6557,6	287,8	6593,5	288,2	6611,5	288,6	6629,6	91
92	289,4	6665,7	289,8	6683,8	290,2	6701,9	291,0	6738,2	291,4	6756,4	291,8	6774,7	92
93	292,6	6811,2	293,0	6829,5	293,3	6847,8	294,1	6884,5	294,5	6902,9	294,9	6921,3	93
94	295,7	6958,2	296,1	6976,7	296,5	6995,3	297,3	7032,4	297,7	7051,0	298,1	7069,6	94
95	298,8	7106,9	299,2	7125,6	299,6	7144,3	300,4	7181,8	300,8	7200,6	301,2	7219,4	95
96	302,0	7257,1	302,4	7276,0	302,8	7294,9	303,6	7332,8	303,9	7351,8	304,3	7370,8	96
97	305,1	7408,9	305,5	7428,0	305,9	7447,1	306,7	7485,3	307,1	7504,5	307,5	7523,7	97
98	308,3	7562,2	308,7	7581,5	309,1	7600,8	309,8	7639,5	310,2	7658,9	310,6	7678,3	98
99	311,4	7717,1	311,8	7736,6	312,2	7756,1	313,0	7795,2	313,4	7814,8	313,8	7834,4	99

НТБ ДНУЗТ

0—499 C. Натуральные

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	— ∞	0,0000	0,6931	1,0986	1,3863	1,6094	1,7918	1,9459	2,0794	2,1972
10	2,3026	2,3979	2,4849	2,5649	2,6391	2,7081	2,7726	2,8332	2,8904	2,9444
20	2,9957	3,0445	3,0910	3,1355	3,1781	3,2189	3,2581	3,2958	3,3322	3,3673
30	3,4012	3,4340	3,4657	3,4965	3,5264	3,5553	3,5835	3,6109	3,6376	3,6636
40	3,6889	3,7136	3,7377	3,7612	3,7842	3,8067	3,8286	3,8501	3,8712	3,8918
50	3,9120	3,9318	3,9512	3,9703	3,9890	4,0073	4,0254	4,0431	4,0604	4,0775
60	4,0943	4,1109	4,1271	4,1431	4,1589	4,1744	4,1897	4,2047	4,2195	4,2341
70	4,2485	4,2627	4,2767	4,2905	4,3041	4,3175	4,3307	4,3438	4,3567	4,3694
80	4,3820	4,3944	4,4067	4,4188	4,4308	4,4427	4,4543	4,4659	4,4773	4,4886
90	4,4998	4,5109	4,5218	4,5326	4,5433	4,5539	4,5643	4,5747	4,5850	4,5951
100	4,6052	4,6151	4,6250	4,6347	4,6444	4,6540	4,6634	4,6728	4,6821	4,6913
110	4,7005	4,7095	4,7185	4,7274	4,7362	4,7449	4,7536	4,7622	4,7707	4,7791
120	4,7875	4,7958	4,8040	4,8122	4,8203	4,8283	4,8363	4,8442	4,8520	4,8598
130	4,8675	4,8752	4,8828	4,8903	4,8978	4,9053	4,9127	4,9200	4,9273	4,9345
140	4,9416	4,9488	4,9558	4,9628	4,9698	4,9767	4,9836	4,9904	4,9972	5,0039
150	5,0106	5,0173	5,0239	5,0304	5,0370	5,0434	5,0499	5,0562	5,0626	5,0689
160	5,0752	5,0814	5,0876	5,0938	5,0999	5,1059	5,1120	5,1180	5,1240	5,1299
170	5,1358	5,1417	5,1475	5,1533	5,1591	5,1648	5,1705	5,1761	5,1818	5,1874
180	5,1930	5,1985	5,2040	5,2095	5,2149	5,2204	5,2257	5,2311	5,2364	5,2417
190	5,2470	5,2523	5,2575	5,2627	5,2679	5,2730	5,2781	5,2832	5,2883	5,2933
200	5,2983	5,3033	5,3083	5,3132	5,3181	5,3230	5,3279	5,3327	5,3375	5,3423
210	5,3471	5,3519	5,3566	5,3613	5,3660	5,3706	5,3753	5,3799	5,3845	5,3891
220	5,3936	5,3982	5,4027	5,4072	5,4116	5,4161	5,4205	5,4250	5,4293	5,4337
230	5,4381	5,4424	5,4467	5,4510	5,4553	5,4596	5,4638	5,4681	5,4723	5,4765
240	5,4806	5,4848	5,4889	5,4931	5,4972	5,5013	5,5053	5,5094	5,5134	5,5175
250	5,5215	5,5255	5,5294	5,5334	5,5373	5,5413	5,5452	5,5491	5,5530	5,5568
260	5,5607	5,5645	5,5683	5,5722	5,5759	5,5797	5,5835	5,5872	5,5910	5,5947
270	5,5984	5,6021	5,6058	5,6095	5,6131	5,6168	5,6204	5,6240	5,6276	5,6312
280	5,6348	5,6384	5,6419	5,6454	5,6490	5,6525	5,6560	5,6595	5,6630	5,6664
290	5,6699	5,6733	5,6768	5,6802	5,6836	5,6870	5,6904	5,6937	5,6971	5,7004
300	5,7038	5,7071	5,7104	5,7137	5,7170	5,7203	5,7236	5,7268	5,7301	5,7333
310	5,7366	5,7398	5,7430	5,7462	5,7494	5,7526	5,7557	5,7589	5,7621	5,7652
320	5,7683	5,7714	5,7746	5,7777	5,7807	5,7838	5,7869	5,7900	5,7930	5,7961
330	5,7991	5,8021	5,8051	5,8081	5,8111	5,8141	5,8171	5,8201	5,8230	5,8260
340	5,8289	5,8319	5,8348	5,8377	5,8406	5,8435	5,8464	5,8493	5,8522	5,8551
350	5,8579	5,8608	5,8636	5,8665	5,8693	5,8721	5,8749	5,8777	5,8805	5,8833
360	5,8861	5,8889	5,8916	5,8944	5,8972	5,8999	5,9026	5,9054	5,9081	5,9011
370	5,9135	5,9162	5,9189	5,9216	5,9243	5,9269	5,9296	5,9322	5,9349	5,9375
380	5,9402	5,9428	5,9454	5,9480	5,9506	5,9532	5,9558	5,9584	5,9610	5,9636
390	5,9661	5,9687	5,9713	5,9738	5,9764	5,9789	5,9814	5,9839	5,9865	5,9890
400	5,9915	5,9940	5,9965	5,9989	6,0014	6,0039	6,0064	6,0088	6,0113	6,0137
410	6,0162	6,0186	6,0210	6,0234	6,0259	6,0283	6,0307	6,0331	6,0355	6,0379
420	6,0403	6,0426	6,0450	6,0474	6,0497	6,0521	6,0544	6,0568	6,0591	6,0615
430	6,0638	6,0661	6,0684	6,0707	6,0730	6,0753	6,0776	6,0799	6,0822	6,0845
440	6,0868	6,0890	6,0913	6,0936	6,0958	6,0981	6,1003	6,1026	6,1048	6,1070
450	6,1092	6,1115	6,1137	6,1159	6,1181	6,1203	6,1225	6,1247	6,1269	6,1291
460	6,1312	6,1334	6,1356	6,1377	6,1399	6,1420	6,1442	6,1463	6,1485	6,1506
470	6,1527	6,1549	6,1570	6,1591	6,1612	6,1633	6,1654	6,1675	6,1696	6,1717
480	6,1738	6,1759	6,1779	6,1800	6,1821	6,1841	6,1862	6,1883	6,1903	6,1924
490	6,1944	6,1964	6,1985	6,2005	6,2025	6,2046	6,2066	6,2086	6,2106	6,2126

НТБ ДНУЗТ

логариемы. 500—999

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
500	6,2146	6,2166	6,2186	6,2206	6,2226	6,2246	6,2265	6,2285	6,2305	6,2324
510	6,2344	6,2364	6,2383	6,2403	6,2422	6,2442	6,2461	6,2480	6,2500	6,2519
520	6,2538	6,2558	6,2577	6,2596	6,2615	6,2634	6,2653	6,2672	6,2691	6,2710
530	6,2729	6,2748	6,2766	6,2785	6,2804	6,2823	6,2841	6,2860	6,2879	6,2897
540	6,2916	6,2934	6,2953	6,2971	6,2989	6,3008	6,3026	6,3044	6,3063	6,3081
550	6,3099	6,3117	6,3135	6,3154	6,3172	6,3190	6,3208	6,3226	6,3244	6,3261
560	6,3279	6,3297	6,3315	6,3333	6,3351	6,3368	6,3386	6,3404	6,3421	6,3439
570	6,3456	6,3474	6,3491	6,3509	6,3526	6,3544	6,3561	6,3578	6,3596	6,3613
580	6,3630	6,3648	6,3665	6,3682	6,3699	6,3716	6,3733	6,3750	6,3767	6,3784
590	6,3801	6,3818	6,3835	6,3852	6,3869	6,3886	6,3902	6,3919	6,3936	6,3953
600	6,3969	6,3986	6,4003	6,4019	6,4036	6,4052	6,4069	6,4085	6,4102	6,4118
610	6,4135	6,4151	6,4167	6,4184	6,4200	6,4216	6,4232	6,4249	6,4265	6,4281
620	6,4297	6,4313	6,4329	6,4345	6,4362	6,4378	6,4394	6,4409	6,4425	6,4441
630	6,4457	6,4473	6,4489	6,4505	6,4520	6,4536	6,4552	6,4568	6,4583	6,4599
640	6,4615	6,4630	6,4646	6,4661	6,4677	6,4693	6,4708	6,4723	6,4739	6,4754
650	6,4770	6,4785	6,4800	6,4816	6,4831	6,4846	6,4862	6,4877	6,4892	6,4907
660	6,4922	6,4938	6,4953	6,4968	6,4983	6,4998	6,5013	6,5028	6,5043	6,5058
670	6,5073	6,5088	6,5103	6,5117	6,5132	6,5147	6,5162	6,5177	6,5191	6,5206
680	6,5221	6,5236	6,5250	6,5265	6,5280	6,5294	6,5309	6,5323	6,5338	6,5352
690	6,5367	6,5381	6,5396	6,5410	6,5425	6,5439	6,5453	6,5468	6,5482	6,5497
700	6,5511	6,5525	6,5539	6,5554	6,5568	6,5582	6,5596	6,5610	6,5624	6,5639
710	6,5653	6,5667	6,5681	6,5695	6,5709	6,5723	6,5737	6,5751	6,5765	6,5779
720	6,5793	6,5806	6,5820	6,5834	6,5848	6,5862	6,5876	6,5889	6,5903	6,5917
730	6,5930	6,5944	6,5958	6,5971	6,5985	6,5999	6,6012	6,6026	6,6039	6,6053
740	6,6067	6,6080	6,6093	6,6107	6,6120	6,6134	6,6147	6,6161	6,6174	6,6187
750	6,6201	6,6214	6,6227	6,6241	6,6254	6,6267	6,6280	6,6294	6,6307	6,6320
760	6,6333	6,6346	6,6359	6,6373	6,6386	6,6399	6,6412	6,6425	6,6438	6,6451
770	6,6464	6,6477	6,6490	6,6503	6,6516	6,6529	6,6542	6,6554	6,6567	6,6580
780	6,6593	6,6606	6,6619	6,6631	6,6644	6,6657	6,6670	6,6682	6,6695	6,6708
790	6,6720	6,6733	6,6746	6,6758	6,6771	6,6783	6,6796	6,6809	6,6821	6,6834
800	6,6846	6,6859	6,6871	6,6884	6,6896	6,6908	6,6921	6,6933	6,6946	6,6958
810	6,6970	6,6983	6,6995	6,7007	6,7020	6,7032	6,7044	6,7056	6,7069	6,7081
820	6,7093	6,7105	6,7117	6,7130	6,7142	6,7154	6,7166	6,7178	6,7190	6,7202
830	6,7214	6,7226	6,7238	6,7250	6,7262	6,7274	6,7286	6,7298	6,7310	6,7322
840	6,7334	6,7346	6,7358	6,7370	6,7382	6,7393	6,7405	6,7417	6,7429	6,7441
850	6,7452	6,7464	6,7476	6,7488	6,7499	6,7511	6,7523	6,7534	6,7546	6,7558
860	6,7569	6,7581	6,7593	6,7604	6,7616	6,7627	6,7639	6,7650	6,7662	6,7673
870	6,7685	6,7696	6,7708	6,7719	6,7731	6,7742	6,7754	6,7765	6,7776	6,7788
880	6,7799	6,7811	6,7822	6,7833	6,7845	6,7856	6,7867	6,7878	6,7890	6,7901
890	6,7912	6,7923	6,7935	6,7946	6,7957	6,7968	6,7979	6,7991	6,8002	6,8013
900	6,8024	6,8035	6,8046	6,8057	6,8068	6,8079	6,8090	6,8101	6,8112	6,8123
910	6,8134	6,8145	6,8156	6,8167	6,8178	6,8189	6,8200	6,8211	6,8222	6,8233
920	6,8244	6,8255	6,8265	6,8276	6,8287	6,8298	6,8309	6,8320	6,8330	6,8341
930	6,8352	6,8363	6,8373	6,8384	6,8395	6,8405	6,8416	6,8427	6,8437	6,8448
940	6,8459	6,8469	6,8480	6,8491	6,8501	6,8512	6,8522	6,8533	6,8544	6,8554
950	6,8565	6,8575	6,8586	6,8596	6,8607	6,8617	6,8628	6,8638	6,8648	6,8659
960	6,8669	6,8680	6,8690	6,8701	6,8711	6,8721	6,8732	6,8742	6,8752	6,8763
970	6,8773	6,8783	6,8794	6,8804	6,8814	6,8824	6,8835	6,8845	6,8855	6,8865
980	6,8876	6,8886	6,8896	6,8906	6,8916	6,8926	6,8937	6,8947	6,8957	6,8967
990	6,8977	6,8987	6,8997	6,9007	6,9017	6,9027	6,9037	6,9047	6,9057	6,9068

НТБ ДНУЗТ

D. Таблицы круговыхъ функцій.

Град.	Sinus 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
0	0 00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	0,01745	89
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	0,03490	88
2	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943	0,05234	87
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	0,06976	86
4	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426	0,08716	85
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	0,10453	84
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	0,12187	83
7	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629	0,13917	82
8	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	0,15643	81
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	0,17365	80
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795	0,19081	79
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	0,20791	78
12	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212	0,22495	77
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	0,24192	76
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	0,25882	75
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284	0,27564	74
16	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	0,29237	73
17	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625	0,30902	72
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	0,32557	71
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	0,34202	70
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	0,35837	69
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	0,37461	68
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	0,39073	67
23	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40142	0,40408	0,40674	66
24	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998	0,42262	65
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	0,43837	64
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140	0,45399	63
27	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690	0,46947	62
28	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226	0,48481	61
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748	0,50000	60
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	0,51504	59
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745	0,52992	58
32	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	0,54464	57
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678	0,55919	56
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119	0,57358	55
35	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543	0,58779	54
36	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	0,60182	53
37	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337	0,61566	52
38	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706	0,62932	51
39	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0,64056	0,64279	50
40	0,64279	0,64501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386	0,65606	49
41	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697	0,66913	48
42	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987	0,68200	47
43	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	0,69466	46
44	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505	0,70711	45
	60′	50	40′	30′	20′	10′	0′	Град.
	Cosinus							

РЧТБ ДНУЗТ

Град.	Cosinus 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989	0,99985	89
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949	0,99939	88
2	0,99939	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878	0,99863	87
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776	0,99756	86
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644	0,99619	85
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482	0,99452	84
6	0,99452	0,99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290	0,99255	83
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067	0,99027	82
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0,98858	0,98814	0,98769	81
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531	0,98481	80
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0,98218	0,98163	79
11	0,98163	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875	0,97815	78
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502	0,97437	77
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100	0,97030	76
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667	0,96593	75
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96363	0,96285	0,96206	0,96126	74
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715	0,95630	73
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195	0,95106	72
18	0,95106	0,95015	0,94924	0,94832	0,94740	0,94646	0,94552	71
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0,94167	0,94068	0,93969	70
20	0,93969	0,93869	0,93769	0,93667	0,93565	0,93462	0,93358	69
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92935	0,92827	0,92718	68
22	0,92718	0,92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164	0,92050	67
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0,91472	0,91355	66
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90753	0,90631	65
25	0,90631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007	0,89879	64
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232	0,89101	63
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431	0,88295	62
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603	0,87462	61
29	0,87462	0,87321	0,87178	0,87036	0,86892	0,86748	0,86603	60
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0,86015	0,85866	0,85717	59
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959	0,84805	58
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025	0,83867	57
33	0,83867	0,83708	0,83549	0,83389	0,83228	0,83066	0,82904	56
34	0,82904	0,82741	0,82577	0,82413	0,82248	0,82082	0,81915	55
35	0,81915	0,81748	0,81580	0,81412	0,81242	0,81072	0,80902	54
36	0,80902	0,80730	0,80558	0,80386	0,80212	0,80038	0,79864	53
37	0,79864	0,79688	0,79512	0,79335	0,79158	0,78980	0,78801	52
38	0,78801	0,78622	0,78442	0,78261	0,78079	0,77897	0,77715	51
39	0,77715	0,77531	0,77347	0,77162	0,76977	0,76791	0,76604	50
40	0,76604	0,76417	0,76229	0,76041	0,75851	0,75661	0,75471	49
41	0,75471	0,75280	0,75088	0,74896	0,74703	0,74509	0,74314	48
42	0,74314	0,74120	0,73924	0,73728	0,73531	0,73333	0,73135	47
43	0,73135	0,72937	0,72737	0,72537	0,72337	0,72136	0,71934	46
44	0,71934	0,71732	0,71529	0,71325	0,71121	0,70916	0,70711	45
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	Град.
	Sinus							

НТБ ДНУЗТ

Град.	Tangens 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	0,01746	89
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201	0,03492	88
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949	0,05241	87
3	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700	0,06993	86
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	0,08749	85
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216	0,10510	84
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	0,12278	83
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758	0,14054	82
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	0,15838	81
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	0,17633	80
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136	0,19438	79
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952	0,21256	78
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	0,23087	77
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624	0,24933	76
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483	0,26795	75
15	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	0,28675	74
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	0,30573	73
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	0,32492	72
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	0,34433	71
19	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	0,36397	70
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	0,38386	69
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	0,40403	68
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	0,42447	67
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	0,44523	66
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	0,46631	65
25	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414	0,48773	64
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587	0,50953	63
27	0,50953	0,51320	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798	0,53171	62
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	0,55431	61
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	0,57735	60
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	0,60086	59
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	0,62487	58
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528	0,64941	57
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028	0,67451	56
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	0,70021	55
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	0,72654	54
36	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900	0,75355	53
37	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	0,78129	52
38	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	0,80978	51
39	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	0,83910	50
40	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419	0,86929	49
41	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	0,90040	48
42	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	0,93252	47
43	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	0,96569	46
44	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	1,00000	45
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	Град.
	Cotangens							

НТБ ДНУЗТ

Град.	Cotangens 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
0	∞	343,77371	171,88540	114,58865	85,93979	68,75009	57,28996	89
1	57,28996	49,10388	42,96408	38,18846	34,36777	31,24158	28,63625	88
2	28,63625	26,43160	24,54176	22,90377	21,47040	20,20555	19,08114	87
3	19,08114	18,07498	17,16934	16,34986	15,60478	14,92442	14,30067	86
4	14,30067	13,72674	13,19688	12,70621	12,25051	11,82617	11,43005	85
5	11,43005	11,05943	10,71191	10,38540	10,07803	9,78817	9,51436	84
6	9,51436	9,25530	9,00983	8,77689	8,55555	8,34496	8,14435	83
7	8,14435	7,95302	7,77035	7,59575	7,42871	7,26873	7,11537	82
8	7,11537	6,96823	6,82694	6,69116	6,56055	6,43484	6,31375	81
9	6,31375	6,19703	6,08444	5,97576	5,87080	5,76937	5,67128	80
10	5,67128	5,57638	5,48451	5,39552	5,30928	5,22566	5,14455	79
11	5,14455	5,06584	4,98940	4,91516	4,84300	4,77286	4,70463	78
12	4,70463	4,63825	4,57363	4,51071	4,44942	4,38969	4,33148	77
13	4,33148	4,27471	4,21933	4,16530	4,11256	4,06107	4,01078	76
14	4,01078	3,96165	3,91364	3,86671	3,82083	3,77595	3,73205	75
15	3,73205	3,68909	3,64705	3,60588	3,56557	3,52609	3,48741	74
16	3,48741	3,44951	3,41236	3,37594	3,34023	3,30521	3,27085	73
17	3,27085	3,23714	3,20406	3,17159	3,13972	3,10842	3,07768	72
18	3,07768	3,04749	3,01783	2,98869	2,96004	2,93189	2,90421	71
19	2,90421	2,87700	2,85023	2,82391	2,79802	2,77254	2,74748	70
20	2,74748	2,72281	2,69853	2,67462	2,65109	2,62791	2,60509	69
21	2,60509	2,58261	2,56046	2,53865	2,51715	2,49597	2,47509	68
22	2,47509	2,45451	2,43422	2,41421	2,39449	2,37504	2,35585	67
23	2,35585	2,33693	2,31826	2,29984	2,28167	2,26374	2,24604	66
24	2,24604	2,22857	2,21132	2,19430	2,17749	2,16090	2,14451	65
25	2,14451	2,12832	2,11233	2,09654	2,08094	2,06553	2,05030	64
26	2,05030	2,03526	2,02039	2,00569	1,99116	1,97680	1,96261	63
27	1,96261	1,94858	1,93470	1,92098	1,90741	1,89400	1,88073	62
28	1,88073	1,86760	1,85462	1,84177	1,82906	1,81649	1,80405	61
29	1,80405	1,79174	1,77955	1,76749	1,75556	1,74375	1,73205	60
30	1,73205	1,72047	1,70901	1,69766	1,68643	1,67530	1,66428	59
31	1,66428	1,65337	1,64256	1,63185	1,62125	1,61074	1,60033	58
32	1,60033	1,59002	1,57981	1,56969	1,55966	1,54972	1,53987	57
33	1,53987	1,53010	1,52043	1,51084	1,50133	1,49190	1,48256	56
34	1,48256	1,47330	1,46411	1,45501	1,44598	1,43703	1,42815	55
35	1,42815	1,41934	1,41061	1,40195	1,39336	1,38484	1,37638	54
36	1,37638	1,36800	1,35968	1,35142	1,34323	1,33511	1,32704	53
37	1,32704	1,31904	1,31110	1,30323	1,29541	1,28764	1,27994	52
38	1,27994	1,27230	1,26471	1,25717	1,24969	1,24227	1,23490	51
39	1,23490	1,22758	1,22031	1,21310	1,20593	1,19882	1,19175	50
40	1,19175	1,18474	1,17777	1,17085	1,16398	1,15715	1,15037	49
41	1,15037	1,14363	1,13694	1,13029	1,12369	1,11713	1,11061	48
42	1,11061	1,10414	1,09770	1,09131	1,08496	1,07864	1,07237	47
43	1,07237	1,06613	1,05994	1,05378	1,04766	1,04158	1,03553	46
44	1,03553	1,02952	1,02355	1,01761	1,01170	1,00583	1,00000	45
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	Град.
	Tangens							

НТБ ДНУЗТ

E. Таблицы гиперболическихъ функцій.

Гиперболическая функція Sinh φ для $\varphi = 0$ до 5,09.

φ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
0,0	0.0000	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0701	0801	0901	101
0,1	0.1002	1102	1203	1304	1405	1506	1607	1708	1810	1911	102
0,2	0,2013	2115	2218	2320	2423	2526	2629	2733	2837	2941	104
0,3	0,3045	3150	3255	3360	3466	3572	3678	3785	3892	4000	108
0,4	0.4108	4216	4325	4434	4543	4653	4764	4875	4986	5098	113
0,5	0,5211	5324	5438	5552	5666	5782	5897	6014	6131	6248	119
0,6	0.6367	6485	6605	6725	6846	6967	7090	7213	7336	7461	125
0.7	0,7586	7712	7838	7966	8094	8223	8353	8484	8615	8748	133
0,8	0,8881	9015	9150	9286	9423	9561	9700	9840	9981	0122*	143
0,9	1,0265	0409	0554	0700	0847	0995	1144	1294	1446	1598	154
1,0	1,1752	1907	2063	2220	2379	2539	2700	2862	3025	3190	166
1,1	1,3356	3524	3693	3863	4035	4208	4382	4558	4735	4914	181
1,2	1,5095	5276	5460	5645	5831	6019	6209	6400	6593	6788	196
1.3	1,6984	7182	7381	7583	7786	7991	8198	8406	8617	8829	214
1,4	1,9043	9259	9477	9697	9919	0143*	0369*	0597*	0827*	1059*	234
1,5	2,1293	1529	1768	2008	2251	2496	2743	2993	3245	3499	257
1.6	2,3756	4015	4276	4540	4806	5075	5346	5620	5896	6175	281
1.7	2,6456	6740	7027	7317	7609	7904	8202	8503	8806	9112	310
1,8	2,9422	9734	0049*	0367*	0689*	1013*	1340*	1671*	2005*	2341*	341
1.9	3,2682	3025	3372	3722	4075	4432	4792	5156	5523	5894	375
2,0	3,6269	6647	7028	7414	7803	8196	8593	8993	9398	9806	413
2,1	4,0219	0635	1056	1480	1909	2342	2779	3221	3666	4117	454
2,2	4,4571	5030	5494	5962	6434	6912	7394	7880	8372	8868	502
2,3	4,9370	9876	0387*	0903*	1425*	1951*	2483*	3020*	3562*	4109*	553
2,4	5,4662	5221	5785	6354	6929	7510	8097	8689	9288	9892	610
2,5	6,0502	1118	1741	2369	3004	3645	4293	4946	5607	6274	673
2,6	6,6947	7628	8315	9009	9709	0417*	1132*	1854*	2583*	3319*	744
2,7	7,4063	4814	5572	6338	7112	7894	8683	9480	0285*	1098*	821
2,8	8,1919	2749	3586	4432	5287	6150	7021	7902	8791	9689	907
2,9	9,0596	1512	2437	3371	4315	5268	6231	7203	8185	9177	1002
3,0	10,0179	1191	2212	3245	4287	5340	6403	7477	8562	9658	1107
3,1	11,0765	1882	3011	4151	5303	6466	7641	8827	0026*	1236*	1223
3,2	12,2459	3694	4941	6201	7473	8758	0056*	1367*	2691*	4028*	1351
3,3	13,5379	6743	8121	9513	0919*	2338*	3772*	5221*	6684*	8161*	1493
3.4	14,965	15,116	15.268	15,422	15,577	15,734	15,893	16,053	16,214	16,378	165
3,5	16,543	16,709	16,877	17,047	17,219	17,392	17,567	17,744	17,923	18,103	182
3,6	18,285	18,470	18,655	18,843	19,033	19,224	19,418	19,613	19,811	20,010	201
3,7	20,211	20,415	20,620	20,828	21,037	21,249	21,463	21.679	21,897	22,117	222
3,8	22,339	22,564	22,791	23,020	23,252	23,486	23,722	23,961	24,202	24,445	246
3,9	24,691	24,939	25,190	25,444	25,700	25,958	26,219	26,483	26,749	27,018	272
4,0	27,290	27,564	27,842	28.122	28,404	28,690	28,979	29.270	29,564	29,862	300
4,1	30.162	30,465	30,772	31,081	31.393	31,709	32,028	32.350	32,675	33,004	332
4,2	33,336	33,671	34,009	34,351	34,697	35,046	35,398	35,754	36,113	36,476	367
4,3	36,843	37,214	37.588	37,966	38,347	38,733	39,122	39,515	39,913	40,314	405
4,4	40,719	41,129	41,542	41,960	42,382	42,808	43,238	43,673	44,112	44,555	448
4,5	45,003	45,455	45,912	46,374	46,840	47,311	47.787	48,267	48,752	49,242	495
4.6	49,737	50,237	50,742	51,252	51,767	52,288	52,813	53,344	53,880	54.422	547
4,7	54,969	55,522	56,080	56,643	57,213	57,788	58,369	58,955	59,548	60,147	604
4,8	60,751	61,362	61,979	62,601	63.231	63,866	64,508	65,157	65,812	66,473	668
4,9	67,141	67,816	68,498	69,186	69,882	70,584	71,293	72,010	72,734	73,465	738
5,0	74,203	74,949	75,702	76,463	77,232	78,008	78,792	79,584	80,384	81,192	816

НТБ ДНУЗТ

Гиперболическая функція Cosh φ для $\varphi = 0$ до 5,09.

φ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
0,0	1,0000	0001	0002	0005	0008	0013	0018	0025	0032	0041	9
0,1	1,0050	0061	0072	0085	0098	0113	0128	0145	0162	0181	20
0,2	1,0201	0221	0243	0266	0289	0314	0340	0367	0395	0423	30
0,3	1,0453	0484	0516	0549	0584	0619	0655	0692	0731	0770	41
0,4	1,0811	0852	0895	0939	0984	1030	1077	1125	1174	1225	51
0,5	1,1276	1329	1383	1438	1494	1551	1609	1669	1730	1792	63
0,6	1,1855	1919	1984	2051	2119	2188	2258	2330	2402	2476	76
0,7	1,2552	2628	2706	2785	2865	2947	3030	3114	3199	3286	88
0,8	1,3374	3464	3555	3647	3740	3835	3932	4029	4128	4229	102
0,9	1,4331	4434	4539	4645	4753	4862	4973	5085	5199	5314	117
1,0	1,5431	5549	5669	5790	5913	6038	6164	6292	6421	6552	133
1,1	1,6685	6820	6956	7093	7233	7374	7517	7662	7808	7956	151
1,2	1,8107	8258	8412	8568	8725	8884	9045	9208	9373	9540	169
1,3	1,9709	9880	0053*	0228*	0404*	0583*	0764*	0947*	1132*	1320*	189
1,4	2,1509	1700	1894	2090	2288	2488	2691	2896	3103	3312	212
1,5	2,3524	3738	3955	4174	4395	4619	4845	5073	5305	5538	237
1,6	2,5775	6013	6255	6499	6746	6995	7247	7502	7760	8020	263
1,7	2,8283	8549	8818	9090	9364	9642	9922	0206*	0492*	0782*	293
1,8	3,1075	1371	1669	1972	2277	2585	2897	3212	3530	3853	325
1,9	3,4177	4506	4838	5173	5512	5855	6201	6551	6904	7261	361
2,0	3,7622	7987	8355	8727	9103	9483	9867	0255*	0647*	1043*	400
2,1	4,1443	1847	2256	2668	3085	3507	3932	4362	4797	5236	443
2,2	4,5679	6127	6580	7037	7499	7966	8437	8914	9395	9881	491
2,3	5,0372	0868	1370	1876	2388	2905	3427	3954	4487	5026	543
2,4	5,5569	6119	6674	7235	7801	8373	8951	9535	0125*	0721*	602
2,5	6,1323	1931	2545	3166	3793	4426	5066	5712	6365	7024	666
2,6	6,7690	8363	9043	9729	0423*	1123*	1831*	2546*	3268*	3998*	737
2,7	7,4735	5479	6231	6990	7758	8533	9136	0106*	0905*	1712*	815
2,8	8,2527	3351	4182	5022	5871	6728	7594	8469	9352	0244*	902
2,9	9,1146	2056	2976	3905	4844	5791	6749	7716	8693	9680	998
3,0	10,0678	1683	2700	3728	4765	5813	6872	7942	9022	0113*	1102
3,1	11,1215	2328	3453	4588	5736	6895	8065	9247	0442*	1648*	1218
3,2	12,2866	4097	5340	6596	7864	9146	0440*	1747*	3067*	4401*	1347
3,3	13,5748	7108	8482	9871	1273*	2689*	4120*	5565*	7024*	8498*	1489
3,4	14,999	15,149	15,301	15,455	15,610	15,766	15,924	16,084	16,245	16,408	165
3,5	16,573	16,739	16,907	17,077	17,248	17,421	17,596	17,772	17,951	18,131	182
3,6	18,313	18,497	18,682	18,870	19,059	19,250	19,444	19,639	19,836	20,035	201
3,7	20,236	20,439	20,644	20,852	21,061	21,272	21,486	21,702	21,919	22,139	222
3,8	22,362	22,586	22,813	23,042	23,273	23,507	23,743	23,982	24,222	24,466	245
3,9	24,711	24,959	25,210	25,463	25,719	25,977	26,238	26,502	26,768	27,037	271
4,0	27,308	27,582	27,860	28,139	28,422	28,707	28,996	29,287	29,581	29,878	300
4,1	30,178	30,482	30,788	31,097	31,409	31,725	32,044	32,365	32,691	33,019	332
4,2	33,351	33,686	34,024	34,366	34,711	35,060	35,412	35,768	36,127	36,490	367
4,3	36,857	37,227	37,601	37,979	38,360	38,746	39,135	39,528	39,925	40,326	406
4,4	40,732	41,141	41,554	41,972	42,393	42,819	43,250	43,684	44,123	44,566	448
4,5	45,014	45,466	45,923	46,385	46,851	47,321	47,797	48,277	48,762	49,252	495
4,6	49,747	50,247	50,752	51,262	51,777	52,297	52,823	53,354	53,890	54,431	547
4,7	54,978	55,531	56,089	56,652	57,221	57,796	58,377	58,964	59,556	60,155	604
4,8	60,759	61,370	61,987	62,609	63,239	63,874	64,516	65,164	65,819	66,481	668
4,9	67,149	67,823	68,505	69,193	69,889	70,591	71,300	72,017	72,741	73,472	738
5,0	74,210	74,956	75,709	76,470	77,238	78,014	78,798	79,590	80,390	81,198	816

НТБ ДНУЗТ

Бригговы логариѳмы гиперболической функціи Sinh φ для $\varphi = 0$ до 5,09; увеличены на 10.

φ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
0,0	$-\infty$	8,0000	3011	4772	6022	6992	7784	8455	9036	9548	459
0,1	9,0007	0423	0802	1152	1475	1777	2060	2325	2576	2814	225
0,2	9,3039	3254	3459	3656	3844	4025	4199	4366	4528	4685	151
0,3	9,4836	4983	5125	5264	5398	5529	5656	5781	5902	6020	116
0,4	9,6136	6249	6359	6468	6574	6678	6780	6880	6978	7074	95
0,5	9,7169	7262	7354	7444	7533	7620	7707	7791	7875	7958	81
0,6	9,8039	8119	8199	8277	8354	8431	8506	8581	8655	8728	72
0,7	9,8800	8872	8942	9012	9082	9150	9218	9286	9353	9419	66
0,8	9,9485	9550	9614	9678	9742	9805	9868	9930	9992	0053*	61
0,9	10,0114	0174	0234	0294	0353	0412	0470	0529	0586	0644	57
1,0	10,0701	0758	0815	0871	0927	0982	1038	1093	1148	1203	54
1,1	10,1257	1311	1365	1419	1472	1525	1578	1631	1684	1736	52
1,2	10,1788	1840	1892	1944	1995	2046	2098	2148	2199	2250	50
1,3	10,2300	2351	2401	2451	2501	2551	2600	2650	2699	2748	49
1,4	10,2797	2846	2895	2944	2993	3041	3090	3138	3186	3234	48
1,5	10,3282	3330	3378	3426	3474	3521	3569	3616	3663	3711	47
1,6	10,3758	3805	3852	3899	3946	3992	4039	4086	4132	4179	46
1,7	10,4225	4272	4318	4364	4411	4457	4503	4549	4595	4641	46
1,8	10,4687	4733	4778	4824	4870	4915	4961	5007	5052	5098	45
1,9	10,5143	5188	5234	5279	5324	5370	5415	5460	5505	5550	45
2,0	10,5595	5640	5685	5730	5775	5820	5865	5910	5955	6000	45
2,1	10,6044	6089	6134	6178	6223	6268	6312	6357	6401	6446	45
2,2	10,6491	6535	6580	6624	6668	6713	6757	6802	6846	6890	45
2,3	10,6935	6979	7023	7067	7112	7156	7200	7244	7289	7333	44
2,4	10,7377	7421	7465	7509	7553	7597	7642	7686	7730	7774	44
2,5	10,7818	7862	7906	7950	7994	8038	8082	8126	8169	8213	44
2,6	10,8257	8301	8345	8389	8433	8477	8521	8564	8608	8652	44
2,7	10,8696	8740	8784	8827	8871	8915	8959	9003	9046	9090	44
2,8	10,9134	9178	9221	9265	9309	9353	9396	9440	9484	9527	44
2,9	10,9571	9615	9658	9702	9746	9789	9833	9877	9920	9964	44
3,0	11,0008	0051	0095	0139	0182	0226	0270	0313	0357	0400	44
3,1	11,0444	0488	0531	0575	0618	0662	0706	0749	0793	0836	44
3,2	11,0880	0923	0967	1011	1054	1098	1141	1185	1228	1272	44
3,3	11,1316	1359	1403	1446	1490	1533	1577	1620	1664	1707	44
3,4	11,1751	1794	1838	1881	1925	1968	2012	2056	2099	2143	43
3,5	11,2186	2230	2278	2317	2360	2404	2447	2491	2534	2578	43
3,6	11,2621	2665	2708	2752	2795	2839	2882	2925	2969	3012	44
3,7	11,3056	3099	3143	3186	3230	3273	3317	3360	3404	3447	44
3,8	11,3491	3534	3578	3621	3665	3708	3752	3795	3838	3882	43
3,9	11,3925	3969	4012	4056	4099	4143	4186	4230	4273	4317	43
4,0	11,4360	4403	4447	4490	4534	4577	4621	4664	4708	4751	44
4,1	11,4795	4838	4881	4925	4968	5012	5055	5099	5142	5186	43
4,2	11,5229	5273	5316	5359	5403	5446	5490	5533	5577	5620	44
4,3	11,5664	5707	5750	5794	5837	5881	5924	5968	6011	6055	43
4,4	11,6098	6141	6185	6228	6272	6315	6359	6402	6446	6489	43
4,5	11,6532	6576	6619	6663	6706	6750	6793	6836	6880	6923	44
4,6	11,6967	7010	7054	7097	7141	7184	7227	7271	7314	7358	43
4,7	11,7401	7445	7488	7531	7575	7618	7662	7705	7749	7792	44
4,8	11,7836	7879	7922	7966	8009	8053	8096	8140	8183	8226	44
4,9	11,8270	8313	8357	8400	8444	8487	8530	8574	8617	8661	43
5,0	11,8704	8748	8791	8835	8878	8921	8965	9008	9052	9095	43

НТБ ДНУЗТ

Бригговы логариѳмы гиперболической функціи Cosh φ для $\varphi = 0$ до 5,09.

φ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
0,0	0,0000	0000	0001	0002	0003	0005	0008	0011	0014	0018	4
0,1	0,0022	0026	0030	0037	0042	0049	0055	0062	0070	0078	8
0,2	0,0086	0095	0104	0114	0124	0134	0145	0156	0168	0180	13
0,3	0,0193	0205	0219	0232	0246	0261	0276	0291	0306	0322	17
0,4	0,0339	0355	0372	0390	0407	0426	0444	0463	0482	0502	20
0,5	0,0522	0542	0562	0583	0605	0626	0648	0670	0693	0716	23
0,6	0,0739	0762	0786	0810	0835	0859	0884	0910	0935	0961	26
0,7	0,0987	1013	1040	1067	1094	1122	1149	1177	1206	1234	29
0,8	0,1263	1292	1321	1350	1380	1410	1440	1470	1501	1532	31
0,9	0,1563	1594	1625	1657	1689	1721	1753	1785	1818	1851	33
1,0	0,1884	1917	1950	1984	2018	2051	2086	2120	2154	2189	34
1,1	0,2223	2258	2293	2328	2364	2399	2435	2470	2506	2542	36
1,2	0,2578	2615	2651	2688	2724	2761	2798	2835	2872	2909	38
1,3	0,2947	2984	3022	3059	3097	3135	3173	3211	3249	3288	38
1,4	0,3326	3365	3403	3442	3481	3520	3559	3598	3637	3676	39
1,5	0,3715	3754	3794	3833	3873	3913	3952	3992	4032	4072	40
1,6	0,4112	4152	4192	4232	4273	4313	4353	4394	4434	4475	40
1,7	0,4515	4556	4597	4637	4678	4719	4760	4801	4842	4883	41
1,8	0,4924	4965	5006	5048	5089	5130	5172	5213	5254	5296	41
1,9	0,5337	5379	5421	5462	5504	5545	5587	5629	5671	5713	41
2,0	0,5754	5796	5838	5880	5922	5964	6006	6048	6090	6132	43
2,1	0,6175	6217	6259	6301	6343	6386	6428	6470	6512	6555	42
2,2	0,6597	6640	6682	6724	6767	6809	6852	6894	6937	6979	43
2,3	0,7022	7064	7107	7150	7192	7235	7278	7320	7363	7406	42
2,4	0,7448	7491	7534	7577	7619	7662	7705	7748	7791	7833	43
2,5	0,7876	7919	7962	8005	8048	8091	8134	8176	8219	8262	43
2,6	0,8305	8348	8391	8434	8477	8520	8563	8606	8649	8692	43
2,7	0,8735	8778	8821	8864	8907	8951	8994	9037	9080	9123	43
2,8	0,9166	9209	9252	9295	9338	9382	9425	9468	9511	9554	43
2,9	0,9597	9641	9684	9727	9770	9813	9856	9900	9943	9986	43
3,0	1,0029	0073	0116	0159	0202	0245	0289	0332	0375	0418	44
3,1	1,0462	0505	0548	0591	0635	0678	0721	0764	0808	0851	43
3,2	1,0894	0938	0981	1024	1067	1111	1154	1197	1241	1284	43
3,3	1,1327	1371	1414	1457	1501	1544	1587	1631	1674	1717	44
3,4	1,1761	1804	1847	1891	1934	1977	2021	2064	2107	2151	43
3,5	1,2194	2237	2281	2324	2367	2411	2454	2497	2541	2584	44
3,6	1,2628	2671	2714	2758	2801	2844	2888	2931	2974	3018	43
3,7	1,3061	3105	3148	3191	3235	3278	3322	3365	3408	3452	43
3,8	1,3495	3538	3582	3625	3669	3712	3755	3799	3842	3886	43
3,9	1,3929	3972	4016	4059	4103	4146	4189	4233	4276	4320	43
4,0	1,4363	4406	4450	4493	4537	4580	4623	4667	4710	4754	43
4,1	1,4797	4840	4884	4927	4971	5014	5057	5101	5144	5188	43
4,2	1,5231	5274	5318	5361	5405	5448	5492	5535	5578	5622	43
4,3	1,5665	5709	5752	5795	5839	5882	5926	5969	6012	6056	43
4,4	1,6099	6143	6186	6230	6273	6316	6360	6403	6447	6490	43
4,5	1,6533	6577	6620	6664	6707	6751	6794	6837	6881	6924	44
4,6	1,6968	7011	7055	7098	7141	7185	7228	7272	7315	7358	44
4,7	1,7402	7445	7489	7532	7576	7619	7662	7706	7749	7793	43
4,8	1,7836	7880	7923	7966	8010	8053	8097	8140	8184	8227	43
4,9	1,8270	8314	8357	8401	8444	8487	8531	8574	8618	8661	44
5,0	1,8705	8748	8791	8835	8878	8922	8965	9009	9052	9095	43

НТБ ДНУЗТ

Гиперболическая функція tgh φ для $\varphi = 0$ до 2,39.

φ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
0,0	0,0000	0100	0200	0300	0400	0500	0599	0699	0798	0898	99
0,1	0,0997	1096	1194	1293	1391	1489	1587	1684	1781	1878	96
0,2	0,1974	2070	2165	2260	2355	2449	2543	2636	2729	2821	92
0,3	0,2913	3004	3095	3185	3275	3364	3452	3540	3627	3714	86
0,4	0,3800	3885	3969	4053	4137	4219	4301	4382	4462	4542	79
0,5	0,4621	4700	4777	4854	4930	5005	5080	5154	5227	5299	71
0,6	0,5370	5441	5511	5581	5649	5717	5784	5850	5915	5980	64
0,7	0,6044	6107	6169	6231	6291	6352	6411	6469	6527	6584	56
0,8	0,6640	6696	6751	6805	6858	6911	6963	7014	7064	7114	49
0,9	0,7163	7211	7259	7306	7352	7398	7443	7487	7531	7574	42
1,0	0,7616	7658	7699	7739	7779	7818	7857	7895	7932	7969	36
1,1	0,8005	8041	8076	8110	8144	8178	8210	8243	8275	8306	31
1,2	0,8337	8367	8397	8426	8455	8483	8511	8538	8565	8591	26
1.3	0,8617	8643	8668	8693	8717	8741	8764	8787	8810	8832	22
1,4	0,8854	8875	8896	8917	8937	8957	8977	8996	9015	9033	19
1,5	0,9052	9069	9087	9104	9121	9138	9154	9170	9186	9202	15
1,6	0,9217	9232	9246	9261	9275	9289	9302	9316	9329	9342	12
1,7	0,9354	9367	9379	9391	9402	9414	9425	9436	9447	9458	10
1,8	0,9468	9478	9488	9498	9508	9518	9527	9536	9545	9554	8
1,9	0,9562	9571	9579	9587	9595	9603	9611	9619	9626	9633	7
2,0	0,9640	9647	9654	9661	9668	9674	9680	9687	9693	9699	6
2,1	0,9705	9710	9716	9722	9727	9732	9738	9743	9748	9753	5
2,2	0,9757	9762	9767	9771	9776	9780	9785	9789	9793	9797	4
2,3	0,9801	9805	9809	9812	9816	9820	9823	9827	9830	9834	3

Бригговы логариѳмы гиперболической функціи tgh φ для $\varphi = 0$ до2,39.

φ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
0,0	$-\infty$	8,0000	3010	4770	6018	6986	7776	8444	9022	9531	455
0,1	8,9986	0396*	0771*	1115*	1433*	1729*	2004*	2263*	2506*	2736*	217
0,2	9,2953	3159	3355	3542	3720	3890	4053	4210	4360	4505	139
0,3	9,4644	4778	4907	5031	5152	5268	5381	5490	5596	5698	99
0,4	9,5797	5894	5987	6078	6166	6252	6336	6417	6496	6573	75
0,5	9,6648	6720	6792	6861	6928	6994	7058	7121	7182	7242	58
0,6	9,7300	7357	7413	7467	7520	7571	7622	7671	7720	7767	46
0,7	9,7813	7858	7902	7945	7988	8029	8069	8109	8147	8185	37
0,8	9,8222	8258	8293	8328	8362	8395	8428	8459	8491	8521	30
0,9	9,8551	8580	8609	8637	8664	8691	8717	8743	8768	8793	24
1,0	9,8817	8841	8864	8887	8909	8931	8952	8973	8994	9014	20
1,1	9,9034	9053	9072	9090	9108	9126	9144	9161	9177	9194	16
1,2	9,9210	9226	9241	9256	9271	9285	9300	9314	9327	9341	13
1,3	9,9354	9367	9379	9391	9404	9415	9427	9438	9450	9460	11
1,4	9,9471	9482	9492	9502	9512	9522	9531	9540	9550	9558	9
1,5	9,9567	9576	9584	9592	9601	9608	9616	9624	9631	9639	7
1,6	9,9646	9653	9660	9666	9673	9679	9686	9692	9698	9704	6
1,7	9,9710	9716	9721	9727	9732	9733	9743	9748	9753	9758	5
1,8	9,9763	9767	9772	9776	9781	9785	9789	9794	9798	9802	4
1,9	9,9806	9810	9813	9817	9821	9824	9828	9831	9834	9838	3
2,0	9,9841	9844	9847	9850	9853	9856	9859	9862	9864	9867	3
2,1	9,9870	9872	9875	9877	9880	9882	9884	9887	9889	9891	2
2,2	9,9893	9895	9898	9900	9902	9904	9905	9907	9909	9911	2
2,3	9,9913	9914	9916	9918	9919	9921	9923	9924	9926	9927	2

НТБ ДНУЗТ

F. Правильные многоугольники.

(См. стр. 42 и 132).

n	$\frac{F}{a^2}$	$\frac{F}{R^2}$	$\frac{F}{r^2}$	$\frac{R}{a}$	$\frac{R}{r}$	$\frac{a}{R}$	$\frac{a}{r}$	$\frac{r}{R}$	$\frac{r}{a}$
3	0,4330	1,2990	5,1962	0,5774	2,0000	1,7321	3,4641	0,5000	0,2887
4	1,0000	2,0000	4,0000	0,7071	1,4142	1,4142	2,0000	0,7071	0,5000
5	1,7205	2,3776	3,6327	0,8507	1,2361	1,1756	1,4531	0,8090	0,6882
6	2,5981	2,5981	3,4641	1,0000	1,1547	1,0000	1,1547	0,8660	0,8660
7	3,6339	2,7364	3,3710	1,1524	1,1099	0,8678	0,9631	0,9010	1,0383
8	4,8284	2,8284	3,3137	1,3066	1,0824	0,7654	0,8284	0,9239	1,2071
9	6,1818	2,8925	3,2757	1,4619	1,0642	0,6840	0,7279	0,9397	1,3737
10	7,6942	2,9389	3,2492	1,6180	1,0515	0,6180	0,6498	0,9511	1,5388
12	11,196	3,0000	3,2154	1,9319	1,0353	0,5176	0,5359	0,9659	1,8660
15	17,642	3,0505	3,1883	2,4049	1,0223	0,4158	0,4251	0,9781	2,3523
16	20,109	3,0615	3,1826	2,5629	1,0196	0,3902	0,3978	0,9808	2,5137
20	31,569	3,0902	3,1677	3,1962	1,0125	0,3129	0,3168	0,9877	3,1569
24	45,575	3,1058	3,1597	3,8306	1,0086	0,2611	0,2633	0,9914	3,7979
32	81,225	3,1214	3,1517	5,1011	1,0048	0,1960	0,1970	0,9952	5,0766
48	183,08	3,1326	3,1461	7,6449	1,0021	0,1308	0,1311	0,9979	7,6285
64	325,69	3,1365	3,1441	10,190	1,0012	0,0981	0,0983	0,9988	10,178

G. Коэффиціенты бинома Ньютона $(n)_1$ до $(n)_{15}$.

n	$(n)_0$	$(n)_1$	$(n)_2$	$(n)_3$	$(n)_4$	$(n)_5$	$(n)_6$	$(n)_7$	$(n)_8$	$(n)_9$	$(n)_{10}$	$(n)_{11}$	$(n)_{12}$	$(n)_{13}$	$(n)_{14}$	$(n)_{15}$
1	1															
2	1	2	1													
3		3	3	1												
4	1	4	6	4	1											
5	1	5	10	10	5	1										
6	1	6	15	40	15	6	1									
7	1	7	21	35	35	21	7	1								
8	1	8	28	56	70	56	28	8	1							
9	1	9	36	84	126	126	84	30	9	1						
10	1	10	45	120	210	252	210	120	45	10	1					
11	1	11	55	165	330	462	462	330	165	55	11	1				
12	1	12	66	220	495	792	924	792	495	220	66	12	1			
13	1	13	78	286	715	1287	1716	1716	1287	715	286	78	13	1		
14	1	14	91	364	1001	2002	3003	3432	3003	2002	1001	364	91	14	1	
15	1	15	105	455	1365	3003	5005	6435	6435	5005	3003	1365	455	105	15	

H. Произведенія 1! до 12!

p	$p!$	$1 : p!$	p	$p!$	$1 : p!$
1	1	1,0	7	5 040	0,000 198 412 698
2	2	0,5	8	40 320	0,000 024 801 587
3	6	0,166 666 666 667	9	362 880	0,000 002 755 732
4	24	0,041 666 666 667	10	3 628 800	0,000 000 275 573
5	120	0,008 333 333 333	11	39 916 800	0,000 000 025 052
6	720	0,001 388 888 889	12	479 001 600	0,000 000 002 088

НТБ ДНУЗТ

J. Длины дуги, стрѣлки, хорды

Центр. уголъ въ град.	Длина дуги.	Стрѣлка.	Длина хорды.	Площадь сегмента	Центр. уголъ въ град.	Длина дуги.	Стрѣлка.	Длина хорды.	Площадь сегмента
1	0,0175	0,0000	0,0175	0,00000	46	0,8029	0,0795	0,7815	0,04176
2	0,0349	0,0002	0,0349	0,00000	47	0,8203	0,0829	0,7975	0,04448
3	0,0524	0,0003	0,0524	0,00001	48	0,8378	0,0865	0,8135	0,04731
4	0,0698	0,0006	0,0698	0,00003	49	0,8552	0,0900	0,8294	0,05025
5	0,0873	0,0010	0,0872	0,00006	50	0,8727	0,0937	0,8452	0,05331
6	0,1047	0,0014	0,1047	0,00010	51	0,8901	0,0974	0,8610	0,05649
7	0,1222	0,0019	0,1221	0,00015	52	0,9076	0,1012	0,8767	0,05978
8	0,1396	0,0024	0,1395	0,00023	53	0,9250	0,1051	0,8924	0,06319
9	0,1571	0,0031	0,1569	0,00032	54	0,9425	0,1090	0,9080	0,06673
10	0,1745	0,0038	0,1743	0,00044	55	0,9599	0,1130	0,9235	0,07039
11	0,1920	0,0046	0,1917	0,00059	56	0,9774	0,1171	0,9389	0,07417
12	0,2094	0,0055	0,2091	0,00076	57	0,9948	0,1212	0,9543	0,07808
13	0,2269	0,0064	0,2264	0,00097	58	1,0123	0,1254	0,9696	0,08212
14	0,2443	0,0075	0,2437	0,00121	59	1,0297	0,1296	0,9848	0,08629
15	0,2618	0,0086	0,2611	0,00149	60	1,0472	0,1340	1,0000	0,09059
16	0,2793	0,0097	0,2783	0,00181	61	1,0647	0,1384	1,0151	0,09502
17	0,2967	0,0110	0,2956	0,00217	62	1,0821	0,1428	1,0301	0,09958
18	0,3142	0,0123	0,3129	0,00257	63	1,0996	0,1474	1,0450	0,10428
19	0,3316	0,0137	0,3301	0,00302	64	1,1170	0,1520	1,0598	0,10911
20	0,3491	0,0152	0,3473	0,00352	65	1,1345	0,1566	1,0746	0,11408
21	0,3665	0,0167	0,3645	0,00408	66	1,1519	0,1613	1,0893	0,11919
22	0,3840	0,0184	0,3816	0,00468	67	1,1694	0,1661	1,1039	0,12443
23	0,4014	0,0201	0,3987	0,00535	68	1,1868	0,1710	1,1184	0,12982
24	0,4189	0,0219	0,4158	0,00607	69	1,2043	0,1759	1,1328	0,13535
25	0,4363	0,0237	0,4329	0,00686	70	1,2217	0,1808	1,1472	0,14102
26	0,4538	0,0256	0,4499	0,00771	71	1,2392	0,1859	1,1614	0,14683
27	0,4712	0,0276	0,4669	0,00862	72	1,2566	0,1910	1,1756	0,15279
28	0,4887	0,0297	0,4838	0,00961	73	1,2741	0,1961	1,1896	0,15889
29	0,5061	0,0319	0,5008	0,01067	74	1,2915	0,2014	1,2036	0,16514
30	0,5236	0,0341	0,5176	0,01180	75	1,3090	0,2066	1,2175	0,17154
31	0,5411	0,0364	0,5345	0,01301	76	1,3265	0,2120	1,2313	0,17808
32	0,5585	0,0387	0,5512	0,01429	77	1,3439	0,2174	1,2450	0,18477
33	0,5760	0,0412	0,5680	0,01566	78	1,3614	0,2229	1,2586	0,19160
34	0,5934	0,0437	0,5847	0,01711	79	1,3788	0,2284	1,2722	0,19859
35	0,6109	0,0463	0,6014	0,01864	80	1,3963	0,2340	1,2856	0,20573
36	0,6283	0,0489	0,6180	0,02027	81	1,4137	0,2396	1,2989	0,21301
37	0,6458	0,0517	0,6346	0,02198	82	1,4312	0,2453	1,3121	0,22045
38	0,6632	0,0545	0,6511	0,02378	83	1,4486	0,2510	1,3252	0,22804
39	0,6807	0,0574	0,6676	0,02568	84	1,4661	0,2569	1,3383	0,23578
40	0,6981	0,0603	0,6840	0,02767	85	1,4835	0,2627	1,3512	0,24367
41	0,7156	0,0633	0,7004	0,02976	86	1,5010	0,2686	1,3640	0,25171
42	0,7330	0,0664	0,7167	0,03195	87	1,5184	0,2746	1,3767	0,25990
43	0,7505	0,0696	0,7330	0,03425	88	1,5359	0,2807	1,3893	0,26825
44	0,7679	0,0728	0,7492	0,03664	89	1,5533	0,2867	1,4018	0,27675
45	0,7854	0,0761	0,7654	0,03915	90	1,5708	0,2929	1,4142	0,28540

Если r радіусъ круга и φ центральный уголъ въ град., то имѣемъ:

1) длина хорды: $s = 2r \sin\frac{\varphi}{2}$;

2) стрѣлка: $h = r\left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{s}{2} tg\frac{\varphi}{4} = 2r\sin^2\frac{\varphi}{4}$;

3) длина дуги: $l = \pi r\frac{\varphi}{180} = 0{,}017453\, r\varphi = \sqrt{s^2 + \frac{16}{3}h^2}$ (приблизительно);

НТБ ДНУЗТ

и площади сегмента для рад. = 1.

Центр. уголъ въ град.	Длина дуги.	Стрѣлка.	Длина хорды.	Площадь сегмент.	Центр. уголъ въ град.	Длина дуги.	Стрѣлка.	Длина хорды.	Площадь сегмент
91	1,5882	0,2991	1,4265	0,29420	136	2,3736	0,6254	1,8544	0,83949
92	1,6057	0,3053	1,4387	0,30316	137	2,3911	0,6335	1,8608	0,85455
93	1,6232	0,3116	1,4507	0,31226	138	2,4086	0,6416	1,8672	0,86971
94	1,6406	0,3180	1,4627	0,32152	139	2,4260	0,6498	1,8733	0,88497
95	1,6580	0,3244	1,4746	0,33093	140	2,4435	0,6580	1,8794	0,90034
96	1,6755	0,3309	1,4863	0,34050	141	2,4609	0,6662	1,8853	0,91580
97	1,6930	0,3374	1,4979	0,35021	142	2,4784	0,6744	1,8910	0,93135
98	1,7104	0,3439	1,5094	0,36008	143	2,4958	0,6827	1,8966	0,94700
99	1,7279	0,3506	1,5208	0,37009	144	2,5133	0,6910	1,9021	0,96274
100	1,7453	0,3572	1,5321	0,38026	145	2,5307	0,6993	1,9074	0,97858
101	1,7628	0,3639	1,5432	0,39058	146	2,5482	0,7076	1,9126	0,99449
102	1,7802	0,3707	1,5543	0,40104	147	2,5656	0,7160	1,9176	1,01050
103	1,7977	0,3775	1,5652	0,41166	148	2,5831	0,7244	1,9225	1,02658
104	1,8151	0,3843	1,5760	0,42242	149	2,6005	0,7328	1,9273	1,04275
105	1,8326	0,3912	1,5867	0,43333	150	2,6180	0,7412	1,9319	1,05900
106	1,8500	0,3982	1,5973	0,44439	151	2,6354	0,7496	1,9363	1,07532
107	1,8675	0,4052	1,6077	0,45560	152	2,6529	0,7581	1,9406	1,09171
108	1,8850	0,4122	1,6180	0,46695	153	2,6704	0,7666	1,9447	1,10818
109	1,9024	0,4193	1,6282	0,47844	154	2,6878	0,7750	1,9487	1,12472
110	1,9199	0,4264	1,6383	0,49008	155	2,7053	0,7836	1,9526	1,14132
111	1,9373	0,4336	1,6483	0,50187	156	2,7227	0,7921	1,9563	1,15799
112	1,9548	0,4408	1,6581	0,51379	157	2,7402	0,8006	1,9598	1,17472
113	1,9722	0,4481	1,6678	0,52586	158	2,7576	0,8092	1,9633	1,19151
114	1,9897	0,4554	1,6773	0,53807	159	2,7751	0,8178	1,9665	1,20835
115	2,0071	0,4627	1,6868	0,55041	160	2,7925	0,8264	1,9696	1,22525
116	2,0246	0,4701	1,6961	0,56289	161	2,8100	0,8350	1,9726	1,24221
117	2,0420	0,4775	1,7053	0,57551	162	2,8274	0,8436	1,9754	1,25921
118	2,0595	0,4850	1,7143	0,58827	163	2,8449	0,8522	1,9780	1,27626
119	2,0769	0,4925	1,7233	0,60116	164	2,8623	0,8608	1,9805	1,29335
120	2,0944	0,5000	1,7321	0,61418	165	2,8798	0,8695	1,9829	1,31049
121	2,1118	0,5076	1,7407	0,62734	166	2,8972	0,8781	1,9851	1,32766
122	2,1293	0,5152	1,7492	0,64063	167	2,9147	0,8868	1,9871	1,34487
123	2,1468	0,5228	1,7576	0,65404	168	2,9322	0,8955	1,9890	1,36212
124	2,1642	0,5305	1,7659	0,66759	169	2,9496	0,9042	1,9908	1,37940
125	2,1817	0,5383	1,7740	0,68125	170	2,9671	0,9128	1,9924	1,39671
126	2,1991	0,5460	1,7820	0,69505	171	2,9845	0,9215	1,9938	1,41404
127	2,2166	0,5538	1,7899	0,70897	172	3,0020	0,9302	1,9951	1,43140
128	2,2340	0,5616	1,7976	0,72301	173	3,0194	0,9390	1,9963	1,44878
129	2,2515	0,5695	1,8052	0,73716	174	3,0369	0,9477	1,9973	1,46617
130	2,2689	0,5774	1,8126	0,75144	175	3,0543	0,9564	1,9981	1,48359
131	2,2864	0,5853	1,8199	0,76584	176	3,0718	0,9651	1,9988	1,50101
132	2,3038	0,5933	1,8271	0,78034	177	3,0892	0,9738	1,9993	1,51845
133	2,3213	0,6013	1,8341	0,79497	178	3,1067	0,9825	1,9997	1,53589
134	2,3387	0,6093	1,8410	0,80970	179	3,1241	0,9913	1,9999	1,55334
135	2,3562	0,6173	1,8478	0,82454	180	3,1416	1,0000	2,0000	1,57080

4) площадь сегмента $= \frac{r^2}{2}\left(\frac{\pi}{180}\varphi - \sin\varphi\right)$;

5) сектора $= \frac{\varphi}{360}\pi r^2 = 0{,}008\,726\,65\,\varphi r^2$;

6) $l = r$ соотвѣтствуетъ $\varphi = 57^0\,17'\,44{,}806'' = 57{,}295\,779\,5^0 = 206\,264{,}806''$;

7) arc $1^0 = \pi : 180 = 0{,}017\,453\,292\,52$; log arc $1^0 = 0{,}241\,877\,367\,6 - 2$;

8) arc $1' = \pi : 10800 = 0{,}000\,290\,888\,21$; log arc $1' = 0{,}463\,726\,117\,2 - 4$;

9) arc $1'' = \pi : 648000 = 0{,}000\,004\,848\,14$; log arc $1'' = 0{,}685\,574\,866\,8 - 6$.

НТБ ДНУЗТ

К. Объемы шара для діаметра $d = 1$ до 200.

d	$\frac{\pi}{6} d^3$	d	$\frac{\pi}{6} d^3$	d	$\frac{\pi}{6} d^3$	d	$\frac{\pi}{6} d^3$	d	$\frac{\pi}{6} d^3$
1	0,523599	41	36086,95	81	278261,8	121	927587,2	161	2185125
2	4,188790	42	38792,39	82	288695,6	122	950775,8	162	2226094
3	14,13717	43	41629,77	83	299387,0	123	974347,7	163	2267574
4	33,51032	44	44602,24	84	310339,1	124	998305,9	164	2309565
5	65,44985	45	47712,94	85	321555,1	125	1022654	165	2352071
6	113,0973	46	50965,01	86	333038,2	126	1047394	166	2395096
7	179,5944	47	54361,60	87	344791,4	127	1072531	167	2438642
8	268,0826	48	57905,84	88	356817,9	128	1098066	168	2482713
9	381,7035	49	61600,87	89	369120,9	129	1124004	169	2527311
10	523,5988	**50**	65449,85	**90**	381703,5	**130**	1150347	**170**	2572441
11	696,9100	51	69455,91	91	394568,9	131	1177098	171	2618104
12	904,7787	52	73622,18	92	407720,1	132	1204260	172	2664305
13	1150,347	53	77951,81	93	421160,3	133	1231838	173	2711046
14	1436,755	54	82447,92	94	434892,8	134	1259833	174	2758331
15	1767,146	55	87113,75	95	448920,5	135	1288249	175	2806162
16	2144,660	56	91952,32	96	463246,7	136	1317090	176	2854543
17	2572,441	57	96966,83	97	477874,5	137	1346357	177	2903477
18	3053,628	58	102160,4	98	492807,0	138	1376055	178	2952967
19	3591,364	59	107536,2	99	508047,4	139	1406187	179	3003006
20	4188,790	**60**	113097,3	**100**	523598,8	**140**	1436755	**180**	3053628
21	4849,048	61	118847,0	101	539464,3	141	1467763	181	3104805
22	5575,280	62	124788,2	102	555647,2	142	1499214	182	3156551
23	6370,626	63	130924,3	103	572150,5	143	1531112	183	3208869
24	7238,229	64	137258,2	104	588977,4	144	1563457	184	3261761
25	8181,231	65	143793,3	105	606131,0	145	1596256	185	3315231
26	9202,772	66	150532,6	106	623614,5	146	1629511	186	3369282
27	10305,99	67	157479,1	107	641431,0	147	1663224	187	3423919
28	11494,04	68	164636,2	108	659583,7	148	1697398	188	3479142
29	12770,05	69	172006,9	109	678075,6	149	1732038	189	3534956
30	14137,17	**70**	179594,4	**110**	696910,0	**150**	1767146	**190**	3591364
31	15598,53	71	187401,8	111	716090,0	151	1802725	191	3648369
32	17157,28	72	195432,2	112	735618,6	152	1838778	192	3705973
33	18816,57	73	203688,8	113	755499,1	153	1875309	193	3764181
34	20579,53	74	212174,8	114	775734,6	154	1912321	194	3822996
35	22449,30	75	220893,2	115	796328,3	155	1949816	195	3882419
36	24429,02	76	229847,3	116	817283,2	156	1987799	196	3942456
37	26521,85	77	239040,1	117	838602,7	157	2026271	197	4003108
38	28730,91	78	248474,9	118	860289,5	158	2065237	198	4064379
39	31059,36	79	258154,6	119	882347,3	159	2104699	199	4126272
40	33510,32	**80**	268082,6	**120**	904778,7	**160**	2144660	**200**	4188790

НТБ ДНУЗТ

L. Таблица дѣлителей *)

для нечетныхъ чиселъ отъ 1 до 999.

n	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
1	P	P	3 . 67	7 . 43	P	3 . 167	P	P	3^2 . 89	17 . 53
3	P	P	7 29	3 . 101	13 31	P	3^2 . 67	19 . 37	11 . 73	3 . 7 43
5	P	3 . 5 . 7	5 . 41	5 . 61	3^4 . 5	5 . 101	5 . 11^2	3 . 5 . 47	5 . 7 . 23	5 . 181
7	P	P	3^2 . 23	P	11 . 37	3 . 13^2	P	7 . 101	3 . 269	P
9	3^2	P	11 . 19	3 . 103	P	P	3 . 7 . 29	P	P	3^2 . 101
11	P	3 . 37	P	P	3 . 137	7 . 73	13 . 47	3^2 . 79	P	P
13	P	P	3 . 71	P	7 59	3^3 . 19	P	23 . 31	3 . 271	11 . 83
15	3 . 5	5 . 23	5 . 43	3^2 . 5 . 7	5 . 83	5 103	3 . 5 . 41	5 . 11 13	5 . 163	3 . 5 . 61
17	P	3^2 . 13	7 . 31	P	3 139	11 . 47	P	3 . 239	19 . 43	7 131
19	P	7 17	3 73	11 29	P	3 173	P	P	3^2 7 13	P
21	3 . 7	11^2	13 . 17	3 . 107	P	P	3^3 . 23	7 . 103	P	3 . 307
23	P	3 . 41	P	17 19	3^2 47	P	7 . 89	3 . 241	P	13 . 71
25	5^2	5^3	3^2 . 5^2	5^2 . 13	5^2 17	3 5^2 . 7	5^4	5^3 . 29	3 . 5^2 . 11	5^2 . 37
27	3^3	P	P	3 . 109	7 . 61	17 31	3 . 11 19	P	P	3^2 . 103
29	P	3 . 43	P	7 . 47	3 . 11 . 13	23^2	17 37	3^6	P	P
31	P	P	3 7 11	P	P	3^2 . 59	P	17 43	3 . 277	7^2 . 19
33	3 11	7 . 19	P	3^2 37	P	13 41	3 . 211	P	7^2 . 17	3 311
35	5 7	3^3 . 5	5 . 47	5 . 67	3 5 . 29	5 . 107	5 . 127	3 . 5 . 7^2	5 . 167	5 . 11 17
37	P	P	3 . 79	P	19 23	3 . 179	7^2 . 13	11 . 67	3^3 . 31	P
39	3 . 13	P	P	3 . 113	P	7^2 . 11	3^2 . 71	P	P	3 313
41	P	3 . 47	P	11 31	3^2 . 7^2	P	P	3 . 13 . 19	29^2	P
43	P	11 13	3^5	7^3	P	3 . 181	P	P	3 . 281	23 . 41
45	3^2 5	5 . 29	5 . 7^2	3 . 5 23	5 . 89	5 109	3 . 5 . 43	5 . 149	5 . 13^2	3^3 . 5 7
47	P	3 . 7^2	13 19	P	3 149	P	P	3^2 . 83	7 . 11^2	P
49	7^2	P	3 83	P	P	3^2 . 61	11 . 59	7 107	3 283	13 . 73
51	3 17	P	P	3^3 13	11 41	19 29	3 . 7 31	P	23 37	3 . 317
53	P	3^2 17	11 23	P	3 151	7 79	P	3 . 251	P	P
55	5 . 11	5 . 31	3 5 17	5 71	5 7 13	3 . 5 . 37	5 . 131	5 . 151	5 . 3^2 19	5 . 191
57	3 . 19	P	P	3 . 7 . 17	P	P	3^2 . 73	P	P	3 . 11 29
59	P	3 . 53	7 37	P	3^3 . 17	13 . 43	P	3 . 11 . 23	P	7 137
61	P	7 . 23	3^2 29	19^2	P	3 11 17	P	P	3 . 7 . 41	31^2
63	3^2 . 7	P	P	3 11^2	P	P	3 . 13 17	7 . 109	P	3^2 . 107
65	5 . 13	3 . 5 . 11	5 . 53	5 73	3 . 5 . 31	5 . 113	5 . 7 . 19	3^2 5 . 17	5 . 173	5 . 193
67	P	P	3 89	P	P	3^4 7	23 . 29	13 . 59	3 . 17^2	P
69	3 23	13^2	P	3^2 . 41	7 . 67	P	3 . 223	P	11 . 79	3 17 . 19
71	P	3^2 . 19	P	7 . 53	3 157	P	11 . 61	3 . 257	13 . 67	P
73	P	P	3 . 7 13	P	11 . 43	3 191	P	P	3^2 . 97	7 . 139
75	3 5^2	5^2 . 7	5^2 . 11	3 . 5^3	5^2 19	5^2 . 23	3^3 . 5^2	5^2 . 31	5^3 7	3 5^2 13
77	7 11	3 . 59	P	13 . 29	3^2 . 53	P	P	3 7 . 37	P	P
79	P	P	3^2 . 31	P	P	3 . 193	7 . 97	19 . 41	3 . 293	11 89
81	3^4	P	P	3 . 127	13 . 37	7 83	3 . 227	11 71	P	3^2 . 109
83	P	3 . 61	P	P	3 7 23	11 53	P	3^3 . 29	P	P
85	5 . 17	5 . 37	3 . 5 . 19	5 . 7 . 11	5 . 97	3^2 . 5 . 13	5 . 137	5 157	3 . 5 59	5 197
87	3 . 29	11 . 17	7 . 41	3^2 . 43	P	P	3 . 229	P	P	3 . 7 47
89	P	3^3 . 7	17^2	P	3 . 163	19 . 31	13 . 53	3 . 263	7 . 127	23 . 43
91	7 . 13	P	3 97	17 . 23	P	3 197	P	7 . 113	3^2 . 11	P
93	3 . 31	P	P	3 . 131	17 . 29	P	3^2 . 7 11	13 . 61	19 . 47	3 . 331
95	5 . 19	3 . 5 . 13	5 . 59	5 . 79	3^2 . 5 . 11	5 . 7 . 17	5 . 139	3 . 5 53	5 . 179	5 199
97	P	P	3^3 . 11	P	7 . 71	3 . 199	17 . 41	P	3 13 . 23	P
99	3^2 . 11	P	13 . 23	3 . 7 . 19	P	P	3 . 233	17 . 47	29 . 31	3^3 37
n	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900

*) По таблицамъ Циммермана, стр. 202; Berlin 1891.

НТБ ДНУЗТ

M. Часто встрѣчающіяся числовыя величины.

π: Лудольфово число = 3,141 592 653 589 793 . . . .
g: Ускореніе отъ силы тяжести, принято = 9,81 m/sec.^{2}
e: Основаніе натуральныхъ логарномовъ = 2,718 281 828 459 045 2353 .

Величина.	n	$\log n$	$1 : n$	$\log (1 : n)$	Величина.	n	$\log n$
π	3,1415927	0,49715	0,3183099	0,50285−1	$\pi\sqrt{2}$	2,221441	0,34663
2π	6,2831853	0,79818	0,1591549	0,20182−1	$2\sqrt{\pi}$	3,544908	0,54961
3π	9,4247780	0,97427	0,1061033	0,02573−1	$\sqrt{2\pi}$	2,506628	0,39909
4π	12,566371	1,09921	0,0795775	0,90079−2			
5π	15,707963	1,19612	0,0636620	0,80388−2	$\sqrt{\pi : 2}$	1,253314	0,09806
6π	18,849556	1,27530	0,0530516	0,72470−2	$\sqrt{2 : \pi}$	0,797885	0,90194−1
7π	21,991149	1,34225	0,0454728	0,65775−2	$\sqrt{3\ \pi}$	0,977205	0,98998−1
8π	25,132741	1,40024	0,0397887	0,59976−2			
9π	28,274334	1,45139	0,0353678	0,54861−2	$\sqrt{90\ \pi}$	5,352372	0,72855
$\pi : 2$	1,5707963	0,19612	0,6366198	0,80388−1	$\sqrt[9]{2\pi}$	1,845261	0,26606
$\pi : 3$	1,0471976	0,02003	0,9549297	0,97997−1	$\sqrt[3]{\pi\ 2}$	1,162447	0,06537
$\pi : 4$	0,7853982	0,89509−1	1,2732395	0,10491			
$\pi : 5$	0,6283185	0,79818−1	1,5915494	0,20182	$\sqrt[8]{\pi : 4}$	0,922635	0,96503−1
$\pi : 6$	0,5235988	0,71900−1	1,9098593	0,28100			
$\pi\ 7$	0,4487990	0,65205−1	2,2281692	0,34795	$\sqrt[9]{2\ \pi}$	0,860254	0,93463−1
$\pi : 8$	0,3926991	0,59406−1	2,5464791	0,40594	$\sqrt[3]{3\ \pi}$	0,984745	0,99332−1
$\pi : 9$	0,3490659	0,54291−1	2,8647890	0,45709			
$\pi : 12$	0,2617994	0,41797−1	3,8197186	0,58203	$\sqrt[3]{6\ \pi}$	1,240701	0,09367
$\pi\ 16$	0,1963495	0,29303−1	5,0929582	0,70697	$\sqrt[3]{\pi^2}$	2,145029	0,33144
$\pi\ 32$	0,0981748	0,99200−2	10,185916	1,00800			
$\pi\ 64$	0,0490874	0,69097−2	20,371833	1,30903	$\pi\sqrt[3]{\pi^2}$	6,738808	0,82859
$\pi : 108$	0,0290888	0,46373−2	34,377468	1,53627			
$\pi : 180$	0,0174533	0,24188−2	57,295780	1,75812	$1 : 2g$	0,050968	0,70730−2
π^2	9,8696044	0,99430	0,1013212	0,00570−1	$2\sqrt{g}$	6,264184	0,79686
π^3	31,006277	1,49145	0,0322515	0,50855−2	$\sqrt{2g}$	4,429447	0,64635
π^4	97,409091	1,98860	0,0102660	0,01140−2	$\pi\sqrt{g}$	9,839757	0,99298
π^5	306,01969	2,48575	0,0032678	0,51425−3	$\pi\sqrt{2g}$	13,91536	1,14350
π^6	961,38919	2,98290	0,0010402	0,01710−3	$\pi\ \sqrt{g}$	1,003033	0,00132
$\sqrt{\pi}$	1,7724539	0,24858	0,5641896	0,75143−1			
$\sqrt[3]{\pi}$	1,4645919	0,16572	0,6827841	0,83428−1	$\pi : \sqrt{2g}$	0,709252	0,85080−1
					$\pi^2 : g$	1,006076	0,09263
$\sqrt[6]{\pi}$	1,2102032	0,08286	0,8263075	0,91714−1	e	2,718282	0,43429
					e^2	7,389056	0,86859
$\pi\sqrt{\pi}$	5,5683280	0,74572	0,1795871	0,25428−1	e^3	20,08554	1,30288
$\pi\sqrt[3]{\pi}$	4,6011511	0,66287	0,2173352	0,33713−1	e^4	54,59815	1,73718
					$1 : e$	0,367879	0,56571−1
$4\pi^2$	39,478418	1,59636	0,0253303	0,40364−2	$1 : e^2$	0,135335	0,13141−1
$\pi^2 : 4$	2,4674011	0,39224	0,4052847	0,60776−1	$1 : e^3$	0,049787	0,69712−2
$\pi\sqrt{2}$	4,4428829	0,64767	0,2250791	0,35234−1	$1 : e^4$	0,018316	0,26282−2
g	9,81	0,99167	0,1019368	0,00833−1			
g^2	96,2361	1,98334	0,0103911	0,01666−2	$\sqrt{e}$	1,648721	0,21715
$\sqrt{g}$	3,1320919	0,40583	0,3192754	0,50417 1	$\sqrt[3]{\ }$	1,395611	0,14476

НТБ ДНУЗТ

N. Квадратные и кубическіе корни нѣкоторыхъ дробей.

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
$^1/_3$	0,57735	0,69336	$^1/_7$	0,37796	0,52276	$^1/_8$	0,35355	0,50000	$^4/_9$	0,66667	0,76314
$^2/_3$	0,81650	0,87358	$^2/_7$	0,53452	0,65863	$^3/_8$	0,61237	0,72112	$^5/_9$	0,74536	0,82207
$^1/_4$	0,50000	0,62996	$^3/_7$	0,65465	0,75395	$^5/_8$	0,79057	0,85499	$^7/_9$	0,88192	0,91964
$^3/_4$	0,86603	0,90856	$^4/_7$	0,75593	0,82983	$^7/_8$	0,93541	0,95647	$^1/_{12}$	0,28868	0,43679
$^1/_5$	0,40825	0,55032	$^5/_7$	0,84515	0,89390	$^1/_9$	0,33333	0,48075	$^5/_{12}$	0,64550	0,74690
$^5/_6$	0,91287	0,94104	$^6/_7$	0,92582	0,94991	$^2/_9$	0,47140	0,60571	$^7/_{12}$	0,76376	0,83555

Примѣчанія къ нѣкоторымъ предыдущимъ таблицамъ.

Примѣчанія къ табл. A (стр. 1—21).

1) Пусть, напр., надо найти log 0,032252. (См. также стр. 46).

a) По стр. 8 имѣемъ: мантисса log 323 = 50920, мантисса log 322 = 50786.

b) Разность мантиссъ логариѳмовъ = 50920 − 50786 = 134.

c) Помноживъ эту разность на 0,52, найдемъ: 134 × 0,52 = 69,68.

d) Прибавивъ эту послѣднюю величину къ вел. a), найдемъ: 50786 + 69,68 = 50856.

e) Слѣд. мантисса log 32252 = 50856, а log 0,032252 = 0,50856 − 2.

2) Требуется найти число, логариѳмъ котораго равенъ 1,49145.

a) По стр. 8 имѣемъ число, логариѳмъ котораго = 49136, равно 310.

b) Раздѣливъ разность между данной и ближайшей меньшей мантиссой (49145 − 49136 = 9) на разность между ближайшими къ данной меньшей и большей мантиссами (49276 − 49136 = 140), получимъ: 9 : 140 = 0,06.

c) Сложивъ значенія, найденныя въ a) и b), получимъ: 310 + 0,06 = 310,06.

d) Слѣд., искомое число = 31,006.

3) Для отысканія квадратныхъ и кубическихъ корней заданныхъ чиселъ пользуются приближенными формулами, приведенными въ b. 16, стр. 45.

Примѣръ. Найти $\sqrt{404527}$. По стр. 14 ближайшее $a^2 = 404496$, слѣд. $a = 636$ и $b = 404527 - 404496 = 31$; $2a = 1272$; $b : 2a = 31 : 1272 = 0{,}024$ и слѣд.:

$$\sqrt{404527} = a + \frac{b}{2a} = 636 + 0{,}024 = 636{,}024.$$

4) Пусть, напр., надо опредѣлить $34573\,\pi$. Имѣемъ: $34000\,\pi = 106814$ (стр. 2) и $573\,\pi = 1800$ (стр. 13); слѣд. $34573\,\pi = 106814 + 1800 = 108614$.

5) Положимъ, надо вычислить $180 : \pi$. Имѣемъ (стр. 3): $57\,\pi = 179{,}07$; $(180 - 179{,}07).1000 = 930 = 296\,\pi$ (стр. 7). Слѣд., $180 : \pi = 57{,}296$.

Графа $^1/_4\,\pi n^2$, а также таблица K (стр. 38) могутъ служить для раздѣленія на π. Напр., по стр. 17, для $n = 771$: $46{,}6873 : \pi = 7{,}71^2 : 4 = 59{,}4441 : 4 = 14{,}861025$; далѣе, по стр. 38: $2352071 : \pi = 165^2 : 6 = 4492125 : 6 = 748687{,}5$.

6) Найти площадь F круга діаметромъ 1,784. Площадь круга діаметромъ, равнымъ радіусу даннаго 0,892 (стр. 19), $F_1 = 0{,}624913$; отсюда $F = 4\ F_1 = 4.0{,}624913 = 2{,}499652$.

Примѣчанія къ табл. B (стр. 22 и 23).

1) Для $d = 65^3/_4$ имѣемъ $U = \pi d = 206{,}6$ и $F = {}^1/_4\,\pi d^2 = 3395{,}3$.

2) Для чиселъ, кратныхъ $^1/_2$, слѣдуетъ пользоваться таблицами A (стр. 1—21); напр. (стр. 18), для $d = 81^1/_2$ имѣемъ $U = 256{,}0$ и $F = 5216{,}8$.

Примѣчанія къ табл. C (стр. 24 и 25). Примѣры:

1) ln 30 = 3,4012.

2) ln 799 = 6,6834.

3) ln 2,738 = ln 273,8 − ln 100 = 5,6124 − 4,6052 = 1,0072.

4) ln 2895 = ln 289,5 + ln 10 = 5,6681 + 2,3026 = 7,9707.

5) Num. ln 1,0629 = [Num ln (1,0629 + ln 100)] : 100
= [Num ln (1,0629 + 4,6052)] : 100
= [Num ln 5,6681] : 100 = 289,5 : 100 = 2,895.

Примѣчанія къ табл. D (стр. 26 до 29). Пусть, напр., требуется по тригонометрическимъ таблицамъ D найти:

НТБ ДНУЗТ

1) Тангенсъ угла $58^0\ 47'\ 22'',5$.
$58^0\ 47'\ 22'',5 = 58^0\ 47',375$.
a) По стр. 29; $\operatorname{tg} 58^0\ 40' = 1{,}64256$, затѣмъ
b) „ „ $\operatorname{tg} 58^0\ 50' = 1{,}65337$,
разность 0,01081 соотвѣтствуетъ углу 10'; слѣд., углу $7',375$ соотвѣтствуетъ $\frac{7{,}375}{10}$ вышеприведенной разности, и слѣд.
c) $\frac{0{,}01081 \cdot 7{,}375}{10} = 0{,}00797$.
d) Сложивъ значенія, найденныя въ a) и c), получимъ: $\operatorname{tg} 58^0\ 47'\ 22'',5 = 1{,}65053$.
2) Найти уголъ, sinus котораго равенъ 0,63662.
a) По стр. 26 ближайшій къ данному sin—0,63608 соотвѣтствуетъ углу $39^0\ 30'$.
b) Помноживъ разность между даннымъ и ближайшимъ меньшимъ sinus-омъ ($0{,}63662 - 0{,}63608 = 0{,}00054$) на 10, получимъ 0,0054.
c) Раздѣливъ послѣднее произведеніе 0,0054 на разность sin-овъ: ($0{,}63832 - 0{,}63608 = 0{,}00224$), получимъ: $0{,}0054 : 0{,}00224 = 2{,}4107$.
d) Сложивъ значенія, найденныя въ a) и c), получимъ окончательно: $39^0\ 32',\ 4107 = 39^0\ 32'\ 24'',\ 64 = \arcsin 0{,}63662$.

Примѣчанія къ табл. E (стр. 30—34).
1) Примѣры: $\sinh 1{,}34 = 1{,}7786$; $\sinh 3{,}37 = 14{,}5221$; $\cosh 0{,}65 = 1{,}2188$; $\cosh 2{,}66 = 7{,}1831$; $\log \sinh 4{,}52 = 11{,}6619 - 10 = 1{,}6619$; $\log \operatorname{tgh} 0{,}17 = 9{,}2263 - 10$.
2) Для значеній $\varphi > 5{,}09$ имѣемъ приблизительно: $\sinh \varphi = \cosh \varphi = \frac{1}{2}\, e^{\varphi}$, притомъ для $\varphi = 5{,}09$ до 6,908 съ точностью до одного десятичнаго знака, для $\varphi = 6{,}908$ до 9,210 съ точностью до двухъ десятичныхъ знаковъ.
3) Для $\varphi = 2{,}39$ и болѣе $\operatorname{tgh} \varphi$ все болѣе и болѣе приближается къ 1.
4) Для небольшихъ значеній φ приблизительно:
$\log \sinh \varphi = \log \varphi + \frac{1}{3} \log \cosh \varphi$; $\log \operatorname{tgh} \varphi = \log \varphi - \frac{2}{3} \log \cosh \varphi$
5) Для $\varphi > 5{,}09$ приблизительно:
$\log \sinh \varphi = \log \cosh \varphi = 0{,}43429\, \varphi + 0{,}69897 - 1$ и $\varphi = 2{,}30259\ (\log \sinh \varphi + 0{,}30103)$, причемъ $\log 0{,}43429 = 0{,}63778 - 1$ и $\log 2{,}30259 = 0{,}36222$.
6) Значенія $\log \operatorname{tgh} \varphi$ и $\log \operatorname{ctgh} \varphi$ получаются также (по стр. 32 и 33) изъ: $\log \operatorname{tgh} \varphi = \log \sinh \varphi - \log \cosh \varphi (-10)$; $\log \operatorname{ctgh} \varphi = \log \cosh \varphi - \log \sinh \varphi (+10)$.
7) Сумма величинъ $\cosh \varphi$ и $\sinh \varphi$ для одного и того же φ даетъ значеніе e^{φ}; разность ихъ даетъ $e^{-\varphi}$, слѣд.: $\cosh \varphi \pm \sinh \varphi = e^{\pm \varphi}$.

Примѣчанія къ табл. F (стр. 35). Подробно на стр. 132. Обозначенія: n число сторонъ, F площадь, a сторона, R радіусъ описаннаго и r радіусъ вписаннаго круга.

Примѣчаніе къ табл. G и H (стр. 35). Подробности см. стр. 43 и 44.

Примѣчанія къ табл. J (стр. 36 и 37). Пусть, напр., требуется найти:
1) Длину дуги, соотвѣтствующую центральному углу $75^0\ 33'16'',2$.
$75^0\ 33'\ 16'',2 = 75^0\ 33',27$.
По стр. 36): дуга, соотвѣтствующая углу $75^0 = 1{,}3090$
„ „ „ $76^0 = 1{,}3265$
Разность дугъ = 0,0175; эта разность соотвѣтствуетъ углу въ 60'; слѣд., углу въ 33', 27 соотвѣтствуетъ разность: $\frac{0{,}0175 \cdot 33{,}27}{60} = 0{,}0097$.
Слѣд., длина дуги, соотвѣтствующей данному углу $75^0\ 33',27$, равна: $1{,}3090 + 0{,}0097 = 1{,}3187$.
2) Найти центральный уголъ, длина дуги котораго = 2,2254.
a) По стр. 37: длина дуги 2,2166 соотвѣтствуетъ углу 127^0.
b) Помноживъ разность между длинами данной дуги и ближайшей къ ней меньшей ($2{,}2254 - 2{,}2166 = 0{,}0088$) на 60, получимъ: $0{,}0088 \times 60 = 0{,}528$.
c) Раздѣливъ послѣднее произведеніе (0,528) на разность длинъ дугъ, равную $2{,}2340 - 2{,}2166 = 0{,}0174$, получимъ: $0{,}528 : 0{,}0174 = 30{,}3448$.
d) Сложивъ значенія, найденныя въ a) и c), получимъ окончательно искомый уголъ $= 127^0\ 30',\ 3448 = 127^0\ 30'\ 20'',688$.

Примѣчаніе къ табл. L (стр. 39). Примѣры: $225 = 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 5$; $987 = 3 \cdot 7 \cdot 47$.
P обозначаетъ первоначальное число, такъ что, напр., 419, 971 первоначальныя числа. Четныя числа послѣдовательнымъ дѣленіемъ на 2 приводятся къ нечетнымъ.

НТБ ДНУЗТ

II. АРИѲМЕТИКА.

A. Степени, корни, логариемы.

a. Степени.

1. $(+a)^n = +a^n$.
2. $(-a)^{2n} = +a^{2n}$.
3. $(-a)^{2n+1} = -a^{2n+1}$.
4. $1^m = 1$; $a^1 = a$.
5. $a^m a^n = a^{m+n}$.
6. $a^m : a^n = a^{m-n} = 1 : a^{n-m}$.
7. $a^m b^m = (ab)^m$.
8. $a^m : b^m = (a : b)^m$.
9. $1 : a^m = (1 : a)^m = a^{-m}$.
10. $(a^m)^n = a^{mn} = (a^n)^m = (a^{-m})^{-n}$.
11. $a^0 = 1$; $0^a = 0$; $0^0 =$ неопредѣлен. (см. стр. 72).
12. $a^2 - b^2 = (a+b)(a-b)$; $a^2 = (a+b)(a-b) + b^2$.
13. $(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$; $(a \pm b)^2 = (a \mp b)^2 \pm 4ab$
14. $(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$; $a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2)$.
15. $\dfrac{a^n - b^n}{a-b} = a^{n-1} + a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \quad + b^{n-1}$.
16. $\dfrac{a^{2n+1} + b^{2n+1}}{a+b} = a^{2n} - a^{2n-1}b + a^{2n-2}b^2 - \quad + b^{2n}$.
17. $\dfrac{a^{2n} - b^{2n}}{a+b} = a^{2n-1} - a^{2n-2}b + a^{2n-3}b^2 - \quad - b^{2n-1}$
18. Если $a > 1$, то для $n = \infty$ $\lim a^n = \infty$ и $\lim (1 \quad a)^n = 0$.

Биномъ Ньютона.

Для цѣлыхъ положительныхъ значеній n (и для дробныхъ отрицательныхъ значеній n, если $a > b$):

19. $$(a \pm b)^n = a^n \pm n a^{n-1} b + \frac{n(n-1)}{1 \quad 2} a^{n-2} b^2 \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \quad 3} a^{n-3} b^3 + \ldots.$$

Коэффиціенты при степеняхъ назыв **коэффиціентами бинома**. Обозначимъ:

$$\frac{n(n-1)(n-2)\ldots[n-(p-1)]}{1 \cdot 2 \cdot 3 \ldots p} = (n)_p \quad \text{или} \quad \binom{n}{p},$$

гдѣ n осповное число, p указатель выраженія $(n)_p$. Знаменатель 1. 2. 3.... p обозначается черезъ $p!$. (См. также таблицы G и H стр. 35).

НТБ ДНУЗТ

Правила для ноэффиціентовъ бинома.

Если n (основное число) и p (указатель) цѣлыя и положительныя числа, то:

20. $(n)_p = (n)_{n-p}$. 21. $(n)_n = (n)_0 = 1$. 22. $(n)_1 = n$; $(1)_p = 0$.

23. $(n)_{n+p} = 0$. 24. $(n)_{p+1} = (n)_p \dfrac{n-p}{p+1}$

25. $(n+1)_{p+1} = (n)_{p+1} + (n)_p$.

26. $(n+1)_{p+1} = (n)_p + (n-1)_p + (n-2)_p + \ldots + (p)_p$.

Примѣненія бинома Ньютона.

Для какого угодно n, при $1 > x > -1$:

27. $(1 \pm x)^n = 1 \pm (n)_1 x + (n)_2 x^2 \pm (n)_3 x^3 + (n)_4 x^4 \pm (n)_5 x^5 + \ldots$.

28. $\dfrac{1}{1 \pm x} = (1 \pm x)^{-1} = 1 \mp x + x^2 \mp x^3 + x^4 \mp x^5 + x^6 \mp x^7 + \ldots$

29. $\sqrt{1 \pm x} = (1 \pm x)^{1/2} = 1 \pm \dfrac{1}{2} x \dfrac{1}{2^2 \ 2!} x^2 \pm \dfrac{1 \cdot 3}{2^3 \ 3!} x^3 - \dfrac{1 \ 3 \cdot 5}{2^4 \cdot 4!} x^4 \pm \dfrac{1.3.5.7}{2^5 . 5!} x^5 -$

30. $\dfrac{1}{\sqrt{1 \pm x}} = (1 \pm x)^{-1/2} = 1 \mp \dfrac{1}{2} x + \dfrac{1 \cdot 3}{2^2 \ 2!} x^2 \mp \dfrac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2^3 \cdot 3!} x^3 +$

b. Корни.

1. $\left(\sqrt[m]{a}\right)^m = a$.

2. $\sqrt[m]{ab} = \sqrt[m]{a}\sqrt[m]{b}$.

3. $\sqrt[m]{a:b} = \sqrt[m]{a} : \sqrt[m]{b}$.

4. $\sqrt[m]{\dfrac{1}{a}} = \dfrac{1}{\sqrt[m]{a}} = a^{-\frac{1}{m}}$

5. $a^n = (a^p)^{n:p} = \left(\sqrt[p]{a}\right)^{np}$

6. $\sqrt[m]{a^n} = \sqrt[mp]{a^{np}} = \sqrt[m:q]{a^{n:q}} = \sqrt[m:q]{\sqrt[q]{a^n}}$.

7. $\sqrt[m]{a^n} = \left(\sqrt[m]{a}\right)^n = a^{\frac{n}{m}} = \sqrt[m:n]{a}$. 8. $\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a} = \sqrt[n]{\sqrt[m]{a}}$.

9. $\sqrt{a} + \sqrt{b} = \sqrt{a + b + 2\sqrt{ab}}$. 10. $a\sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$.

11. $\dfrac{1}{b}\sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{\dfrac{a}{b^n}}$.

12. $\sqrt{a \pm b} = \sqrt{\dfrac{a + \sqrt{a^2 - b^2}}{2}} \pm \sqrt{\dfrac{a - \sqrt{a^2 - b^2}}{2}}$

НТБ ДНУЗТ

13. $\sqrt{a^2} = \pm a$; $\sqrt[2n]{a} = \pm a^{\frac{1}{2n}}$. 14. $\sqrt[2n+1]{-a} = -a^{\frac{1}{2n+1}} = -\sqrt[2n+1]{a}$.

15. $\sqrt[2n]{-a} = \sqrt[n]{\sqrt{-a}} = \sqrt[n]{i\sqrt{a}}$ слѣд., мним. вел. (см. ниже).

16. $\left.\begin{aligned}\sqrt{a^2 \pm b} &= a \pm \frac{b}{2a},\\ \sqrt[3]{a^3 \pm b} &= a \pm \frac{b}{3a^2},\end{aligned}\right\}$ (приблиз.) если b въ сравн. съ a очень мало.

17. Если $a > b$, то (приблиз.) $\sqrt{a^2+b^2} = 0{,}960\,a + 0{,}368\,b$. Ошибка меньше 4% дѣйствительной величины.

Болѣе точно (по Шлемильху):

$$\sqrt{a^2+b^2} = 0{,}9938\,a + 0{,}0703\,b + 0{,}3567\,\frac{b^2}{a}.$$

18. Если $a > b > c$, то $\sqrt{a^2+b^2+c^2} = 0{,}939\,a + 0{,}389\,b + 0{,}297\,c$. Ошибка меньше 6% дѣйствительной величины.

Мнимыя величины.

19. $i = \sqrt{-1}$, $i^2 = -1$, $i^3 = -i$, $i^4 = 1$, $\frac{1}{i} = -i$.

20. $i^{4n+m} = i^m$; слѣд., $i^{4n} = +1$, $i^{4n+1} = +i$, $i^{4n+2} = -1$, $i^{4n+3} = -i$.

21. Каждая фуцкція отъ мнимыхъ величинъ можетъ быть приведена къ виду $a \pm bi$, гдѣ a и b имѣютъ дѣйствительныя значенія.

22. Когда $a + bi = 0$, то $a = 0$, $b = 0$.
Когда $a + bi = \alpha + \beta i$, то $a = \alpha$, $b = \beta$.

23. $(a+bi)(a-bi) = a^2 + b^2$; $\frac{a+bi}{\alpha+\beta i} = \frac{a\alpha+b\beta}{\alpha^2+\beta^2} + \frac{b\alpha-a\beta}{\alpha^2+\beta^2}\,i$.

24. $\sqrt{a \pm bi} = \sqrt{\frac{\sqrt{a^2+b^2}+a}{2}} \pm i\sqrt{\frac{\sqrt{a^2+b^2}-a}{2}}$.

25. Каждая комплексная величина можетъ быть приведена къ виду:

$$a \pm bi = r\,[\cos(\varphi + 2k\pi) \pm i \sin(\varphi + 2k\pi)];$$

причемъ $r = +\sqrt{a^2+b^2}$ модуль, $\cos\varphi = \frac{a}{r}$, $\sin\varphi = \frac{b}{r}$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{b}{a},$$ k цѣлое число.

26. $\left.\begin{aligned}\cos x + i\sin x &= e^{ix},\\ \cos x - i\sin x &= e^{-ix},\end{aligned}\right\}$ гдѣ e основаніе патуральныхъ логариемовъ (см. стр. 46).

27. $(\cos x \pm i \sin x)(\cos y \pm i \sin y) = \cos(x+y) \pm i \sin(x+y)$.

28. $(\cos x \pm i \sin x) : (\cos y \pm i \sin y) = \cos(x-y) \pm i \sin(x-y)$.

НТБ ДНУЗТ

29. $1 : (\cos x + i \sin x) = \cos x - i \sin x.$

30. **Формула Моавра.** (Для какого угодно значенія n).

$$(\cos x \pm i \sin x)^n = \cos nx \pm i \sin nx.$$

31. $$\sqrt[n]{a+bi} + \sqrt[n]{a-bi} = 2\sqrt[n]{r}\,\cos\frac{\varphi + 2k\pi}{n} = u.$$

Если $n = 3$, то $u_1 = 2\sqrt[3]{r}\cos\frac{\varphi}{3}$, $u_2 = 2\sqrt[3]{r}\cos\left(\frac{\varphi}{3} + \frac{2\pi}{3}\right)$,

$u_3 = 2\sqrt[3]{r}\cos\left(\frac{\varphi}{3} - \frac{2\pi}{3}\right)$. r, φ и k см. формулу 25.

32. **Корни изъ единицы.**

$$\sqrt[n]{1} = \cos\frac{2k\pi}{n} \pm i \sin\frac{2k\pi}{n}.$$

$$\sqrt[n]{-1} = \cos\frac{(2k+1)\pi}{n} \pm i \sin\frac{(2k+1)\pi}{n}.$$

} Здѣсь k цѣлое положительное число отъ 0 до $\frac{n}{2}$.

c. Логариѳмы.

1. Если $\log a = c$, то $b^c = a$.

Если $b > 1$, то $\log 0 = -\infty$, $\log 1 = 0$, $\log b = 1$, $\log \infty = \infty$.

2. $\log (ac) = \log a + \log c$.

3. $\log \frac{a}{c} = \log a - \log c$.

4. $\log(a^n) = n \log a$.

5. $\log\sqrt[n]{a} = \frac{1}{n}\log a$.

6. $\log x = \log b \log x = (1 : \log a) \log x$.

7. Логариемы при основномъ числѣ $e = 2{,}718\,281\,828\,459...$ наз. натуральными, при основномъ числѣ 10 наз. бригговыми. $\log a$ обозначаютъ черезъ $\ln a$, $\log a$—черезъ $\log a$.

8. Имѣемъ: $\log(10^n) = n$; $\log(10^{-n}) = -n$; $\log(a \cdot 10^n) = \log a + n$; $\log(a : 10^n) = \log a - n$. Далѣе: $\ln(e^{\pm n}) = \pm n$; $\ln(a \cdot 10^n) = \ln a + \ln(10^n)$; $\ln(a : 10^n) = \ln a - \ln(10^n)$.

9. Число (положительное или отрицательное) цѣлыхъ единицъ логариема наз. характеристикой (K). а правильная десятичная дробь логариема—его мантиссой (M). При $10 > a > 1$, $\log a$ имѣетъ характеристику $K = 0$.

Примѣры бригговыхъ логарномонъ:

$$\log 6494 = \log(6{,}494 \cdot 10^{+3}) = 0{,}812\,51 + 3 = 3{,}812\,51;$$

$$\log 0{,}000\,649\,4 = \log(6{,}494 \cdot 10^{-4}) = 0{,}812\,51 - 4\ (= 6{,}812\,51 - 10).$$

НТБ ДНУЗТ

Здѣсь $K = +3$ соотв. $= -4\,(=6-10)$, т.-е. = показателю 10; въ обоихъ случаяхъ $M = 0{,}812\,51$.

10. $\left.\begin{aligned} \ln x &= \ln 10 \log x = 2{,}302\,585\,093\,0 \log x; \\ \log x &= \log e \ln x = 0{,}434\,294\,481\,9 \ln x; \end{aligned}\right\} \ln 10 \,.\, \log e = 1.$

11. $\ln (a+bi) = \ln r + i(\varphi + 2k\pi)$ для $a > 0$,
$= \ln r + i[\varphi + (2k+1)\pi]$ для $a < 0$, $\left\{\begin{matrix} r, \varphi \text{ и } k \text{ см.} \\ \text{формул. 25} \\ \text{на стр. 45.} \end{matrix}\right.$

12. $\ln i = i\frac{\pi}{2}$. 13. $i^i = e^{i \ln i} = e^{-\frac{\pi}{2}} = \frac{1}{\sqrt{e^{\pi}}} = 0{,}207\,88.$

B. Теорія сочетаній.

1. Число возможныхъ **перестановокъ** изъ n элементовъ равно $n!$

Если между n элементами находится p одинаковыхъ элементовъ одного рода, q одинаковыхъ элементовъ другого рода и r одинаковыхъ элементовъ третьяго рода и т. д., то число всевозможныхъ перестановокъ равно $\frac{n!}{p!\,q!\,r!\ldots}$.

2. a) Число **сочетаній** безъ повтореній (т.-е. когда каждый элементъ входитъ въ соединеніе только одинъ разъ) изъ n элементовъ по r равно $(n)_r$ (см. стр. 43);

b) число сочетаній съ повтореніями (т.-е. когда каждый элементъ можетъ входить въ соединеніе r разъ) равно $(n+r-1)_r$.

3. Число **размѣщеній** изъ n элементовъ по r элементовъ:

a) безъ повтореній $(n)_r\, r!$;

b) съ повтореніями: n^r.

Размѣщенія получаются изъ сочетаній путемъ всѣхъ возможныхъ перестановокъ въ каждомъ сочетаніи.

C. Опредѣлители.

1. Опредѣлитель изъ n горизонтальныхъ и n вертикальныхъ рядовъ (n^2 элементовъ) наз. опредѣлителемъ n-го порядка.

2. Общій видъ опредѣлителя n-го порядка слѣдующій:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & \ldots & p_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & \ldots & p_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & \ldots & p_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_n & b_n & c_n & \ldots & p_n \end{vmatrix} = \Sigma(\pm a_1 b_2 c_3 \ldots p_n),$$

гдѣ $a_1, b_1, c_1 \ldots p_n$ означаютъ n^2 элементовъ опредѣлителя.

При рѣшеніи опредѣлителя первый членъ рѣшенія получается, если образовать рядъ, идущій отъ перваго элемента перваго горизонтальнаго ряда до послѣдняго элемента послѣдняго горизонтальнаго ряда по направленію діагонали, а остальные члены получаются при перестановкахъ (см. выше) указателей. Полученные такимъ образомъ $n!$ членовъ будутъ на половину положительные и на половину отрицательные, въ зависимости отъ того, будетъ ли число перестановокъ (инверсій) въ соединеніи четное или нечетное.

НТБ ДНУЗТ

3. Вычисленіе опредѣлителя n-го порядка приводится къ опредѣленію n подопредѣлителей $n-1$ порядка:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 b_2 - a_2 b_1.$$

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} - a_2 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} + a_3 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_2 & c_2 \end{vmatrix} =$$

$$= a_1 (b_2 c_3 - b_3 c_2) - a_2 (b_1 c_3 - b_3 c_1) + a_3 (b_1 c_2 - b_2 c_1).$$

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & d_3 \\ a_4 & b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 & d_2 \\ b_3 & c_3 & d_3 \\ b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix} - a_2 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 & d_1 \\ b_3 & c_3 & d_3 \\ b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix} + a_3 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 & d_1 \\ b_2 & c_2 & d_2 \\ b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix} - a_4 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 & d_1 \\ b_2 & c_2 & d_2 \\ b_3 & c_3 & d_3 \end{vmatrix}.$$

Подопредѣлитель къ элементу a_p получится, если зачеркнуть вертикальный рядъ a и p—ый горизонтальный рядъ въ первоначальномъ опредѣлителѣ. Подопредѣлитель будетъ положительный или отрицательный, въ зависимости отъ того, будетъ ли указатель нечетный или четный.

4. Во всякомъ опредѣлителѣ можно вертикальные ряды элементовъ сдѣлать горизонтальными, и наоборотъ. Напр.:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix} \qquad \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}.$$

5. Если замѣнить въ опредѣлителѣ два горизонтальныхъ ряда или два вертикальныхъ одинъ другимъ, то получимъ новый опредѣлитель, равный первому, но съ обратнымъ знакомъ.

6. Опредѣлитель, въ которомъ всѣ элементы двухъ горизонтальныхъ или вертикальныхъ рядовъ соотвѣтственно равны или пропорціональны, равенъ нулю:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix} = 0, \qquad \begin{vmatrix} a_1 & a_1 & b_1 \\ a_2 & a_2 & b_2 \\ a_3 & a_3 & b_3 \end{vmatrix} = 0, \qquad \begin{vmatrix} a_1 & n a_1 & b_1 \\ a_2 & n a_2 & b_2 \\ a_3 & n a_3 & b_3 \end{vmatrix} = n. \begin{vmatrix} a_1 & a_1 & b_1 \\ a_2 & a_2 & b_2 \\ a_3 & a_3 & b_3 \end{vmatrix} = 0.$$

7. Если умножить или раздѣлить на опредѣленную величину всѣ элементы горизонтальнаго или вертикальнаго ряда опредѣлителя, то и самъ опредѣлитель умножится или раздѣлится на ту же величину:

$$p. \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} pa_1 & pb_1 & pc_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} pa_1 & b_1 & c_1 \\ pa_2 & b_2 & c_2 \\ pa_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}.$$

8. $$\begin{vmatrix} a_1 + p_1 + q_1, & b_1 & c_1 \\ a_2 + p_2 + q_2, & b_2 & c_2 \\ a_3 + p_3 + q_3, & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} p_1 & b_1 & c_1 \\ p_2 & b_2 & c_2 \\ p_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} q_1 & b_1 & c_1 \\ q_2 & b_2 & c_2 \\ q_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}.$$

$$\begin{vmatrix} a_1 + p_1, & b_1 + q_1 \\ a_2 + p_2, & b_2 + q_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} p_1 & b_1 \\ p_2 & b_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_1 & q_1 \\ a_2 & q_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} p_1 & q_1 \\ p_2 & q_2 \end{vmatrix}.$$

НТБ ДНУЗТ

9. Опредѣлитель не измѣняетъ своей величины, если прибавить ко всѣмъ элементамъ горизонтальнаго или вертикальнаго ряда элементы соотвѣтствующихъ параллельныхъ рядовъ, умноженные на произвольную величину:

$$\begin{vmatrix} a_1 b_1 c_1 \\ a_2 b_2 c_2 \\ a_3 b_3 c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 + pb_1, b_1 c_1 \\ a_2 + pb_2, b_2 c_2 \\ a_3 + pb_3, b_3 c_3 \end{vmatrix}$$

10. $$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_1 - a, & x_2 - a, & x_3 - a \\ y_1 - b, & y_2 - b, & y_3 - b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1, x_1 - a, y_1 - b \\ 1, x_2 - a, y_2 - b \\ 1, x_3 - a, y_3 - b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1\, x_1\, y_1 \\ 1\, x_2\, y_2 \\ 1\, x_3\, y_3 \end{vmatrix}.$$

D. Уравненія.

a. Уравненія первой степени.

1. Два уравненія съ двумя неизвѣстными:

$$\left.\begin{aligned} a\,x + b\,y &= c \\ a_1 x + b_1 y &= c_1 \end{aligned}\right\} \quad x = \begin{vmatrix} c & b \\ c_1 & b_1 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} a & b \\ a_1 & b_1 \end{vmatrix} = \frac{cb_1 - c_1 b}{ab_1 - a_1 b};$$

$$y = \begin{vmatrix} a & c \\ a_1 & c_1 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} a & b \\ a_1 & b_1 \end{vmatrix} = \frac{ac_1 - a_1 c}{ab_1 - a_1 b}.$$

2. Два однородныхъ уравненія съ тремя неизвѣстными:

$$\left.\begin{aligned} a\,x + b\,y + c\,z &= 0 \\ a_1 x + b_1 y + c_1 z &= 0 \end{aligned}\right\}; \quad x : y : z = \begin{vmatrix} b & c \\ b_1 & c_1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} c & a \\ c_1 & a_1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a & b \\ a_1 & b_1 \end{vmatrix}.$$

3. Три уравненія съ тремя неизвѣстными:

$$\left.\begin{aligned} a\,x + b\,y + c\,z &= d \\ a_1 x + b_1 y + c_1 z &= d_1 \\ a_2 x + b_2 y + c_2 z &= d_2 \end{aligned}\right\}. \quad \text{Положивъ } \begin{vmatrix} a & b & c \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix} = D, \text{ имѣемъ:}$$

$$x = \begin{vmatrix} d & b & c \\ d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix} : D, \quad y = \begin{vmatrix} a & d & c \\ a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \end{vmatrix} : D, \quad z = \begin{vmatrix} a & b & d \\ a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \end{vmatrix} : D.$$

Ариѳметическое значеніе опредѣлителей см. стр. 47 и слѣд.

4. n уравненій съ n неизвѣстными.

1. **Рѣшеніе посредствомъ опредѣлителей**, какъ указано въ **3.** При числовыхъ уравненіяхъ цѣлесообразно пользоваться этимъ способомъ лишь до $n = 4$.

2. **Способъ исключенія неизвѣстныхъ.** Комбинируя по два уравненія изъ n уравненій системы, надо исключить изъ нихъ одну и ту же неизвѣстную, тогда получится система $(n-1)$ уравненій съ $(n-1)$ неизвѣстными; въ этой системѣ опять надо исключить другую неизвѣстную, отчего число ихъ снова уменьшится на единицу и т. д., пока не получится одно уравненіе съ одною неизвѣстною, изъ котораго опредѣлится n-ая неизвѣстная. Подста-

НТБ ДНУЗТ

вляя найденную величину въ одно изъ двухъ уравненій съ двумя неизвѣстными, находимъ $(n-1)$-ую неизвѣстную, и т. д. опредѣляемъ по порядку всѣ неизвѣстныя.

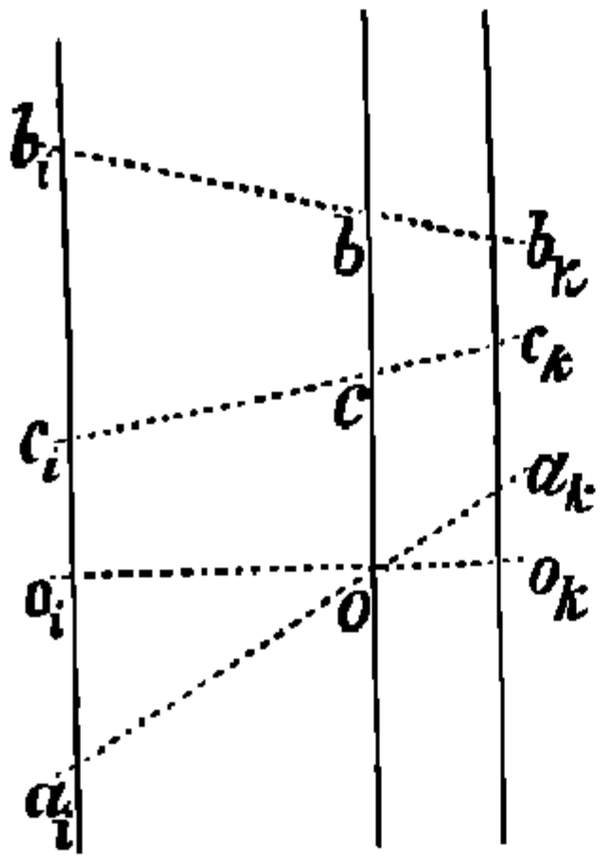
Примѣръ:

	Множители.		
$2x - y + 3z + 5u = 20$	3	1	2
$5x + 2y - 2z + 3u = 15$	−5		
$3x - 4y + 7z - u = 12$		5	
$4x + 3y - 5z + 2u = 3$			−5
$-19x - 13y + 19z = 12$	−2	−31	
$17x - 21y + 38z = 89$	1		
$-16x - 17y + 31z = 43$		19	
$55x + 5y = 65$	16		
$285x + 80y = 445$	−1		

$595x = 595;$ $x = 1.$
$5y = 65 - 55x = 65 - 55 = 10;$ $y = 2.$
$19z = 12 + 19x + 13y = 12 + 19 + 26 = 57;$ $z = 3.$
$2u = 3 - 4x - 3y + 5z = 3 - 4 - 6 + 15 = 8;$ $u = 4.$

3. **Рѣшеніе посредствомъ чертежа.** (Способъ Ванъ-деръ-Бергъ-Мемке) *). На произвольномъ разстояніи другъ отъ друга проводятъ столько параллельныхъ осей, сколько имѣется уравненій. Затѣмъ, на каждой изъ этихъ осей (черт. 1) выбираютъ нулевую точку, единицу длины и положительное направленіе. На соотвѣтственныхъ прямыхъ отъ нулевой точки откладываютъ въ выбранномъ масштабѣ коэффиціенты при неизвѣстныхъ соотвѣтствующаго уравненія съ сохраненіемъ знака. Такимъ образомъ, для каждаго уравненія получается рядъ точекъ. Еслу хотятъ, напр., изъ i-го и k-го уравненія исключить неизвѣстную, напр. x (при которой имѣются коэффиціенты a_i и a_k), то опредѣляютъ пересѣченіе прямой $a_i a_k$ съ прямой $o_i o_k$, соединяющею нулевыя точки, и черезъ точку o пересѣченія проводятъ новую ось, параллельную остальнымъ. Соединительныя прямыя $b_i b_k$, $c_i c_k$....., соотвѣтствующія другимъ парамъ коэффиціентовъ, пересѣкаютъ новую ось въ точкахъ b и c, которыя соотвѣтствуютъ коэффиціентамъ для искомаго уравненія.

Черт. 1.



Этотъ способъ весьма удобенъ, но при большомъ числѣ уравненій не всегда достаточно точенъ, почему раціонально примѣнять его совмѣстно съ слѣдующимъ.

4. **Способъ Зейдель-Мемке** *). Способъ этотъ примѣняется въ томъ случаѣ, когда число подлежащихъ рѣшенію уравненій очень велико.

---

*) См. L. Seidel, Abhandl. d. math.-physik. Klasse d. kgl. bayrischen Akademie d. Wissensch. 1874. Томъ II, часть III, стр. 81; далѣе R. Mehmke, Матем. Сборникъ Московскаго математ. общества, 1892, т. 16, стр. 342.

НТБ ДНУЗТ

Предварительно соединяютъ данную систему n уравненій съ n неизвѣстными:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \ldots + a_{1n}x_n + c_1 &= 0,\\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \ldots + a_{2n}x_n + c_2 &= 0,\\ \ldots\ldots\ldots\

2. $x^{2n} + px^n + q = 0$; $\quad x = \sqrt[n]{\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}}$.

3. Если $x \pm y = s$ и $xy = p$, то:

$$x = \frac{s + \sqrt{s^2 \mp 4p}}{2}; \qquad y = \pm \frac{s - \sqrt{s^2 \mp 4p}}{2}$$

2. Тригонометрическое рѣшеніе. (Для вычисленія посредствомъ логариемовъ при многозначныхъ числахъ).

1 случай. $x^2 \pm px - q = 0$; p и q положительны.

Опредѣляютъ уголъ φ между 0^0 и 90^0 такъ, чтобы

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{q}}{{}^1/_2 p},$$

тогда корни уравненія:

$$x_1 = \pm \sqrt{q \operatorname{tg} {}^1/_2 \varphi}; \quad x_2 = \mp \frac{\sqrt{q}}{\operatorname{tg} {}^1/_2 \varphi}.$$

2 случай. $x^2 \pm px + q = 0$; p и q положительны.

Опредѣляя уголъ φ, находящійся въ первомъ квадрантѣ, изъ

$$\sin \varphi = \frac{\sqrt{q}}{{}^1/_2 p},$$

корни уравненія найдемъ изъ формулъ:

$$x_1 = \mp \sqrt{q \operatorname{tg} {}^1/_2 \varphi}; \quad x_2 = \mp \frac{\sqrt{q}}{\operatorname{tg} {}^1/_2 \varphi}.$$

Если $\sin \varphi > 1$, то корни мнимые, а именно:

$$x = \sqrt{q}(\cos \psi \pm i \sin \psi),$$

гдѣ $\quad \cos \psi = \mp \dfrac{{}^1/_2 p}{\sqrt{q}}$ (ψ между 0^0 и 180^0).

c. Уравненія третьей степени.

$$z^3 + az^2 + bz + c = 0.$$

Положивъ $\quad z = x - {}^1/_3 a,$

получимъ кубическое уравненіе вида:

$$x^3 + px + q = 0.$$

1. Алгебраическое рѣшеніе. Корни уравненія:

$$x^3 + px + q = 0$$

опредѣляются по формуламъ Кардана:

$$x_1 = \sqrt[3]{-{}^1/_2 q + \sqrt{({}^1/_2 q)^2 + ({}^1/_3 p)^3}} + \sqrt[3]{-{}^1/_2 q - \sqrt{({}^1/_2 q)^2 + ({}^1/_3 p)^3}},$$

$$x_2 = w_1 \sqrt[3]{-{}^1/_2 q + \sqrt{({}^1/_2 q)^2 + ({}^1/_3 p)^3}} + w_2 \sqrt[3]{-{}^1/_2 q - \sqrt{({}^1/_2 q)^2 + ({}^1/_3 p)^3}},$$

$$x_3 = w_2 \sqrt[3]{-{}^1/_2 q + \sqrt{({}^1/_2 q)^2 + ({}^1/_3 p)^3}} + w_1 \sqrt[3]{-{}^1/_2 q - \sqrt{({}^1/_2 q)^2 + ({}^1/_3 p)^3}},$$

НТБ ДНУЗТ

гдѣ w_1 и w_2 мнимыя значенія $\sqrt[3]{1}$, а именно:

$$w_1 = \frac{-1+i\sqrt{3}}{2}; \qquad w_2 = \frac{-1-i\sqrt{3}}{2}$$

Если $(\frac{1}{2}q)^2 + (\frac{1}{3}p)^3 < 0$, то всѣ три корня имѣютъ мнимую форму, тогда какъ они дѣйствительны. Въ этомъ случаѣ прибѣгаютъ къ тригонометрическому рѣшенію.

2. Тригонометрическое рѣшеніе.

1 случай. $x^3 + px \pm q = 0$; p и q положительны.

Опредѣляютъ уголъ φ изъ:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\frac{1}{3}p\sqrt{\frac{1}{3}p}}{\frac{1}{2}q}$$

а затѣмъ уголъ ψ изъ:

$$\operatorname{tg}\psi = \sqrt[3]{\operatorname{tg}\tfrac{1}{2}\varphi};$$

тогда имѣемъ: $x_1 = \pm 2\sqrt{\frac{1}{3}p}\operatorname{ctg} 2\psi,$

$$x_2 = \pm\sqrt{\tfrac{1}{3}p}\operatorname{ctg} 2\psi + i\frac{\sqrt{p}}{\sin 2\psi}, \quad x_3 = \pm\sqrt{\tfrac{1}{3}p}\operatorname{ctg} 2\psi - i\frac{\sqrt{p}}{\sin 2\psi}$$

2 случай $x^3 - px \pm q = 0$; p и q положительны;

$$(\tfrac{1}{3}p)^3 < (\tfrac{1}{2}q)^2.$$

Опредѣляютъ вспомогательные углы φ и ψ изъ:

$$\sin\varphi = \frac{\frac{1}{3}p\sqrt{\frac{1}{3}p}}{\frac{1}{2}q}, \qquad \operatorname{tg}\psi = \sqrt[3]{\operatorname{tg}\tfrac{1}{2}\varphi}.$$

Тогда будемъ имѣть: $x_1 = \mp 2\frac{\sqrt{\frac{1}{2}p}}{\sin 2\psi},$

$$x_2 = \pm\frac{\sqrt{\frac{1}{3}p}}{\sin 2\psi} + i\sqrt{p}\operatorname{ctg} 2\psi, \qquad x_3 = \pm\frac{\sqrt{\frac{1}{3}p}}{\sin 2\psi} - i\sqrt{p}\operatorname{ctg} 2\psi.$$

Для случаевъ 1 и 2 болѣе простое рѣшеніе можетъ быть найдено при помощи гиперболическихъ функцій *).

3 случай. $x^3 - px \pm q = 0$; p и q положительны;

$$(\tfrac{1}{3}p)^3 > (\tfrac{1}{2}q)^2.$$

Опредѣляютъ уголъ φ изъ:

$$\cos\varphi = \frac{\frac{1}{2}q}{\frac{1}{3}p\sqrt{\frac{1}{3}p}};$$

тогда будемъ имѣть:

$$x_1 = \mp 2\sqrt{\tfrac{1}{3}p}\cos\tfrac{1}{3}\varphi, \quad x_2 = \mp 2\sqrt{\tfrac{1}{3}p}\cos(\tfrac{1}{3}\varphi + 120^0).$$

$$x_3 = \mp 2\sqrt{\tfrac{1}{3}p}\cos(\tfrac{1}{3}\varphi + 240^0).$$

---

*) Болѣе подробно см. Ligowski, Tafeln der Hyperbelfunctionen и т. д. Berlin, 1890, а также его же Taschenbuch der Mathematik, 3 изд., стр. 106. Berlin, 1893.

НТБ ДНУЗТ

4 случай. $x^3 - px \pm q = 0$; p и q положительны;

$$(1/3\,p)^3 = (1/2\,q)^2.$$

$$x_1 = \mp 2\sqrt{1/3\,p}, \quad x_2 = x_3 = \pm\sqrt{1/3\,p}.$$

d. Уравненія четвертой степени.

Способъ Феррари. Пусть требуется рѣшить уравненіе:

$$x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d = 0. \qquad (1)$$

Для всякаго z имѣетъ:

$$\left(x^2 + \frac{a}{2}x + z\right)^2 = \left(\frac{a^2}{4} - b + 2z\right)x^2 + (az - c)x + z^2 - d. \qquad (2)$$

Опредѣливъ z изъ уравненія третьей степени:

$$\left(\frac{a^2}{4} - b + 2z\right)\left(z^2 - d\right) = \frac{(az - c)^2}{4}$$

или $$2z^3 - bz^2 + \left(\frac{ac - 4d}{2}\right)z - \left(\frac{a^2}{4} - b\right)d - \frac{c^2}{4} = 0 \qquad (3)$$

и подставивъ его въ уравненіе (2), найдемъ, что вторая часть послѣдняго будетъ полнымъ квадратомъ. Извлекая корень изъ обѣихъ частей уравненія и сохранивъ передъ корнемъ двойной знакъ, получимъ два квадратныхъ уравненія, корни которыхъ будутъ удовлетворять данному уравненію четвертой степени.

e. Приблизительное рѣшеніе уравненій.

1. Методъ Ньютона.

Пусть надо рѣшить уравненіе $f(x) = 0$. Обозначимъ первую производную $f(x)$ по x черезъ $f'(x)$. Подыскавъ путемъ пробныхъ подстановокъ приблизительную величину x_1 корня уравненія, мы болѣе точную величину корня (x_2) найдемъ изъ:

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)};$$

еще точнѣе величина корня:

$$x_3 = x_2 - \frac{f(x_2)}{f'(x_2)},$$

и т. д.; такъ надо поступать до тѣхъ поръ, пока разность между двумя послѣдовательными значеніями корня x_n и x_{n-1} будетъ настолько незначительна, что ею можно пренебречь.

Вычисленія во многихъ случаяхъ значительно упрощаются, если для опредѣленія x_1 пользоваться **графическимъ способомъ**; при этомъ величинѣ x даютъ нѣсколько значеній въ цѣлыхъ числахъ, вычисляютъ соотвѣтственныя величины $f(x)$ и откладываютъ ихъ какъ ординаты въ выбранныхъ точкахъ x (какъ абсциссы), концы орди-

НТБ ДНУЗТ

натъ соединяютъ непрерывною кривою и по кривой выбираютъ то значеніе x_1, при которомъ $f(x) = 0$.

Если выбрать для x только два значенія x_o и x_u, близъ которыхъ находится корень уравненія, то кривая обращается въ прямую; приблизительная величина корня x_1 опредѣляется тогда также при помощи **regula falsi** изъ:

$$x_1 = \frac{x_o f(x_u) - x_u f(x_o)}{f(x_u) - f(x_o)}.$$

2. Логариѳмически-графическій способъ *)

(по P. Мемке).

1. Разлагаемъ лѣвую сторону уравненія $f(x) = 0$ произвольнымъ образомъ на разность $f_1(x) - f_2(x)$ двухъ функцій и приравниваемъ каждую изъ этихъ функцій величинѣ y, тогда получаются два уравненія:

$$y = f_1(x); \qquad y = f_2(x).$$

Чертимъ кривыя, соотвѣтствующія этимъ уравненіямъ, причемъ за координаты перемѣнной точки принимаемъ не x и y, а $\log x$ и $\log y$. Абсциссы точекъ пересѣченія этихъ кривыхъ представляютъ логариѳмы дѣйствительныхъ положительныхъ корней $f(x) = 0$. Отрицательные корни найдутся, если опредѣлить положительные корни уравненія $f(-x) = 0$.

2. Въ случаѣ алгебраическаго уравненія вида:

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \quad + a_1 x + a_o = 0,$$

разложеніе уравненія достигается всего проще посредствомъ отдѣленія положительныхъ и отрицательныхъ членовъ. Весьма удобно бываетъ иногда раздѣлить на степень x.

3. Уравненіе $y = ax^n$ представляетъ логариѳмически (такъ какъ $\log y = n \log x + \log a$) прямую линію, проходящую черезъ точку $\log a$ на оси ординатъ и имѣющую къ оси абсциссъ уклонъ $n:1$. При этомъ n можетъ имѣть произвольное значеніе.

4. Если $y = ax^n \pm a_1 x^{n_1} \pm$ то чертитъ прямыя, соотвѣтствующія отдѣльнымъ членамъ.

Если (черт. 2) произвольная прямая, параллельная оси ординатъ, пересѣкаетъ ось абсциссъ въ o, а начерченныя прямыя въ $p, p_1 \ldots$, то измѣриемъ посредствомъ логариемическаго масштаба ординаты op, op_1 .., составляемъ алгебраическую сумму этихъ величинъ и сумму эту откладываемъ въ томъ же масштабѣ, какъ ординату or,

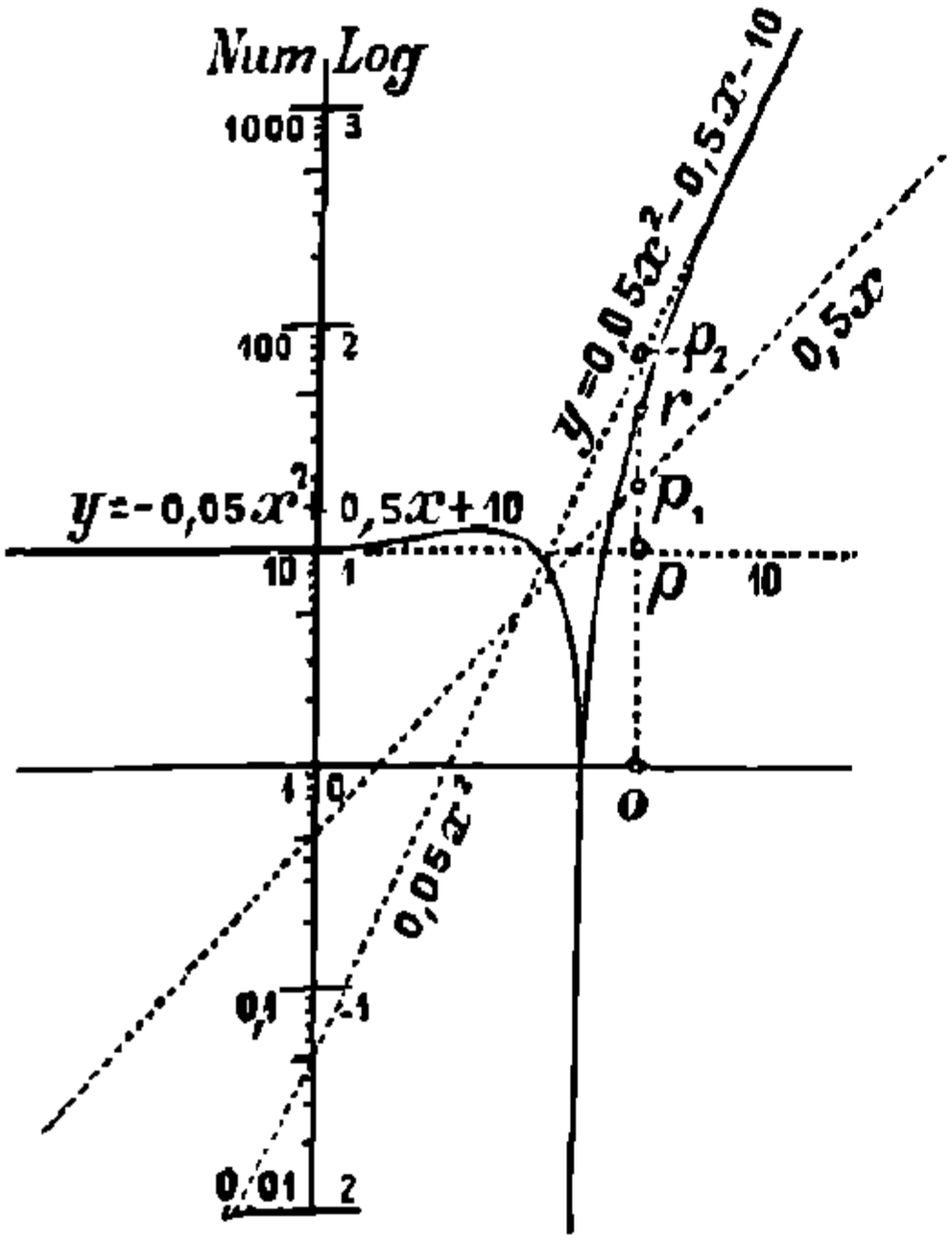
---

*) Мемке. Civilingenieur. 1889, T. XXXV, стр. 617.

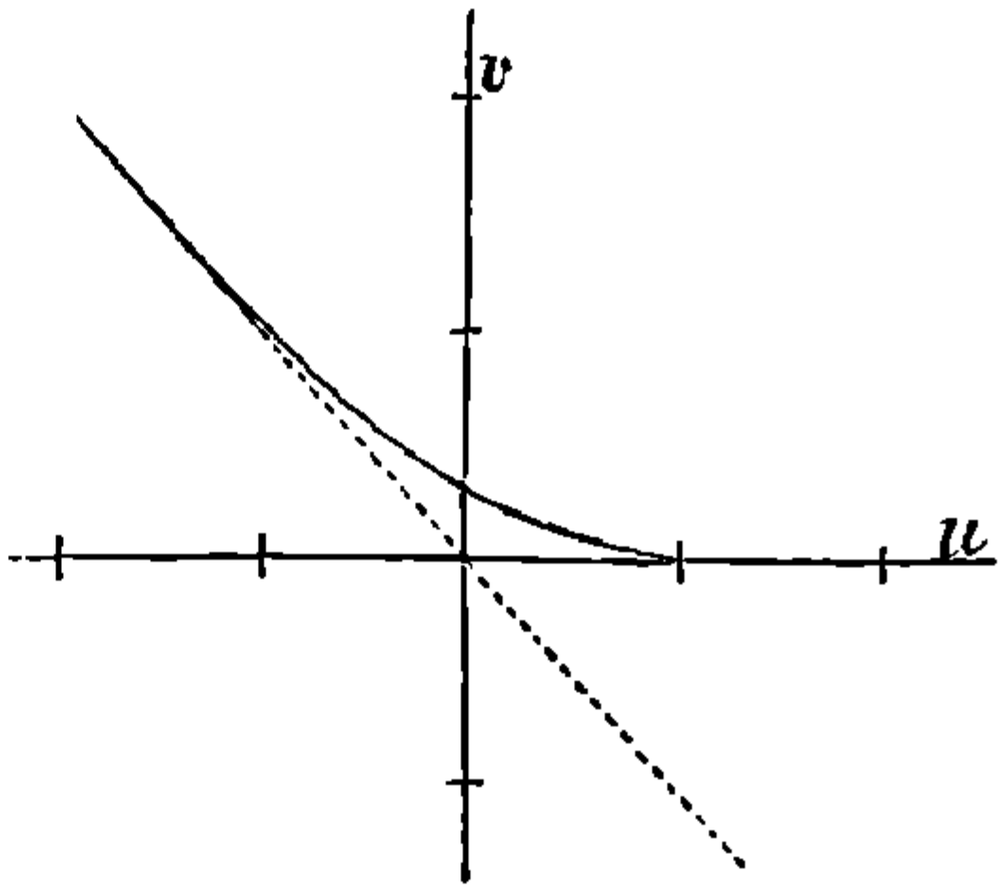
НТБ ДНУЗТ

тогда r есть точка на кривой, принадлежащей функціи y. Примѣръ см. черт. 2.

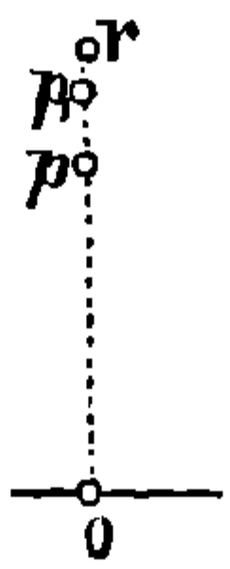
Черт. 2.



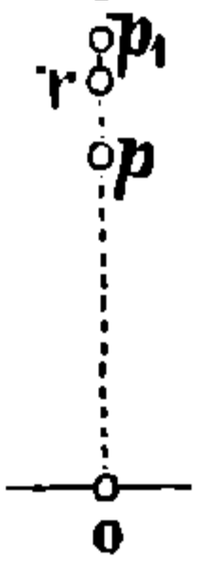
Черт. 3.



Черт. 4.



Черт. 5.



5. Логариѳмическое сложеніе или вычитаніе двухъ ординатъ op и op_1 можетъ быть произведено при помощи **кривой сложенія** (черт. 3). Кривая эта получается, если для различныхъ значеній величины t откладывать $u = \log t$ и $v = \log\left(1+\frac{1}{t}\right)$ какъ абсциссы и ординаты въ логариѳмическомъ масштабѣ. Ищемъ для абсциссы pp_1 (черт. 4) соотвѣтственную ординату на кривой сложенія и откладываемъ ее равною $p_1 r$, тогда $or = \log (\text{num } op + \text{num } op_1)$.

Въ случаѣ вычитанія: для pp_1 (черт. 5), какъ ординаты, ищемъ соотвѣтственную абсциссу на кривой сложенія и откладываемъ (съ сохраненіемъ знака) pr равною отрицательной величинѣ этой абсциссы, тогда:

$$or = \log (\text{num } op_1 - \text{num } op).$$

Таблица координатъ для кривой сложенія.

u	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,	$v = 0,301$	0,254	0,212	0,176	0,146	0,119	0,097	0,079	0,064	0,051
1,	0,041	0,033	0,027	0,021	0,017	0,014	0,011	0,009	0,007	0,005
2,	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Для $u_1 = -u$ имѣемъ $v_1 = u + v$.

Е. Разсчетъ сложныхъ процентовъ и рентъ.

1. Капиталъ K, отданный по k годовыхъ, черезъ n лѣтъ обратится:

а) при **годовыхъ сложныхъ процентахъ** въ:

$$K_n = Kp^n,$$

НТБ ДНУЗТ

гдѣ $$p = 1 + \frac{k}{100} = \frac{100 + k}{100},$$

годовой множитель учета.

b) при **полугодовыхъ сложныхъ процентахъ** (государств. бумаги), капиталъ черезъ n лѣтъ обратится въ:

$$K_n = Kq^{2n},$$

гдѣ $$q = 1 + \frac{k}{2 \quad 100} = \frac{200 + k}{200}$$

полугодовой множитель учета.

c) При **постоянныхъ сложныхъ** процентахъ, предполагая, что проценты прибавляются къ капиталу въ каждый моментъ времени, капиталъ K, отданный по k процентовъ, обратится черезъ n лѣтъ въ:

$$K_n = Ke^{\frac{kn}{100}}, \text{ (} e \text{ см. стр. 40).}$$

2. Капиталъ W, образующійся отъ ежегодныхъ, въ теченіе n лѣтъ, въ началѣ каждаго года вкладовъ S, вмѣетъ съ наросшими процентами, въ копцѣ n-го года будетъ:

$$W = \frac{p(p^n - 1)}{p - 1} S.$$

3. Если капиталъ K въ концѣ каждаго года увеличивается или уменьшается на одну и ту же сумму R, то черезъ n лѣтъ онъ обратится въ:

$$K_n = Kp^n \pm \frac{R(p^n - 1)}{p - 1}.$$

4. При условіяхъ 3, капиталъ K обратится въ K_1 черезъ

$$n = \frac{\log [(p-1)K_1 \pm R] - \log [(p-1)K \pm R]}{\log p} \text{ лѣтъ.}$$

5. Если ежегодно отнимается отъ капитала сумма R (рента) большая, чѣмъ наростающіе проценты, то весь капиталъ будетъ израсходованъ черезъ

$$n = \frac{\log R - \log [R - (p-1)K]}{\log p} \text{ лѣтъ.}$$

6. Капиталъ $$K = \frac{R(p^n - 1)}{p^n (p - 1)}$$

даетъ ежегодный доходъ (ренту) R въ теченіе n лѣтъ.

7. Репта R, которую можно получать отъ капитала K въ теченіе n лѣтъ, составитъ

$$R = \frac{Kp^n (p-1)}{p^n - 1}.$$

8. Если нужно вносить: капиталъ K_1 черезъ n_1 ед. врем., капиталъ K_2 черезъ n_2, K_3 черезъ n_3 ед. вр. и т. д., то всѣ эти взносы, счи-

НТБ ДНУЗТ

тая простые проценты, можно безъ прибыли и убытка замѣнить одной суммой $K_1 + K_2 + \quad . + K_m$, внесенной черезъ

$$n = \frac{K_1 n_1 + K_2 n_2 + \ldots \quad . + K_m n_m}{K_1 + K_2 + \quad + K_m} \text{ ед. вр.}$$

F. Ряды.

Ряды бинома см. стр. 43 и 44.

a. Ариѳметическіе ряды.

Въ ариѳметической прогрессіи $a, a + d, a + 2d, . \quad a + (n-1)d$ n-ый членъ:

$$u = a + (u - 1)\, d,$$

а сумма n первыхъ членовъ:

$$S = {}^1/_2 (a + u)\, n = [a + {}^1{}_2 (n - 1)\, d]\, n.$$

b. Высшіе ариѳметическіе ряды.

Пусть $a_1, a_2, a_3, a_4, . \quad a_n$ высшій ариѳметическій рядъ,

$\Delta a_1, \Delta a_2 \Delta a_3 \ldots \Delta a_{n-1}$ рядъ первыхъ разностей,

$\Delta^2 a_1, \Delta^2 a_2, . \ . \Delta^2 a_{n-2}$ рядъ вторыхъ разностей и т. д.,

гдѣ $\Delta a_1 = a_2 - a_1, \ \Delta a_2 = a_3 \quad a_2, \ \Delta^2 a_1 = \Delta a_2 - \Delta a_1$ и т. д.,

тогда n-й членъ главнаго ряда:

1. $a_n = a_1 + (n-1)\ \Delta a_1 + (n \quad 1)_2\ \Delta^2 a_1 + (n-1)_3\ \Delta^3 a_1 +$

и сумма n первыхъ членовъ:

2. $\Sigma a_n = n\, a_1 + (n)_2\, \Delta a_1 + (n)_3\, \Delta^2 a_1 + (n)_4\, \Delta^3 a_1 +$

Коэффиціенты бинома см. стр. 43.

Формула для n-го члена остается вѣрной и при u дробномъ и служитъ для опредѣленія членовъ, заключающихся въ промежуткахъ между членами высшаго ариѳметическаго ряда.

Въ высшемъ ариѳметическомъ ряду k-го порядка формулы для a_n и Σa_n заканчиваются членами, содержащими $\Delta^k a_1$.

Рядъ, въ которомъ n членовъ, можетъ быть не выше $(n-1)$-го порядка, и въ этомъ случаѣ формулы для a_n и Σa_n заканчиваются членомъ, содержащимъ $\Delta^{n-1} a_1$.

c. Геометрическіе ряды.

Въ геометрической прогрессіи $a, aq, aq^2. \quad aq^{n-1}$ n-й членъ:

$$u = aq^{n-1},$$

сумма n первыхъ членовъ:

$$S = \frac{a(q^n - 1)}{q - 1} = \frac{qu - a}{q - 1}.$$

При $n = \infty$ и если q положительная или отрицательная правильная дробь, то:

$$S = \frac{a}{1 - q}.$$

НТБ ДНУЗТ

d. Нѣкоторые особенные ряды.

1. $1+2+3+4+5+6+\ldots+(n-1)+n=\frac{n(n+1)}{2}$.

2. $p+(p+1)+(p+2)+\ldots+(q-1)+q=\frac{(q+p)(q-p+1)}{2}$.

3. $2+4+6+8+\ldots+(2n-2)+2n=n(n+1)$.

4. $1+3+5+7+\ldots+(2n-3)+(2n-1)=n^2$.

5. $1^2+2^2+3^2+4^2+\ldots+(n-1)^2+n^2=\frac{n(n+1)(2n+1)}{1.2.3.}$.

6. $1^3+2^3+3^3+4^3+\ldots+(n-1)^3+n^3=\left[\frac{n(n+1)}{2}\right]^2$

7. $1^4+2^4+3^4+4^4+\ldots+(n-1)^4+n^4=\frac{n^5}{5}+\frac{n^4}{2}+\frac{n^3}{3}-\frac{n}{30}$.

8. $\left[\frac{1^m+2^m+3^m+4^m+\ldots+(n-1)^m+n^m}{n^{m+1}}\right]_{n=\infty}=\frac{1}{m+1}$.

9. $e=\lim\left(1+\frac{1}{n}\right)^n=1+\frac{1}{1}+\frac{1}{1.2}+\frac{1}{1.2.3}+\ldots+\frac{1}{1.2.3\ldots n}$

для $n=\infty$ (Значеніе e см. стр. 40).

e. Показательные и логариѳмическіе ряды.

1. $e^x=1+\frac{x}{1}+\frac{x^2}{1.2}+\frac{x^3}{1.2.3}+\frac{x^4}{1.2.3.4}+\ldots;-\infty<x<+\infty$

$e=2{,}718\,281\,828\,459\ldots$ основаніе натуральныхъ логариѳмовъ.

2. $a^x=1+\frac{\ln a}{1}x+\frac{(\ln a)^2}{1.2}x^2+\frac{(\ln a)^3}{1.2.3}x^3+\ldots;-\infty<x<+\infty.$,

3. $\ln(1\pm x)=\pm x-\frac{x^2}{2}\pm\frac{x^3}{3}-\frac{x^4}{4}\pm\frac{x^5}{5}\ldots;-1<x<+1$.

4. $\ln\frac{1+x}{1-x}=2\left(x+\frac{x^3}{3}+\frac{x^5}{5}+\frac{x^7}{7}+\frac{x^9}{9}+\ldots\right);-1<x<+1$.

5. $\ln\frac{x+1}{x-1}=2\left(\frac{1}{x}+\frac{1}{3x^3}+\frac{1}{5x^5}+\quad\right);-1>x>+1$.

6. $\ln x=2\left[\frac{x-1}{x+1}+\frac{1}{3}\left(\frac{x-1}{x+1}\right)^3+\frac{1}{5}\left(\frac{x-1}{x+1}\right)^5+\frac{1}{7}\left(\frac{x-1}{x+1}\right)^7+\ldots\right]$.

$0<x<\infty$.

7. $\ln(a+x)=\ln a+2\left[\frac{x}{2a+x}+\frac{1}{3}\left(\frac{x}{2a+x}\right)^3+\frac{1}{5}\left(\frac{x}{2a+x}\right)^5+\ldots\right]$;

$0<a<+\infty$ и $-a<x<+\infty$.

НТБ ДНУЗТ

f. Ряды для тригонометрическихъ функцій и ихъ обратныхъ величинъ.

Въ формулахъ 1 до 4 имѣемъ $x = (\pi \ 180)$ если φ центральный уголъ въ градусахъ.

1. $\sin x = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \frac{x^9}{9!} - \frac{}{11!} + \ldots; \ -\infty < x < +\infty.$

2. $\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \frac{x^8}{8!} - \frac{x^{10}}{10!} + \ldots; \ -\infty < x < +\infty.$

3. $\operatorname{tg} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2.x^5}{3.5} + \frac{17.x^7}{3^2.5.7} + \frac{62.x^9}{3^2.5.7.9} + \ldots; \ -\pi < x < +\pi$

4. $\operatorname{ctg} x = \frac{1}{x} - \frac{}{3\ 3^2.5} - \frac{2\,x^5}{3^3.5.7} - \frac{x^7}{3^3.5^2.7} - \ldots; \ -\pi < x < +\pi$

5. $\operatorname{arc\,sin} x = x + \frac{1}{2}\frac{x^3}{3} + \frac{1.3}{2.4}\frac{}{5} + \frac{1.3.5}{2.4.6}\frac{x^7}{7} + \ldots; \ -1 \leqq x \leqq +1.$

6. $\operatorname{arc\,tg} x = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{} - \frac{}{7} + \frac{x^9}{9} - \qquad -1 \leqq x \quad +1.$

7. $\frac{\pi}{6} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2.3.2^3} + \frac{3}{2.4.5.2^5} + \frac{3.5}{2.4.6.7.2^7} + \frac{3.5.7}{2.4.6.8.9.2^9} + \ldots$; (см. стр. 40).

8. $\frac{\pi}{4} = 1 - 1/3 + 1/5 - 1/7 + 1/9 - 1/11 + 1/13 - 1/15 + \ldots$ (Лейбницъ)

$$= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) - 1/3\left(\frac{1}{2^1} + \frac{1}{3^1}\right) + 1/5\left(\frac{1}{2^5} + \frac{1}{3^5}\right) - 1/7\left(\frac{1}{2^7} + \frac{1}{3^7}\right) + \ldots \text{(Эйлеръ)}$$

$$= 4\left(\frac{1}{5} - \frac{1}{3.5^3} + \frac{1}{5.5^5} + \frac{1}{7.5^7} + \ldots\right) \quad \left(\frac{1}{239} - \frac{1}{3.239^3} + \frac{1}{5.239^5} + \ldots\right) \text{(Махинъ)}$$

$= 0{,}785\,398\,163\,397\,448.$

III. КРУГОВЫЯ и ГИПЕРБОЛИЧЕСКІЯ ФУНКЦІИ.

A. Круговыя функціи.

(Таблицы круговыхъ функцій см. стр. 26 до 29).

Град.	0	90	180	270	360	30	45	60
sin =	0	+1	0	−1	0	$1/2$	$1/2\sqrt{2}$	$1/2\sqrt{3}$
=	+1	0	1	0	+1	$1/2\sqrt{3}$	$1/2\sqrt{2}$	$1/2$
tg =	0	∞	0	∞	0	$1/3\sqrt{3}$	1	$\sqrt{3}$
ctg =	∞	0	∞	0	∞	$\sqrt{3}$	1	$1/3\sqrt{3}$

НТБ ДНУЗТ

При углѣ $\alpha < 90^0$ имѣемъ, въ предположеніи:

	φ между:				φ равнымъ:			
	0^0 и 90^0	90^0 и 180^0	180^0 и 270^0	270^0 и 360^0	$\pm\alpha$	$90 \pm \alpha$	$180 \pm \alpha$	$270 \pm \alpha$
$\sin\varphi =$	+	+	−		$\pm\sin\alpha$	$+\cos\alpha$	$\mp\sin\alpha$	$-\cos\alpha$
$\cos\varphi =$	+		−	+	$+\cos\alpha$	$\mp\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$\pm\sin\alpha$
$\operatorname{tg}\varphi =$	+	−	+	−	$\pm\operatorname{tg}\alpha$	$\mp\operatorname{ctg}\alpha$	$\pm\operatorname{tg}\alpha$	$\mp\operatorname{ctg}\alpha$
$\operatorname{ctg}\varphi =$	+	−	+	−	$\pm\operatorname{ctg}\alpha$	$\mp\operatorname{tg}\alpha$	$\pm\operatorname{ctg}\alpha$	$\pm\operatorname{tg}\alpha$

$$\sin(45^0 \pm \alpha) = \cos(45^0 \mp \alpha), \qquad \operatorname{tg}(45^0 \pm \alpha) = \operatorname{ctg}(45^0 \mp \alpha).$$

a. Зависимость между тригонометрическими функціями одного угла.

1. $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1.$
2. $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha}.$
3. $\operatorname{ctg}\alpha = \dfrac{\cos\alpha}{\sin\alpha}$
4. $\operatorname{tg}\alpha \operatorname{ctg}\alpha = 1.$
5. $1 + \operatorname{tg}^2\alpha = \dfrac{1}{\cos^2\alpha}.$
6. $1 + \operatorname{ctg}^2\alpha = \dfrac{1}{\sin^2\alpha}.$
7. $\sin\alpha = \sqrt{1 - \cos^2\alpha} = \dfrac{\operatorname{tg}\alpha}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}} = \dfrac{1}{\sqrt{1+\operatorname{ctg}^2\alpha}}$
8. $\cos\alpha = \sqrt{1 - \sin^2\alpha} = \dfrac{1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}} = \dfrac{\operatorname{ctg}\alpha}{\sqrt{1+\operatorname{ctg}^2\alpha}}.$
9. $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{\sin\alpha}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha}} = \dfrac{\sqrt{1-\cos^2\alpha}}{\cos\alpha} = \dfrac{1}{\operatorname{ctg}\alpha}.$
10. $\operatorname{ctg}\alpha = \dfrac{\sqrt{1 - \sin^2\alpha}}{\sin\alpha} = \dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{1-\cos^2\alpha}} \dfrac{1}{\operatorname{tg}\alpha}.$

b. Зависимость между тригонометрическими функціями двухъ угловъ.

1. $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta.$
2. $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta.$
3. $\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = [\operatorname{tg}\alpha \pm \operatorname{tg}\beta] \quad |1 \mp \operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\beta|.$
4. $\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = [\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{ctg}\beta \mp 1| \quad [\operatorname{ctg}\beta \pm \operatorname{ctg}\alpha].$
5. $\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin{}^1/_2(\alpha+\beta)\cos{}^1/_2(\alpha-\beta).$
6. $\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos{}^1/_2(\alpha+\beta)\sin{}^1/_2(\alpha-\beta).$
7. $\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos{}^1/_2(\alpha+\beta)\cos{}^1/_2(\alpha-\beta).$
8. $\cos\alpha - \cos\beta = -2\sin{}^1/_2(\alpha+\beta)\sin{}^1/_2(\alpha-\beta).$
9. $\operatorname{tg}\alpha \pm \operatorname{tg}\beta = \dfrac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos\alpha\cos\beta}.$
10. $\operatorname{ctg}\alpha \pm \operatorname{ctg}\beta = \dfrac{\sin(\beta \pm \alpha)}{\sin\alpha\sin\beta}$

НТБ ДНУЗТ

11. $\sin^2\alpha - \sin^2\beta = \cos^2\beta - \cos^2\alpha = \sin(\alpha+\beta)\sin(\alpha-\beta)$.
12. $\cos^2\alpha - \sin^2\beta = \cos^2\beta - \sin^2\alpha = \cos(\alpha+\beta)\cos(\alpha-\beta)$.
13. $\sin\alpha\sin\beta = {}^1/_2\cos(\alpha-\beta) - {}^1/_2\cos(\alpha+\beta)$.
14. $\cos\alpha\cos\beta = {}^1/_2\cos(\alpha-\beta) + {}^1/_2\cos(\alpha+\beta)$.
15. $\sin\alpha\cos\beta = {}^1/_2\sin(\alpha+\beta) + {}^1/_2\sin(\alpha-\beta)$.
16. $\operatorname{tg}\alpha\ \operatorname{tg}\beta = \dfrac{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\beta}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta} = -\dfrac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}{\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{ctg}\beta}$.
17. $\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{ctg}\beta = \dfrac{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\beta} = -\dfrac{\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{ctg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}$.
18. $\operatorname{tg}\alpha\operatorname{ctg}\beta = \dfrac{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{tg}\beta} = -\dfrac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{ctg}\beta}{\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}$.

c. Формулы для тригонометрическихъ функцій кратныхъ угловъ и частей угла.

1. $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$; $\quad \sin\alpha = 2\sin {}^1/_2\alpha\cos {}^1/_2\alpha$.
2. $\sin 3\alpha = 3\sin\alpha\cos^2\alpha - \sin^3\alpha = 3\sin\alpha - 4\sin^3\alpha$.
3. $\sin n\alpha = n\sin\alpha\cos^{n-1}\alpha - (n)_3\sin^3\alpha\cos^{n-3}\alpha + (n)_5\sin^5\alpha\cos^{n-5}\alpha - \ldots$.
4. $\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha = 1 - 2\sin^2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1$.
5. $\cos 3\alpha = \cos^3\alpha - 3\sin^2\alpha\cos\alpha = 4\cos^3\alpha - 3\cos\alpha$.
6. $\cos n\alpha = \cos^n\alpha - (n)_2\sin^2\alpha\cos^{n-2}\alpha + (n)_4\sin^4\alpha\cos^{n-4}\alpha - \ldots$.
7. $\sin {}^1/_2\alpha = \sqrt{\dfrac{1-\cos\alpha}{2}} = {}^1/_2\sqrt{1+\sin\alpha} - {}^1/_2\sqrt{1-\sin\alpha}$.
8. $\cos {}^1/_2\alpha = \sqrt{\dfrac{1+\cos\alpha}{2}} = {}^1/_2\sqrt{1+\sin\alpha} + {}^1/_2\sqrt{1-\sin\alpha}$.
9. $\operatorname{tg} {}^1/_2\alpha = \dfrac{\sin\alpha}{1+\cos\alpha} = \dfrac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha} = \sqrt{\dfrac{1-\cos\alpha}{1+\cos\alpha}}$.
10. $\operatorname{ctg} {}^1/_2\alpha = \dfrac{\sin\alpha}{1-\cos\alpha} = \dfrac{1+\cos\alpha}{\sin\alpha} = \sqrt{\dfrac{1+\cos\alpha}{1-\cos\alpha}}$.
11. $\operatorname{tg} 2\alpha = \dfrac{2\operatorname{tg}\alpha}{1-\operatorname{tg}^2\alpha} = \dfrac{2}{\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{tg}\alpha}$; $\quad \operatorname{tg}\alpha = \dfrac{2\operatorname{tg} {}^1/_2\alpha}{1-\operatorname{tg}^2 {}^1/_2\alpha}$.
12. $\operatorname{ctg} 2\alpha = \dfrac{\operatorname{ctg}^2\alpha - 1}{2\operatorname{ctg}\alpha} = {}^1/_2\operatorname{ctg}\alpha - {}^1/_2\operatorname{tg}\alpha$; $\quad \operatorname{ctg}\alpha = \dfrac{\operatorname{ctg}^2 {}^1/_2\alpha - 1}{2\operatorname{ctg} {}^1/_2\alpha}$.
13. $\operatorname{tg} 3\alpha = \dfrac{3\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}^3\alpha}{1-3\operatorname{tg}^2\alpha}$
14. $\operatorname{ctg} 3\alpha = \dfrac{\operatorname{ctg}^3\alpha - 3\operatorname{ctg}\alpha}{3\operatorname{ctg}^2\alpha - 1}$.
15. $\sin\alpha = \dfrac{2\operatorname{tg} {}^1/_2\alpha}{1+\operatorname{tg}^2 {}^1/_2\alpha}$.
16. $\cos\alpha = \dfrac{1-\operatorname{tg}^2 {}^1/_2\alpha}{1+\operatorname{tg}^2 {}^1/_2\alpha}$.
17. $\sin\alpha \pm \cos\alpha = \sqrt{1 \pm \sin 2\alpha} = \sqrt{2}\sin(\alpha \pm {}^1/_4\pi)$.

НТБ ДНУЗТ

d. Степени синуса и косинуса.

1. $2\sin^2\alpha = 1 - \cos 2\alpha.$ 2. $2\cos^2\alpha = 1 + \cos 2\alpha.$
3. $4\sin^3\alpha = -\sin 3\alpha + 3\sin\alpha.$ 4. $4\cos^3\alpha = \cos 3\alpha + 3\cos\alpha.$

5. При n нечетномъ:

$$\sin^n\alpha = \left(\frac{1}{2i}\right)^{n-1}\Big[\sin n\alpha - (n)_1\sin(n-2)\alpha + (n)_2\sin(n-4)\alpha -$$
$$- (n)_3\sin(n-6)\alpha + \quad + (-1)^{\frac{n-3}{2}}(n)_{\frac{n-3}{2}}\sin 3\alpha$$
$$+ (-1)^{\frac{n-1}{2}}(n)_{\frac{n-1}{2}}\sin\alpha\Big]$$

При n четномъ:

$$\sin^n\alpha \quad \frac{1}{2^n}\,{}_1\frac{}{i^n}\Big[\cos n\alpha - (n)_1\cos(n-2)\alpha + (n)_2\cos(n-4)\alpha$$
$$+ (\quad 1)^{\frac{n-4}{2}}(n)_{\frac{n-4}{2}}\cos 4\alpha + (-1)^{\frac{n-2}{2}}(n)_{\frac{n-2}{2}}\cos 2\alpha\Big]$$
$$+ (-1)^{\frac{}{2}}\,(n)_{\frac{n}{2}}\left(\frac{1}{2^n\,i^n}\right)$$

6. При n нечетномъ:

$$\cos^n\alpha = \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}\Big[\cos n\alpha + (n)_1\cos(n \quad 2)\alpha + (n)_2\cos(n-4)\alpha +$$
$$+ (n)_3\cos(n \ -6)\alpha + \quad + (n)_{\frac{n-3}{2}}\cos 3\alpha + (n)_{\frac{n-1}{2}}\cos\alpha\Big]$$

При n четномъ:

$$\cos^n\alpha = \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}\Big[\cos n\alpha + (n)_1\cos(n \quad 2)\alpha + (n)_2\cos(n-4)\alpha +$$
$$+ (n)_{\frac{n-4}{2}}\cos 4\alpha + (n)_{\frac{n-2}{2}}\cos 2\alpha\Big] + (n)_{\frac{n}{2}}\left(\frac{1}{2}\right)^n$$

(См. коэффиціенты бинома $(n)_p$ стр. 43, относительно i стр. 45).

e. Зависимость между Arcus различныхъ функцій.

1. $\operatorname{arc}\sin u = \operatorname{arc}\cos\sqrt{1-u^2} = \operatorname{arc}\operatorname{tg}\dfrac{u}{\sqrt{1-u^2}} = \dfrac{\pi}{2} - \operatorname{arc}\cos u.$

2. $\operatorname{arc}\cos u = \operatorname{arc}\sin\sqrt{1-u^2} = \operatorname{arc}\operatorname{tg}\dfrac{\sqrt{1-u^2}}{u} = \dfrac{\pi}{2} - \operatorname{arc}\sin u.$

3. $\operatorname{arc}\operatorname{tg} u = \operatorname{arc}\sin\dfrac{u}{\sqrt{1+u^2}} = \operatorname{arc}\cos\dfrac{1}{\sqrt{1+u^2}} = \operatorname{arc}\operatorname{ctg}\dfrac{1}{u} =$
$= {}^1/_2\operatorname{arc}\operatorname{tg}\dfrac{2u}{1-u^2} = {}^1/_2\operatorname{arc}\sin\dfrac{2u}{1+u^2} = {}^1/_2\operatorname{arc}\cos\dfrac{1-u^2}{1+u^2}$

НТБ ДНУЗТ

4. $\arcsin u \pm \arcsin v = \arcsin (u\sqrt{1-v^2} \pm v\sqrt{1-u^2}) =$
$= \arccos (\sqrt{1-u^2}\sqrt{1-v^2} \mp u\,v)$.

5. $\arccos u \pm \arccos v = \arcsin (v\sqrt{1-u^2} \pm u\sqrt{1-v^2}) =$
$= \arccos (u\,v \mp \sqrt{1-u^2}\sqrt{1-v^2})$.

6. $\operatorname{arc\,tg} u \pm \operatorname{arc\,tg} v = \operatorname{arc\,tg} \dfrac{u \pm v}{1 \mp u\,v}$ (Дальнѣйшее см. въ **b.**, стр. 68).

f. Зависимость между тремя углами $\alpha + \beta + \gamma = 180^0$.

1. $\sin\alpha + \sin\beta + \sin\gamma = 4\cos {}^1\!/_2\,\alpha \cos {}^1\!/_2\,\beta \cos {}^1\!/_2\,\gamma$.
2. $\cos\alpha + \cos\beta + \cos\gamma = 4\sin {}^1\!/_2\,\alpha \sin {}^1\!/_2\,\beta \sin {}^1\!/_2\,\gamma + 1$.
3. $\sin\alpha + \sin\beta - \sin\gamma = 4\sin {}^1\!/_2\,\alpha \sin {}^1\!/_2\,\beta \cos {}^1\!/_2\,\gamma$.
4. $\cos\alpha + \cos\beta - \cos\gamma = 4\cos {}^1\!/_2\,\alpha \cos {}^1\!/_2\,\beta \sin {}^1\!/_2\,\gamma - 1$.
5. $\sin^2\alpha + \sin^2\beta + \sin^2\gamma = 2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma + 2$.
6. $\sin^2\alpha + \sin^2\beta - \sin^2\gamma = 2\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma$.
7. $\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\beta + \operatorname{tg}\gamma = \operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\beta\operatorname{tg}\gamma$.
8. $\operatorname{ctg} {}^1\!/_2\,\alpha + \operatorname{ctg} {}^1\!/_2\,\beta + \operatorname{ctg} {}^1\!/_2\,\gamma = \operatorname{ctg} {}^1\!/_2\,\alpha \operatorname{ctg} {}^1\!/_2\,\beta \operatorname{ctg} {}^1\!/_2\,\gamma$.
9. $\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\alpha\operatorname{ctg}\gamma + \operatorname{ctg}\beta\operatorname{ctg}\gamma = 1$.
10. $\sin 2\alpha + \sin 2\beta + \sin 2\gamma = 4\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma$.
11. $\sin 2\alpha + \sin 2\beta - \sin 2\gamma = 4\cos\alpha\cos\beta\sin\gamma$.

B. Плоскіе треугольники.

Формулы для площади треугольника см. VII.

Обозначимъ стороны треугольника a, b, c, углы имъ противулежащіе α, β, γ; радіусъ вписаннаго ϱ, а радіусъ описаннаго круга r. Полупериметръ $s = {}^1\!/_2\,(a+b+c)$.

Въ виду того, что $\alpha + \beta + \gamma = 180^0$, вышеуказанныя въ *f.* формулы 1 до 11 имѣютъ мѣсто.

a. Общія формулы.

1. $\dfrac{a}{\sin\alpha} = \dfrac{b}{\sin\beta} = \dfrac{c}{\sin\gamma} = 2r$.
2. $a = b\cos\gamma + c\cos\beta$; $b = c\cos\alpha + a\cos\gamma$; $c = a\cos\beta + b\cos\alpha$.
3. $a^2 = b^2 + c^2 - 2\,b\,c\cos\alpha$
$= (b+c)^2 - 4\,b\,c\cos^2 {}^1\!/_2\,\alpha$
$= (b-c)^2 + 4\,b\,c\sin^2 {}^1\!/_2\,\alpha$.

4. $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{a\sin\gamma}{b - a\cos\gamma}$.

5. $\sin\dfrac{\alpha}{2} = \sqrt{\dfrac{(s-b)(s-c)}{b\,c}}$

6. $\cos\dfrac{\alpha}{2} = \sqrt{\dfrac{s\,(s-a)}{b\,c}}$.

7. $\operatorname{tg}\dfrac{\alpha}{2} = \sqrt{\dfrac{(s-b)(s-c)}{s\,(s-a)}} = \dfrac{\varrho}{s-a}$; $\operatorname{tg}\dfrac{\beta}{2} = \dfrac{\varrho}{s-b}$.

8. $(a+b) : c = \cos {}^1\!/_2\,(\alpha-\beta) : \cos {}^1\!/_2\,(\alpha+\beta)$.
9. $(a-b) : c = \sin {}^1\!/_2\,(\alpha-\beta) : \sin {}^1\!/_2\,(\alpha+\beta)$.
10. $(a+b) : (a-b) = \operatorname{tg} {}^1\!/_2\,(\alpha+\beta) : \operatorname{tg} {}^1\!/_2\,(\alpha-\beta)$.
11. $\varrho = 4r\sin\dfrac{\alpha}{2}\sin\dfrac{\beta}{2}\sin\dfrac{\gamma}{2} = \dfrac{a\,b\,c}{4\,r\,s} = \sqrt{\dfrac{(s-a)(s-b)(s-c)}{s}}$.

12. Длина прямой, направленной къ сторонѣ c и дѣлящей уголъ пополамъ, равна:

НТБ ДНУЗТ

$$w = \frac{\sqrt{a\,b[(a+b)^2 - c^2]}}{a+b} = \frac{2\sqrt{a\,b\,s(s-c)}}{a+b}.$$

13. Длина линіи, направленной къ сторонѣ c и дѣлящей послѣднюю пополамъ:

$$m = {}^1/_2\sqrt{2(a^2+b^2) - c^2}.$$

14. $c^2 = (a+b)^2\left(1 - \frac{w^2}{a\,b}\right) = 2(a^2+b^2-2m^2)$.

b. Косоугольные треугольники.

Данныя:	Искомыя:	Формулы:
a, b, c	α	$\cos\alpha = \frac{b^2+c^2-a^2}{2\,b\,c}$, или форм. 5 (для малыхъ угловъ), или 6 (для угловъ, близкихъ къ 90^0).
a, b, α	β	$\sin\beta = \frac{b\sin\alpha}{a}$.
	γ	$\gamma = 180^0 - (\beta+\alpha)$.
	c	$c = \frac{a\sin\gamma}{\sin\alpha} = b\cos\alpha \pm \sqrt{a^2 - b^2\sin^2\alpha}$. При $a > b, \beta < 90^0$ и $\beta < \alpha$. При $b > a > b\sin\alpha$ имѣемъ для одного изъ треугольниковъ по даннымъ элементамъ $\alpha < \beta < 90^0$, а для другого треугольника $\beta > 90^0$. При $b\sin\alpha > a$ не существуетъ треугольника, соотвѣтствующаго заданнымъ элементамъ.
a, α, β	b, c	$b = \frac{a\sin\beta}{\sin\alpha}$; $c = \frac{a\sin\gamma}{\sin\alpha} = \frac{a\sin(\alpha+\beta)}{\sin\alpha}$.
a, b, γ	α, β	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a\sin\gamma}{b - a\cos\gamma}$; $\beta = 180^0 - (\alpha+\gamma)$. Или: $\frac{\alpha+\beta}{2} = 90^0 - \frac{\gamma}{2}$; $\operatorname{tg}\frac{\alpha-\beta}{2} = \frac{a-b}{a+b}\operatorname{ctg}\frac{\gamma}{2}$; по $\frac{\alpha+\beta}{2}$ и $\frac{\alpha-\beta}{2}$ опредѣляются α и β.
	c	$c = \sqrt{a^2+b^2-2\,ab\cos\gamma} = \frac{a\sin\gamma}{\sin\alpha} = \frac{a-b}{\cos\varphi}$, если $\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\sqrt{a\,b}\sin{}^1/_2\,\gamma}{a-b}$.

НТБ ДНУЗТ

c. Прямоугольные треугольники.

Если a и b катеты, c гипотенуза и α уголъ, противолежащій катету a, то для прямоугольнаго треугольника имѣемъ соотношенія:

1. $a = c \sin \alpha$ 2. $b = c \cos \alpha$. 3. $a = b \operatorname{tg} \alpha$. 4. $b = a \operatorname{ctg} \alpha$.

5. $a^2 + b^2 = c^2$.

C. Сферическіе треугольники.

Формулы для площади сферическаго треугольника см. стр. 137.

Пусть: a, b, c стороны треугольника,
α, β, γ противолежащіе углы,
$^1/_2 (a + b + c) = s$, $^1/_2 (\alpha + \beta + \gamma) = \sigma$,
$\alpha + \beta + \gamma - 180^0 = \varepsilon$, т. наз. сферическій избытокъ.

1. $\dfrac{\sin a}{\sin \alpha} = \dfrac{\sin b}{\sin \beta} = \dfrac{\sin c}{\sin \gamma}$.
2. $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos \alpha$.
3. $\cos \alpha = -\cos \beta \cos \gamma + \sin \beta \sin \gamma \cos a$.
4. $\cos a \sin b = \sin a \cos b \cos \gamma + \sin c \cos \alpha$.
   $\operatorname{ctg} a \sin b = \sin \gamma \operatorname{ctg} \alpha + \cos \gamma \cos b$.
   $\cos \alpha \sin \beta = \sin \gamma \cos a - \sin \alpha \cos \beta \cos c$.
   $\operatorname{ctg} \alpha \sin \beta = \sin c \operatorname{ctg} a - \cos c \cos \beta$.

6. $\sin \dfrac{a}{2} = \sqrt{\dfrac{-\cos \sigma \cos (\sigma - \alpha)}{\sin \beta \sin \gamma}}$; $\cos \dfrac{a}{2} = \sqrt{\dfrac{\cos(\sigma-\beta)\cos(\sigma-\gamma)}{\sin \beta \sin \gamma}}$.

7. $\sin \dfrac{\alpha}{2} = \sqrt{\dfrac{\sin(s-b)\sin(s-c)}{\sin b \sin c}}$; $\cos \dfrac{\alpha}{2} = \sqrt{\dfrac{\sin s \sin (s-a)}{\sin b \sin c}}$.

8. $\operatorname{ctg} {}^1/_2 \varepsilon = \dfrac{\operatorname{ctg} {}^1/_2 a \operatorname{ctg} {}^1/_2 b + \cos \gamma}{\sin \gamma}$.

9. $\operatorname{tg} {}^1/_4 \varepsilon = \sqrt{\operatorname{tg} \dfrac{s}{2} . \operatorname{tg} \dfrac{s-a}{2} . \operatorname{tg} \dfrac{s-b}{2} . \operatorname{tg} \dfrac{s-c}{2}}$.

Непоровы аналогіи.

1. $\operatorname{tg} {}^1/_2 (a+b) = \dfrac{\cos {}^1/_2 (\alpha - \beta)}{\cos {}^1/_2 (\alpha + \beta)} \operatorname{tg} \dfrac{c}{2}$; $\operatorname{tg} {}^1/_2 (a-b) = \dfrac{\sin {}^1/_2 (\alpha-\beta)}{\sin {}^1/_2 (\alpha+\beta)} \operatorname{tg} \dfrac{c}{2}$.
2. $\operatorname{tg} {}^1/_2 (\alpha+\beta) = \dfrac{\cos {}^1/_2 (a - b)}{\cos {}^1/_2 (a + b)} \operatorname{ctg} \dfrac{\gamma}{2}$; $\operatorname{tg} {}^1/_2 (\alpha-\beta) = \dfrac{\sin {}^1/_2 (a-b)}{\sin {}^1/_2 (a+b)} \operatorname{ctg} \dfrac{\gamma}{2}$.

Формулы Гаусса.

1. $\cos {}^1/_2 (\alpha + \beta) \cos {}^1/_2 c = \cos {}^1/_2 (a + b) \sin {}^1/_2 \gamma$.
2. $\sin {}^1/_2 (\alpha + \beta) \cos {}^1/_2 c = \cos {}^1/_2 (a - b) \cos {}^1/_2 \gamma$.
3. $\cos {}^1/_2 (\alpha - \beta) \sin {}^1/_2 c = \sin {}^1/_2 (a + b) \sin {}^1/_2 \gamma$.
4. $\sin {}^1/_2 (\alpha - \beta) \sin {}^1/_2 c = \sin {}^1/_2 (a - b) \cos {}^1/_2 \gamma$.

НТБ ДНУЗТ

Для **прямоугольнаго** сферическаго треугольника, у котораго c гипотенуза, слѣд. $\gamma = 90^0$, имѣемъ формулы:

$$1.\ \cos c = \cos a \cos b = \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{ctg} \beta;$$

$$2.\ \cos a = \frac{\cos \alpha}{\sin \beta}; \qquad 3.\ \cos b = \frac{\cos \beta}{\sin \alpha};$$

$$4.\ \sin \alpha = \frac{\sin a}{\sin c}; \qquad 5.\ \cos \alpha = \frac{\operatorname{tg} b}{\operatorname{tg} c}; \qquad 6.\ \operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} a}{\sin b}$$

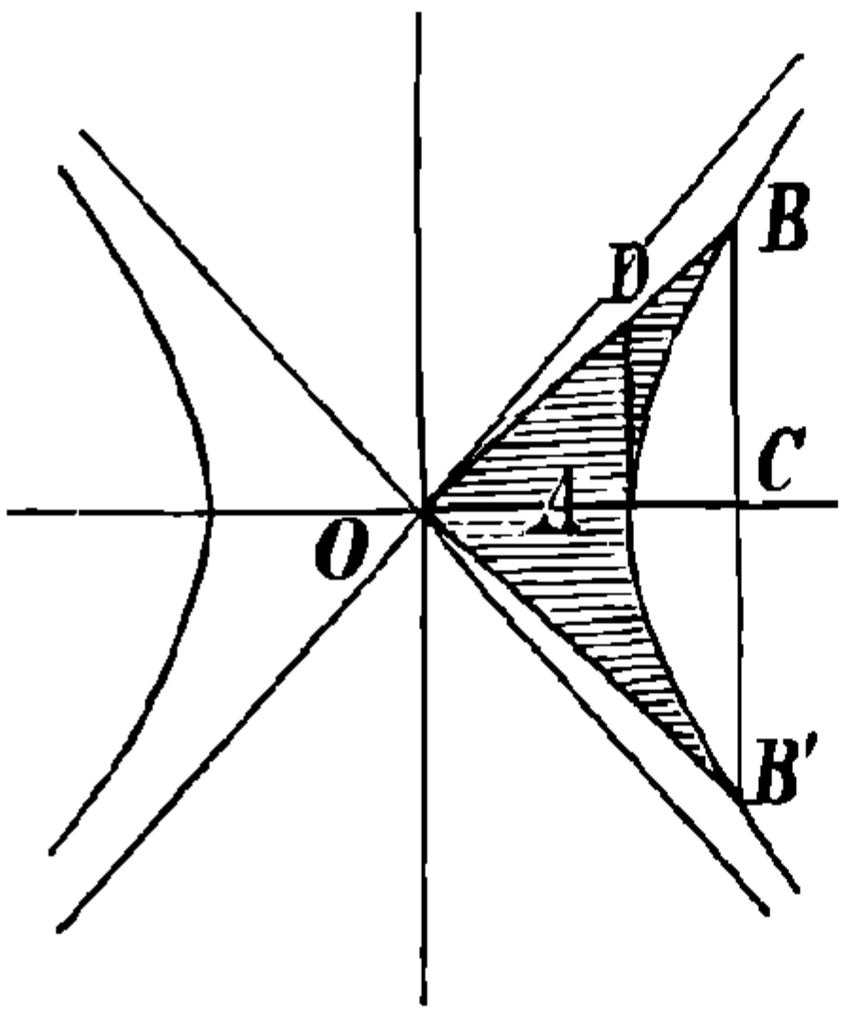
D. Гиперболическія функціи *).

(Таблицы гиперболическихъ функцій см. стр. 30—34).

a. Основныя формулы.

1. Гиперболическія функціи находятся въ такомъ же отношеніи къ гиперболѣ, какъ круговыя функціи (sin, cos, . . .) — къ кругу.

Черт. 6.



Пусть (черт. 6) O будетъ центръ и A вершина вѣтви равнобокой гиперболы (см. стр. 106), полуось которой OA равна единицѣ. Пусть B—нѣкоторая точка кривой; проведемъ BB' перпендикулярно OA, точка C — пересѣченіе хорды BB' съ полуосью OA, D — пересѣченіе луча OB съ касательною AD въ вершинѣ гиперболы. Отрѣзки CB, OC и AD принимаемъ за функціи отъ заштрихованной площади гиперболы $OBAB'O$, тогда имѣемъ:

$$CB = \sinh \varphi; \quad OC = \cosh \varphi; \quad AD = \operatorname{tgh} \varphi\ ^{**}),$$

причемъ площадь $OBAB'O$ = двойной площади $OBAO = \varphi$.

Затѣмъ обозначаемъ $\dfrac{1}{\operatorname{tgh} \varphi} = \operatorname{ctgh} \varphi$.

2. Имѣемъ: $\sinh \varphi = \dfrac{e^{\varphi} - e^{-\varphi}}{2}$; $\cosh \varphi = \dfrac{e^{\varphi} + e^{-\varphi}}{2}$;

$$\operatorname{tgh} \varphi = \frac{\sinh \varphi}{\cosh \varphi} = \frac{e^{\varphi} - e^{-\varphi}}{e^{\varphi} + e^{-\varphi}}; \operatorname{ctgh} \varphi = \frac{\cosh \varphi}{\sinh \varphi} = \frac{e^{\varphi} + e^{-\varphi}}{e^{\varphi} - e^{-\varphi}},$$

$\cosh \varphi + \sinh \varphi = e^{\varphi}$; $\cosh \varphi - \sinh \varphi = e^{-\varphi}$; $\cosh^2 \varphi - \sinh^2 \varphi = 1$,

гдѣ e основаніе натуральныхъ логариѳмовъ = 2,718 281 828 (см. стр. 40).

---

*) Подробное собраніе формулъ и таблицъ можно найти у Ligowski, Tafeln der Hyperbelfunktionen, Berlin. 1890.

**) Обозначеніе: $\sinh \varphi$ = sinus hyperbolicus φ и т. д.

НТБ ДНУЗТ

3. Гиперболическія функціи такъ же, какъ и круговыя, періодичиы, но періодъ здѣсь мнимый; для функцій sinh и cosh онъ равенъ $2i\pi$, для функцій tgh и ctgh равенъ $i\pi$. Для дѣйствительныхъ значеній перемѣнной φ имѣемъ:

$$\cosh\varphi \geqq 1; \qquad -1 \leqq \operatorname{tgh}\varphi \leqq +1; \qquad \operatorname{ctgh}^2\varphi \geqq 1,$$

тогда какъ $\sinh\varphi$ можетъ имѣть какое угодно (положительное или отрицательное) значеніе.

4. Имѣемъ: $\sinh(-\varphi) = -\sinh\varphi$; $\cosh(-\varphi) = +\cosh\varphi$;
$\operatorname{tgh}(-\varphi) = -\operatorname{tgh}\varphi$; $\operatorname{ctgh}(-\varphi) = -\operatorname{ctgh}\varphi$.

5. Если $\sinh\varphi = u$, то пишутъ:

$$\varphi = \operatorname{Arsinh} u,$$

т. е. $\operatorname{Arsinh} u$ означаетъ такую площадь гиперболы, которой sinh равенъ u. Соотвѣтственныя значенія имѣютъ $\operatorname{Arcosh} u$, $\operatorname{Artgh} u$, $\operatorname{Arctgh} u$ *).

Имѣемъ:

$$\operatorname{Ar}\sinh u = \ln(u + \sqrt{u^2+1}); \qquad \operatorname{Ar}\cosh u = \ln(u + \sqrt{u^2-1});$$

$$\operatorname{Ar}\operatorname{tgh} u = \frac{1}{2}\ln\frac{1+u}{1-u}; \qquad \operatorname{Ar}\operatorname{ctgh} u = \frac{1}{2}\ln\frac{u+1}{u-1}.$$

b. Соотношенія между круговыми и гиперболическими функціями.

$$1.\ \cos x = \frac{e^{ix}+e^{-ix}}{2} = \cosh ix. \qquad 2.\ \sin x = \frac{e^{ix}-e^{-ix}}{2i} = -i\sinh ix.$$

$$3.\ \operatorname{tg} x = -i\frac{e^{ix}-e^{-ix}}{e^{ix}+e^{-ix}} = -i\operatorname{tgh} ix.$$

$$4.\ \operatorname{ctg} x = i\frac{e^{ix}+e^{-ix}}{e^{ix}-e^{-ix}} = i\operatorname{ctgh} ix.$$

$$5.\ \cos ix = \frac{e^{x}+e^{-x}}{2} = \cosh x. \qquad 6.\ \sin ix = i\frac{e^{x}-e^{-x}}{2} = i\sinh x.$$

$$7.\ \operatorname{tg} ix = i\frac{e^{x}-e^{-x}}{e^{x}+e^{-x}} = i\operatorname{tgh} x.$$

$$8.\ \operatorname{ctg} ix = -i\frac{e^{x}+e^{-x}}{e^{x}-e^{-x}} = -i\operatorname{ctgh} x.$$

$$9.\ \operatorname{arc}\cos x = -i\ln[x + i\sqrt{1-x^2}] = -i\operatorname{Ar}\cosh x.$$

$$10.\ \operatorname{arc}\sin x = -i\ln[\sqrt{1-x^2} + ix] = -i\operatorname{Ar}\sinh ix.$$

$$11.\ \operatorname{arc}\ \operatorname{tg} x = \frac{1}{2i}\ln\frac{1+ix}{1-ix} = -i\operatorname{Ar}\operatorname{tgh} ix.$$

$$12.\ \operatorname{arc}\operatorname{ctg} x = \frac{1}{2i}\ln\frac{ix-1}{ix+1} = i\operatorname{Ar}\operatorname{ctgh} ix.$$

---

*) Обозначеніе Ar происходитъ отъ Area = площадь.

НТБ ДНУЗТ

13. $\arccos ic = {}^1/_2\,\pi - i \ln |x + \sqrt{1+x^2}| = \quad i \operatorname{Ar}\cosh ix.$

14. $\arcsin ix = i \ln |x + \sqrt{1+x^2}| = i \operatorname{Ar}\sinh x.$

15. $\operatorname{arc\,tg}\, ix = \frac{i}{2} \ln \frac{1+x}{1-x} = i \operatorname{Ar}\operatorname{tgh} x.$

16. $\operatorname{arc\,ctg}\, ix = \quad \frac{i}{2} \ln \frac{x+1}{x-1} = \quad i \operatorname{Ar}\operatorname{ctgh} x.$

Для формулъ 9 до 16 см. также **e.**, стр. 63.

c. Свойства гиперболическихъ функцій.

Соотношенія, данныя въ III A (стр. 61 и слѣд.) для круговыхъ функцій и ихъ обратныхъ величинъ, имѣютъ также мѣсто и для функцій гиперболическихъ и ихъ обратныхъ величинъ, причемъ ниогда слѣдуетъ мѣнять знакъ. Изъ каждаго соотношенія, даннаго для круговой функціи, можно получить соотвѣтственное значеніе для гиперболической функціи, если въ первую подставить $\alpha = ix$, $\beta = iy$ и воспользоваться уравненіями

$\cos ix = \cosh x$, $\sin ix = i \sinh x$, $\operatorname{tg}\, ix = i \operatorname{tgh} x$, $\operatorname{ctg}\, ix = -i \operatorname{ctgh} x$,

раздѣливъ въ случаѣ надобности обѣ части на $i, i^2 \ldots$

(См. также примѣчанія къ таблицамъ **E.**, стр. 42).

Примѣры:

1. На стр. 62 **b.** 11 имѣемъ: $\sin^2 x - \sin^2 \beta = \sin(\alpha+\beta)\sin(\alpha-\beta)$.
Для $\alpha = ix$, $\beta = iy$ будемъ имѣть $\sin^2 ix - \sin^2 iy = \sin i(x+y)\sin i(x-y)$,
или $i^2 \sinh^2 x - i^2 \sinh^2 y = i \sinh(x+y)\, i \sinh(x-y) = i^2 \sinh(x+y)\sinh(x-y)$;
$$\sinh^2 x - \sinh^2 y = \sinh(x+y)\sinh(x-y).$$

2. Изъ формулы **f.** 1, стр. 59, слѣдуетъ:
$$\sin ix = \frac{ix}{1!} - \frac{(ix)^3}{3!} + \frac{(ix)^5}{5!} - \quad = i\left(\frac{x}{1!} - \frac{i^2 x^3}{3!} + \frac{i^4 x^5}{5!} - \quad\right);$$
$$\text{и слѣд. } \sinh x = \quad {}_{1!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \quad .; -\infty < x < +\infty.$$

IV. ДИФФЕРЕНЦІАЛЬНОЕ И ИНТЕГРАЛЬНОЕ ИСЧИСЛЕНІЕ.

A. Формулы для дифференцированія.

Въ нижеслѣдующихъ формулахъ x, y, z, u могутъ быть какъ перемѣнныя независимыя, такъ и функціи одной и той же перемѣнной (t).

1. $d(a+x) = dx.$
2. $d(ax) = a \quad dx.$
3. $d(x+y+z+u \ \ldots) = dx + dy + dz + du +$

НТБ ДНУЗТ

4. $d(xy) = x \quad dy + y \quad dx.$

5. $d\,(xyzu\ldots.) = \left(\frac{dx}{x} + \frac{dy}{y} + \frac{dz}{z} + \frac{du}{u} + \ldots\right) xyzu.$

6. $d\frac{x}{y} = \frac{y\,dx - x\,dy}{y^2}.$ 7. $d\frac{m+nx}{p+qx} = \frac{np - mq}{(p+qx)^2}dx.$

8. $dx^m = m\,x^{m-1}.\,dx.$ 9. $d\sqrt{x} = \frac{dx}{2\sqrt{x}}.$ 10. $d\frac{1}{x} = -\frac{dx}{x^2}.$

11. $d\,a^x = a^x \ln a.\,dx.$ 12. $de^x = e^x.\,dx.$

13. $d\,x^y = x^{y-1}(x \ln x.\,dy + y.\,dx).$

14. $d \overset{a}{\log} x = \frac{1}{\ln a}.\ \frac{dx}{x}.$ 15. $d \ln x = \frac{dx}{x}.$

16. $d \sin x = \cos x.\,dx.$ 17. $d\frac{1}{\sin x} = -\frac{\cos x.\,dx}{\sin^2 x}.$

18. $d \cos x = -\sin x.\,dx.$ 19. $d\frac{1}{\cos x} = \frac{\sin x.\,dx}{\cos^2 x}.$

20. $d \operatorname{tg} x = \frac{dx}{\cos^2 x}.$ 21. $d \operatorname{ctg} x = -\frac{dx}{\sin^2 x}.$

22. $d \operatorname{arc}\sin x = \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}.$ 23. $d \operatorname{arc}\cos x = -\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}.$

24. $d \operatorname{arc}\operatorname{tg} x = \frac{dx}{1+x^2}.$ 25. $d \operatorname{arc}\operatorname{ctg} x = -\frac{dx}{1+x^2}.$

Вообще:

26. $dF(x, y, z, u\ldots) = \frac{\partial F}{\partial x}dx + \frac{\partial F}{\partial y}dy + \frac{\partial F}{\partial z}dz + \frac{\partial F}{\partial u}du + \ldots$

27. $d^n F(x, y, z, u \quad .) = \frac{\partial^n F}{\partial x^n}dx^n + n\frac{\partial^n F}{\partial x^{n-1}\partial y}\,dx^{n-1}dy +$

или условно $= \left(\frac{\partial F}{\partial x}dx + \frac{\partial F}{\partial y}dy + \frac{\partial F}{\partial z}dz + \ldots\right)^n,$

если, раскрывъ скобки въ послѣднемъ выраженіи, замѣнимъ въ немъ n-ную степень ∂F въ числителѣ n-ою частною производною отъ F.

B. Ряды Тайлора и Маклорена.

1. Рядъ Маклорена.

$$f(x) = f(0) + \frac{x}{1}f'(0) + \frac{x^2}{2!}f''(0) + \frac{x^3}{3!}f'''(0) + \ldots$$
$$+ \frac{x^{n-2}}{(n-2)!}f^{(n-2)}(0) + \frac{x^{n-1}}{(n-1!)}f^{(n-1)}(0) + R_n;$$

НТБ ДНУЗТ

гдѣ $f(0)$, $f'(0)$, $f''(0)$. ., $f^{(n-1)}(0)$ значенія, принимаемыя $f(x)$ и ея производными по x при $x=0$. Остатокъ ряда R_n получается изъ

$$R_n = \frac{x^n}{n!} f^{(n)}(\theta x) \text{ или } R_n = \frac{(1-\theta)^{n-1} x^n}{(n-1)!} f^{(n)}(\theta x),$$

гдѣ θ правильная положительная дробь.

2. Рядъ Тайлора.

$$f(x+h) = f(x) + \frac{h}{1} f'(x) + \frac{h^2}{2!} f''(x) + \frac{h^3}{3!} f'''(x) + \\ + \frac{h^{n-2}}{(n-2)!} f^{(n-2)}(x) + \frac{h^{n-1}}{(n-1)!} f^{(n-1)}(x) + R_n.$$

Дополнительный членъ

$$R_n = \frac{h^n}{n!} f^{(n)}(x+\theta h) \text{ или } R_n = \frac{(1-\theta)^{n-1} h^n}{(n-1)!} f^{(n)}(x+\theta h),$$

гдѣ θ положительная правильная дробь.

3. $f(x+h, y+k) = f(x,y) + \delta f(x,y) + \frac{1}{2!}\delta^2 f(x,y) + \\ + \frac{1}{3!}\delta^3 f(x,y) + \frac{1}{4!}\delta^4 f(x,y) +$, гдѣ:

$$\delta f(x,y) = h \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} + k \frac{\partial f(x,y)}{\partial y},$$

$$\delta^2 f(x,y) = h^2 \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + 2hk \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x \partial y} + k^2 \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2},$$

$$\delta^3 f(x,y) = h^3 \frac{\partial^3 f(x,y)}{\partial x^3} + 3h^2 k \frac{\partial^3 f(x,y)}{\partial x^2 \partial y} + 3hk^2 \frac{\partial^3 f(x,y)}{\partial x \partial y^2} + k^3 \frac{\partial^3 f(x,y)}{\partial y^3}$$

и т. д.

Ряды Маклорена и Тайлора только тогда могутъ быть примѣнены, когда $f(x)$ и всѣ ея производныя въ предѣлахъ отъ 0 до x и соотв. отъ x до $x+h$ конечны и непрерывны.

С. Опредѣленіе величинъ, являющихся въ видѣ неопредѣленностей.

1. $\frac{0}{0}$. Если дробь $\frac{\varphi(x)}{\psi(x)}$ принимаетъ, при $x=a$, видъ $\frac{0}{0}$, истинную ея величину получимъ, если въ $\frac{\varphi'(x)}{\psi'(x)}$ подставить $x=a$, гдѣ $\varphi'(x)$ и $\psi'(x)$ суть производныя $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ по x. Если $\frac{\varphi'(a)}{\psi'(a)}$ представите въ видѣ $\frac{0}{0}$ то истинная величина дроби будетъ $\frac{\varphi''(a)}{\psi''(a)}$ и т. д.

НТБ ДНУЗТ

2. $\frac{\infty}{\infty}$. Поступаютъ такъ случаѣ $\frac{0}{0}$

3. $0 . \infty$. Когда въ $\varphi(x). \psi(x)$, при $x = a$, $\varphi(x) = 0$ и $\psi(x) = \infty$, то, для полученія истинной величины, должно $\frac{1}{\psi(x)} = f(x)$; тогда этотъ случай приводится къ 1.

4. 0^0, 1^{∞}, ∞^0. Если выраженіе $\varphi(x)^{\psi(x)}$, ири $x = a$, принимаетъ одинъ изъ этихъ видовъ, то, положивъ $\varphi(x)^{\psi(x)} = y$, получимъ $\ln y = \psi(x). \ln \varphi(x)$; откуда $y = e^{\psi(x) \ln \varphi(x)}$. Полагая затѣмъ $\ln \varphi(x) = f(x)$, получимъ выраженіе $e^{\psi(x).f(x)}$, въ которомъ истинная величина показателя опредѣляется по 3.

5. $\infty - \infty$. Неопредѣленность $\varphi(x) - \psi(x) = \infty - \infty$, если положить

$$\varphi(x) - \psi(x) = \frac{\frac{1}{\psi(x)} - \frac{1}{\varphi(x)}}{\frac{1}{\varphi(x)\ \psi(x)}} = \frac{\frac{1}{\infty} - \frac{1}{\infty}}{\frac{1}{\infty \cdot \infty}} = \frac{0}{0},$$

приводится къ 1.

D. Maxima и Minima.

1. Функціи одной перемѣнной. Значенія x, обращающія $y = f(x)$ въ max. или min., находятся изъ уравненія:

$$f'(x) = 0,$$

причемъ y Maximum, если $f''(x) < 0$;
y Minimum „ $f''(x) > 0$.

Если же $f''(x) = 0$, то въ случаѣ, если найденныя величины x удовлетворяютъ условію max. или min., $f'''(x)$ тоже должно быть равно пулю и соотвѣтственно $f^{IV}(x) \gtrless 0$.

2. Неявныя функціи $f(x, y) = 0$. Величины, обращающія y въ max. или min., должны удовлетворять уравненіямъ:

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = 0, \quad f(x,y) = 0 \quad \text{и условію} \quad \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \gtrless 0.$$

y Maximum, если $\left[-\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\right] \left[\frac{\partial f}{\partial y}\right] < 0.$

y Minimum, $\left[-\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\right] \left[\frac{\partial f}{\partial y}\right] > 0.$

3. Функціи о двухъ независимыхъ перемѣнныхъ $z = f(x, y.)$ Значенія x и y, удовлетворяющія условіямъ max. и min., опредѣляются по уравненіямъ:

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = 0; \qquad \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = 0,$$

при условіи: $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \left[\frac{\partial^2 f}{\partial x\, \partial y}\right]^2 > 0.$

НТБ ДНУЗТ

причемъ, если $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$ и $\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$ обѣ < 0, получается Maximum

$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$ и $\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$ > 0, Minimum.

4. Относительныя maximum и minimum. Если значенія перемѣнныхъ x, y, z, удовлетворяющія условію max. или min. функціи $v = f(x, y, z)$, должны въ то же время удовлетворять условнымъ уравненіямъ: $\varphi(x, y, z) = 0$ и $\psi(x, y, z) = 0$, то составимъ выраженіе:

$$u = f(x, y, z) + \lambda \varphi(x, y, z) + \mu \psi(x, y z)$$ и положимъ

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &= f'(x) + \lambda \varphi'(x) + \mu \psi'(x) = 0. \\ \frac{\partial u}{\partial y} &= f'(y) + \lambda \varphi'(y) + \mu \psi'(y) = 0. \\ \frac{\partial u}{\partial z} &= f'(z) + \lambda \varphi'(z) + \mu \psi'(z) = 0. \end{aligned}\right\}$$ Здѣсь $f'(x)$ есть частная производная отъ $f(x, y, z)$ по x и т. д.

По условію: $\varphi(x, y, z) = 0.$
$\psi(x, y, z) = 0.$

Изъ этихъ уравненій исключимъ сначала вспомогательныя величины λ и μ, затѣмъ, при помощи послѣднихъ двухъ уравненій, найдемъ величины x, y, z, при которыхъ функція v получаетъ значеніе max. или minimum.

Е. Разложеніе раціональныхъ дробей на частныя дроби.

На частныя дроби могутъ быть разложены только дѣйствительныя раціональныя дроби, общій видъ которыхъ:

$$\frac{f(x)}{F(x)} = \frac{A x^{n-1} + B x^{n-2} + C x^{n-3} + \ldots + P x + Q}{x^n + a x^{n-1} + b x^{n-2} + \quad + p x + q}.$$

Представимъ $F(x)$ въ видѣ произведенія линейныхъ множителей, для чего рѣшимъ уравненіе:

$$F(x) = 0.$$

Если $\alpha, \beta, \gamma, \delta \ldots$ представляютъ n корней послѣдняго, то

$$F(x) = (x - \alpha)(x - \beta)(x \quad \gamma)(x - \delta).$$

Здѣсь могутъ быть три случая.

1. $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ всѣ дѣйствительны и неравны.

$$\frac{f(x)}{F(x)} = \frac{\alpha_1}{x - \alpha} + \frac{\beta_1}{x - \beta} + \quad \gamma + \frac{\delta_1}{x - \delta} +$$

Числители $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \ldots$ опредѣляются по уравненіямъ:

$$\alpha_1 = \frac{f(\alpha)}{F'(\alpha)}, \qquad \beta_1 = \frac{f(\beta)}{F'(\beta)}, \qquad \gamma_1 = \frac{f(\gamma)}{F'(\gamma)}, \qquad \delta_1 = \frac{f(\delta)}{F'(\delta)}$$ и т. д.

НТБ ДНУЗТ

2. Въ числѣ корней имѣются и **равные** корни; пусть α повторяется m разъ и β r разъ, тогда $F(x) = (x-\alpha)^m (x-\beta)^r (x-\gamma)(x-\delta)\ldots$

$$\frac{f(x)}{F(x)} = \frac{\alpha_1}{(x-\alpha)^m} + \frac{\alpha_2}{(x-\alpha)^{m-1}} + \frac{\alpha_3}{(x-\alpha)^{m-2}} + \quad + \frac{\alpha_m}{x-\alpha} +$$

$$+ \frac{\beta_1}{(x-\beta)^r} + \frac{\beta_2}{(x-\beta)^{r-1}} + \quad + \frac{\beta_r}{x-\beta} + \frac{\gamma_1}{x-\gamma} + \frac{\delta_1}{x-\delta} + .$$

α_1, α_2 α_m представляютъ коэффиціенты при различныхъ степеняхъ z частнаго, расположеннаго въ числителѣ и знаменателѣ по возрастающимъ степенямъ z и полученнаго изъ:

$$\frac{f(\alpha+z)}{(\alpha-\beta+z)^r (\alpha-\gamma+z)(\alpha-\delta+z)\ldots} = \alpha_1 + \alpha_2 z + \alpha_3 z^2 + \ldots.$$
$$+ \alpha_m z^{m-1} + \varphi(z) z^m.$$

Также точно β_1, $\beta_2 \ldots \beta_r$ получаются при дѣленіи:

$$\frac{f(\beta+z)}{(\beta-\alpha+z)^m (\beta-\gamma+z)(\beta-\delta+z)\ldots} = \beta_1 + \beta_2 z + \beta_3 z^2 + \ldots.$$
$$+ \beta_r z^{r-1} + \psi(z) z^r$$

γ_1, δ_1, и т. д. получаются по способу, указанному въ **1.**, стр. 73.

3. Корни частью или всѣ **мнимые**, такъ что

$$F(x) = (x-p+qi)(x-p-qi)\Phi(x).$$

Поступаемъ по **1.**:

$$\frac{f(x)}{F(x)} = \frac{\alpha_1}{x-p+qi} + \frac{\alpha_2}{x-p-qi} + \frac{\varphi(x)}{\Phi(x)},$$

гдѣ $\alpha_1 = \frac{f(p-qi)}{F'(p-qi)} = A - iB$; $\alpha_2 = \frac{f(p+qi)}{F'(p+qi)} = A + iB$.

Когда требуются дѣйствительныя (а не мнимыя) рѣшенія, то обѣ мнимыя (сопряженныя) частныя дроби соединяютъ въ одну дѣйствительную, знаменатель которой будетъ второй степени, и тогда:

$$\frac{f(x)}{F(x)} = \frac{2(x-p)\,A - 2qB}{(x-p)^2 + q^2} + \frac{\varphi(x)}{\Phi(x)}.$$

Въ случаѣ равныхъ мнимыхъ корней поступаютъ соотвѣтственно какъ во **2.**

F. Формулы для интегрированія.

a. Основныя правила.

Въ формулахъ 1. до 3. величины u и v—функціи перемѣнной x.

1. $\int a \; du = a \int du = au + C.$

$\int (u+v)\,dx = \int u\,.\,dx + \int v\,.\,dx$ (Способъ разложенія).

НТБ ДНУЗТ

3. $\int u \,.\, dx = uv - \int v \;\; du$ (Интегрированіе по частямъ).

4. $\int f(x)\, dx = \int f[\,\varphi(y)\,]\,\varphi'(y)\; dy$ (Способъ подстановки).

$\frac{\partial}{\partial \alpha}\int f(x,\alpha)\, dx = \int \frac{\partial f(x,\alpha)}{\partial \alpha}\, dy$ (Дифференцированіе подъ знакомъ интеграла).

6. $\int dy \int f(x,y)\, dx = \int dx \int f(x,y)\, dy$ (Перемѣна порядка интегрированій).

7. $\int \int \varphi(x).\, dx.\, dx = \int \varphi(x)\, dx - \int x\, \varphi(x)\, dx.$

b. Раціональныя функціи.

8. $\int x^n . dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C.$ 9. $\int \frac{1}{x^n} dx = -\frac{1}{(n-1)\,x^{n-1}} + C.$

10. $\int (a+bx)^n\, dx = \frac{(a+bx)^{n+1}}{b\,(n+1)} + C.$

11. $\int \frac{1}{x}\, dx = \ln x + C = \ln c\, x.$

12. $\int \frac{dx}{a+bx} = \frac{1}{b}\ln(a+bx) + C = \frac{1}{b}\ln e\,(a+bx).$

13. $\int \frac{1}{x^2} dx = -\frac{1}{x} + C.$ 14. $\int \frac{dx}{(a+bx)^2} = \frac{1}{b(a+bx)} + C.$

15. $\int \frac{dx}{1+x^2} = \operatorname{arc\,tg} x + C = -\operatorname{arc\,ctg} x + C.$

16.*) $\int \frac{dx}{1-x^2} = {}^1/_2 \ln \frac{1+x}{1-x} + C = \operatorname{Ar\,tgh} x + C; \qquad x < 1.$

17.*) $\int \frac{dx}{x^2-1} = {}^1/_2 \ln \frac{x-1}{x+1} + C = -\operatorname{Ar\,ctgh} x + C; \qquad x > 1.$

$$\left.\begin{aligned} 18.\ \int \frac{dx}{a+bx^2} &= \frac{1}{\sqrt{ab}} \operatorname{arc\,tg}\left(\sqrt{\frac{b}{a}}\,x\right) + C. \\ 19.\ \int \frac{dx}{a-bx^2} &= \frac{1}{2\sqrt{ab}} \ln \frac{\sqrt{ab}+bx}{\sqrt{ab}-bx} + C = \\ &= \frac{1}{\sqrt{ab}} \operatorname{Ar\,tgh}\left(\sqrt{\frac{b}{a}}\,x\right) + C. \end{aligned}\right\} \; a > 0,\ b > 0.$$

*) О гиперболическихъ функціяхъ и ихъ обратныхъ величинахъ см. стр. 67 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

20. $$\int \frac{dx}{a+2bx+cx^2} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{ac-b^2}} \operatorname{arctg} \frac{b+cx}{\sqrt{ac-b^2}} + C, \text{ если } ac-b^2>0;$$

$$\left.\begin{aligned} &= \frac{1}{2\sqrt{b^2-ac}} \ln \frac{\sqrt{b^2-ac}-b-cx}{\sqrt{b^2-ac}+b+cx} + C, \\ &= \frac{1}{\sqrt{b^2-ac}} \operatorname{Ar\,tgh} \frac{b+cx}{\sqrt{b^2-ac}} + C, \end{aligned}\right\} \text{ если } b^2-ac>0;$$

$$= -\frac{1}{b+cx} + C, \text{при } b^2=ac.$$

21. $$\int \frac{(\alpha+\beta x)\,dx}{a+2bx+cx^2} = \frac{\beta}{2c}\ln(a+2bx+cx^2) + \frac{\alpha c-\beta b}{c}\int \frac{dx}{a+2bx+cx^2}.$$

22. Если въ $\int \frac{f(x)\,dx}{a+2bx+cx^2}$ числитель $f(x)$ цѣлая функція выше первой степени, то дѣлимъ числителя на знаменателя до тѣхъ поръ, пока получится остатокъ первой степени, и тогда интегрированіе производится по 2.

23. $$\int \frac{dx}{(a+2bx+cx^2)^p} = \frac{1}{2(ac-b^2)(p-1)} \frac{b+cx}{(a+2bx+cx^2)^{p-1}} + \frac{(2p-3)c}{2(ac-b^2)(p-1)}\int \frac{dx}{(a+2bx+cx^2)^{p-1}}$$

24. $$\int \frac{(\alpha+\beta x)\,dx}{(a+2bx+cx^2)^p} = -\frac{\beta}{2c(p-1)} \frac{1}{(a+2bx+cx^2)^{p-1}} + \frac{\alpha c-\beta b}{c}\int \frac{dx}{(a+2bx+cx^2)^p}$$

25. Въ $\int \frac{f(x)}{F(x)}dx = \int \frac{Ax^m+Bx^{m-1}+..+Px+Q}{x^n+ax^{n-1}+..+px+q}\,dx$, при $m>n$, посредствомъ дѣленія по нисходящимъ степенямъ, надо выдѣлить цѣлую функцію, а остающуюся дробную разложить на частныя дроби (см. стр. 73), которыя интегрируются каждая въ отдѣльности.

c. Ирраціональныя функціи.

26. $$\int \sqrt{a+bx}\,.\,dx = \frac{2}{3b}\left(\sqrt{a+bx}\right)^3 + C.$$

27. $$\int \frac{dx}{\sqrt{a+bx}} = \frac{2}{b}\sqrt{a+bx} + C.$$

28. $$\int \frac{(\alpha+\beta x)\,dx}{\sqrt{a+bx}} = \frac{2}{3b^2}(3\alpha b - 2a\beta + \beta bx)\sqrt{a+bx} + C.$$

НТБ ДНУЗТ

29. Интегралъ $\int \frac{dx}{(\alpha+\beta x)\sqrt{a+bx}}$ при подстановкѣ $y=\sqrt{a+bx}$ приводится къ № 18 или 19. (См. также № 30.)

30. $\int \frac{f(x, \sqrt[n]{a+bx})}{\varphi(x, \sqrt[n]{a+bx})}\,dx$. Подставляемъ $\sqrt[n]{a+bx}=y$.

31. $$\int x^{m-1}(a+bx)^n\,dx = \frac{x^{m-1}(a+bx)^{n+1}}{(m+n)b} - \frac{(m-1)a}{(m+n)b}\int x^{m-2}(a+bx)^n\,dx = \frac{x^m(a+bx)^n}{m+n} + \frac{na}{m+n}\int x^{m-1}(a+bx)^{n-1}\,dx.$$

32. $$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2-x^2}} = \arcsin\frac{x}{a} + C = -\arccos\frac{x}{a} + C = 2\operatorname{arc\,tg}\sqrt{\frac{a+x}{a-x}} + C.$$

33 *). $$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2+x^2}} = \ln\left[x+\sqrt{a^2+x^2}\right]+C = {}^1/_2 \ln\left[\frac{x+\sqrt{a^2+x^2}}{-x+\sqrt{a^2+x^2}}\right]+C = \operatorname{Ar\,sinh}\frac{x}{a}+C.$$

34 *). $$\int \frac{dx}{\sqrt{a+2bx+cx^2}} = \frac{1}{\sqrt{c}}\ln\left[b+cx+\sqrt{c}\sqrt{a+2bx+cx^2}\right]+C;\ c>0;$$
$$= \frac{1}{\sqrt{c}}\operatorname{Ar\,sinh}\frac{b+cx}{\sqrt{ac-b^2}}+C, \text{ если } ac-b^2>0;$$
$$= \frac{1}{\sqrt{c}}\operatorname{Ar\,cosh}\frac{b+cx}{\sqrt{b^2-ac}}+C, \text{ если } b^2-ac>0;$$
$$= \frac{-1}{\sqrt{-c}}\arcsin\frac{b+cx}{\sqrt{b^2-ac}}+C; \quad \text{если } c<0.$$

35. $$\int \frac{(\alpha+\beta x)\,dx}{\sqrt{a+2bx+cx^2}} = \frac{\beta}{c}\sqrt{a+2bx+cx^2} + \frac{\alpha c-\beta b}{c}\int \frac{dx}{\sqrt{a+2bx+cx^2}} + C.$$

36. $$\int \frac{x^m\,dx}{\sqrt{a+2bx+cx^2}} = \frac{x^{m-1}X}{mc} - \frac{(m-1)a}{mc}\int \frac{x^{m-2}\,dx}{X} - \frac{(2m-1)b}{mc}\int \frac{x^{m-1}\,dx}{X}, \quad \text{гдѣ } X=\sqrt{a+2bx+cx^2}.$$

*) О гиперболическихъ функціяхъ и ихъ обратныхъ величинахъ см. стр. 67 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

37 *). $$\int \sqrt{a^2+x^2}.\,dx = \frac{x}{2}\sqrt{a^2+x^2} + \frac{a^2}{2}\ln\left(x+\sqrt{a^2+x^2}\right) + C.$$

$$= \frac{x}{2}\sqrt{a^2+x^2} + \frac{a^2}{2}\operatorname{Ar\,sinh}\frac{x}{a} + C.$$

38. $$\int \sqrt{a^2-x^2}.\,dx = \frac{x}{2}\sqrt{a^2-x^2} + \frac{a^2}{2}\arcsin\frac{x}{a} + C.$$

39. *) $$\int \sqrt{x^2-a^2}.\,dx = \frac{x}{2}\sqrt{x^2-a^2} - \frac{a^2}{2}\ln\left(x+\sqrt{x^2-a^2}\right) + C.$$

$$= \frac{x}{2}\sqrt{x^2-a^2} - \frac{a^2}{2}\operatorname{Arcosh}\frac{x}{a} + C.$$

40. $$\int \sqrt{a+2bx+cx^2}.\,dx = \frac{b+cx}{2c}\sqrt{a+2bx+cx^2}$$

$$+ \frac{ac-b^2}{2c}\int \frac{dx}{\sqrt{a+2bx+cx^2}} + C.$$

41. Интегралъ $\int \frac{dx}{(x-a)^p X}$ при подстановкѣ $\frac{1}{x-a} = y$ приводится къ форм. 36.

42. Чтобы найти интегралъ $\int \frac{A+Bx}{\alpha+2\beta x+\gamma x^2}\,\frac{dx}{X}$,

положимъ $x = \frac{py+q}{y+1}$; p и q опредѣляются по уравненіямъ:

$$\gamma p q + \beta(p+q) + \alpha = 0,$$
$$c p q + b(p+q) + a = 0.$$

Положивъ затѣмъ $y^2 = z$, мы данный интегралъ разобьемъ на два:

$$\int \frac{dz}{(\alpha_1+\gamma_1 z)\sqrt{a_1+c_1 z}} \text{ и } \int \frac{dz}{(\alpha_2+\gamma_2 z)\sqrt{a_1 z+c_1 z^2}},$$

которые найдутся по формуламъ 29 и 41.

43. Чтобы найти $\int \frac{f(x)\,dx}{F(x)\,X}$, разложимъ $\frac{f(x)}{F(x)}$ на частныя дроби, (выдѣливъ въ случаѣ надобности цѣлую функцію) и интегрированіе производимъ по формулѣ 41; а если имѣются мнимыя дроби, то, соединивъ ихъ, интегрированіе производимъ по форм. 42.

44. $$\int \frac{(\alpha+\beta x)\,dx}{X^3} = \frac{(a\beta-b\alpha)+(b\beta-c\alpha)x}{(b^2-ac)\sqrt{a+2bx+cx^2}} + C.$$

---

*) О гиперболическихъ функціяхъ и ихъ обратныхъ величинахъ см. стр. 67 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

d. Трансцендентныя функціи.

45. $\int e^x . dx = e^x + C.$ 46. $\int a^x \quad dx = \frac{a^x}{\ln a} + C.$

47. $\int x^n e^{ax} . dx = \frac{x^n e^{ax}}{a}\left[1 - \frac{n}{ax} + \frac{n(n-1)}{a^2x^2} - \ldots \pm \frac{n!}{a^n x^n}\right] + C.$

48. $\int \ln x . dx = x \ln x - x + C.$

49. $\int \frac{(\ln x)^n}{x} dx = \frac{1}{n+1}(\ln x)^{n+1} C.$

---

50. $\int \sin x . dx = -\cos x + C.$ 51. $\int \cos x . dx = \sin x + C.$

52. $\int \sin^2 x . dx = -{}^1/_4 \sin 2x + {}^1/_2 x + C.$

53. $\int \cos^2 x . dx = {}^1/_4 \sin 2x + {}^1/_2 x + C.$

54. $\int \sin mx . dx = -\frac{\cos mx}{m} + C.$

55. $\int \cos mx . dx = \frac{\sin mx}{m} + C.$

56. $\int \sin mx \cos nx . dx = -\frac{\cos(m+n)x}{2(m+n)} - \frac{\cos(m-n)x}{2(m-n)} + C.$

57. $\int \sin mx \sin nx . dx = \frac{\sin(m-n)x}{2(m-n)} - \frac{\sin(m+n)x}{2(m+n)} + C.$

58. $\int \cos mx \cos nx . dx = \frac{\sin(m-n)x}{2(m-n)} + \frac{\sin(m+n)x}{2(m+n)} + C.$

59. $\int \operatorname{tg} x . dx = -\ln \cos x + C.$ 60. $\int \operatorname{ctg} x . dx = \ln \sin x + C.$

61. $\int \frac{dx}{\sin x} = \ln \operatorname{tg} \frac{x}{2} + C.$ 62. $\int \frac{dx}{\cos x} = \ln \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{x}{2}\right) + C.$

63. $\int \frac{dx}{1+\cos x} = \operatorname{tg} \frac{x}{2} + C.$ 64. $\int \frac{dx}{1-\cos x} = -\operatorname{ctg} \frac{x}{2} + C.$

65. $\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x + C.$ 66. $\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x + C.$

67. $\int \sin x \cos x . dx = {}^1/_2 \sin^2 x + C.$

68. $\int \frac{dx}{\sin x \cos x} = \ln \operatorname{tg} x + C.$

НТБ ДНУЗТ

69 *). $\int \sin^n x \,.\, dx = -\frac{\cos x \sin^{n-1} x}{n} + \frac{n-1}{n}\int \sin^{n-2} x \,.\, dx.$

70 *). $\int \cos^n x \,.\, dx = \frac{\sin x \cos^{n-1} x}{n} + \frac{n-1}{n}\int \cos^{n-2} x \,.\, dx.$

71. $\int \operatorname{tg}^n x \,.\, dx = \frac{\operatorname{tg}^{n-1} x}{n-1} - \int \operatorname{tg}^{n-2} x \,.\, dx.$

72. $\int \operatorname{ctg}^n x \,.\, dx = -\frac{\operatorname{ctg}^{n-1} x}{n-1} \int \operatorname{ctg}^{n-2} x \,.\, dx.$

73. $\int \frac{dx}{\sin^n x} = -\frac{\cos x}{(n-1)\sin^{n-1} x} + \frac{n-2}{n-1}\int \frac{dx}{\sin^{n-2} x}.$

74. $\int \frac{dx}{\cos^n x} = \frac{\sin x}{(n-1)\cos^{n-1} x} + \frac{n-2}{n-1}\int \frac{dx}{\cos^{n-2} x}.$

75 **). $\int \sin^p x \cos^q x \,.\, dx = \frac{\sin^{p+1} x \cos^{q-1} x}{p+q} + \frac{q-1}{p+q}\int \sin^p x \cos^{q-2} x \,.\, dx$

$$= -\frac{\sin^{p-1} x \cos^{q+1} x}{p+q} + \frac{p-1}{p+q}\int \sin^{p-2} x \cos^q x \,.\, dx.$$

76 **) $\int \sin^{-p} x \cos^q x \,.\, dx = -\frac{\sin^{-p+1} x \cos^{q+1} x}{p-1} + \frac{p-q-2}{p-1}\int \sin^{-p+2} x \cos^q x \,.\, dx.$

77 **) $\int \sin^p x \cos^{-q} x \,.\, dx = \frac{\sin^{p+1} x \cos^{-q+1} x}{q-1} + \frac{q-p-2}{q-1}\int \sin^p x \cos^{-q+2} x \,.\, dx.$

78. $\int \frac{dx}{a + b\cos x} = \frac{2}{\sqrt{a^2-b^2}} \operatorname{arc\,tg}\left(\sqrt{\frac{a-b}{a+b}} \operatorname{tg} {}^1\!/_2\, x\right) + C,$ при $a^2 > b^2;$

$$= \frac{1}{\sqrt{b^2-a^2}} \ln \frac{b + a\cos x + \sin x \sqrt{b^2-a^2}}{a + b\cos x} + C,$$

$$= \frac{2}{\sqrt{b^2-a^2}} \operatorname{Ar\,tgh}\left(\sqrt{\frac{b-a}{b+a}} \operatorname{tg} {}^1\!/_2\, x\right) + C,$$

} при $a^2 < b^2.$

79. $\int \frac{\cos x \,.\, dx}{a + b\cos x} = \frac{x}{b} \quad \frac{a}{b}\int \frac{dx}{a + b\cos x} + C.$

80. $\int \frac{\sin x \,.\, dx}{a + b\cos x} = -\frac{1}{b} \ln (a + b\cos x) + C.$

81. $\int \frac{A + B\cos x + C\sin x}{a + b\cos x + c\sin x}\, dx = A\int \frac{d\varphi}{a + p\cos\varphi} +$

---

*) Если въ интегралѣ № 69 и 70 n—нечетное число, то вмѣсто данной формулы можно примѣнять подстановку $\cos x = z$ соотв. $\sin x = z$. Интегрированіе также можетъ быть произведено съ помощью формулъ 1 и 2, стр. 69 и №№ 54 и 55, стр. 79.

**) Если p или q—нечетныя числа, то легче найти интегралъ, подставляя $\cos x = z$ и соотв. $\sin x = z$.

НТБ ДНУЗТ

$$+(B\cos\alpha+C\sin\alpha)\int\frac{\cos\varphi\,.\,d\varphi}{a+p\cos\varphi}-(B\sin\alpha-C\cos\alpha)\int\frac{\sin\varphi\,.\,d\varphi}{a+p\cos\varphi},$$

если положить $b=p\cos\alpha$, $c=p\sin\alpha$ и $x-\alpha=\varphi$.

82. $$\int e^{ax}\sin bx\,.\,dx=\frac{a\sin bx-b\cos bx}{a^2+b^2}e^{ax}+C.$$

83. $$\int e^{ax}\cos bx\,.\,dx=\frac{a\cos bx+b\sin bx}{a^2+b^2}e^{ax}+C.$$

84. $$\int \operatorname{arc\,sin}x\,.\,dx=x\operatorname{arc\,sin}x+\sqrt{1-x^2}+C.$$

85. $$\int \operatorname{arc\,cos}x\;\;dx=x\operatorname{arc\,cos}x-\sqrt{1-x^2}+C.$$

86. $$\int \operatorname{arc\ tg}x\,.\,dx=x\operatorname{arc\,tg}x-{}^1/_2\ln(1+x^2)+C.$$

87. $$\int \operatorname{arc\,ctg}x\,.\,dx=x\operatorname{arc\,ctg}x+{}^1/_2\ln(1+x^2)+C.$$

88. Интегрированіе раціональныхъ выраженій **гиперболическихъ функцій** $\sinh x$, $\cosh x$, $\operatorname{tgh}x$, $\operatorname{ctgh}x$ (и ихъ обратныхъ величинъ) производится посредствомъ соотвѣтственныхъ формулъ для круговыхъ функцій (и ихъ обратныхъ величинъ), если подставлять $x=iy$ и пользоваться соотношеніями:

$\cos ix=\cosh x$, $\sin ix=i\sinh x$, $\operatorname{tg}ix=i\operatorname{tgh}x$, $\operatorname{cotg}ix=-i\operatorname{cotgh}x$.

e. Интегрированіе посредствомъ разложенія въ ряды.

Если въ $\int f(x)\,dx$ можно $f(x)$ разложить рядъ, который сходится въ заданныхъ для предѣлахъ, то послѣ интегрированія всѣхъ членовъ ряда получимъ интегральный рядъ, который для тѣхъ же предѣловъ x будетъ также сходящійся.

Изъ Маклоренова ряда (см. стр. 70) слѣдуетъ:

89. $$\int f(x)\,dx=f(0)\,x+f'(0)\,\frac{x^2}{2}+\frac{f''(0)}{2!}\,\frac{x^3}{3}+\frac{f'''(0)}{3!}\,\frac{x^4}{4}+$$

90. $$\int_0^x\frac{dx}{\ln x}=0{,}577\,215\,664\,9\ldots+\ln(-\ln x)+\ln x+{}^1/_2\,\frac{(\ln x)^2}{2!}+{}^1/_3\,\frac{(\ln x)^3}{3!}+\ldots;\ 0<x<1.$$

91. $\int_0^x\frac{e^x\,.\,dx}{x}$ сводится при подстановкѣ $e^x=z$ къ № 90.

НТБ ДНУЗТ

f. Опредѣленные интегралы.

92. $\int_a^b = -\int_b^a$; $\int_a^c = \int_a^b + \int_b^c$; $\int_a^c - \int_a^b = \int_b^c$

93. $$\int_0^\infty \frac{dx}{a+bx^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{ab}}.$$

94. $$\int_0^\infty \frac{dx}{a+bx^2} = \int_{\sqrt{\frac{a}{b}}}^\infty \frac{dx}{a+bx^2} = \frac{\pi}{4\sqrt{ab}}$$

95. $$\int_0^{\sqrt{\frac{a}{b}}} \frac{dx}{\sqrt{a-bx^2}} = \frac{\pi}{2\sqrt{b}}.$$

96. $$\int_0^\infty \frac{\sin bx}{x}\,dx = \frac{\pi}{2};\ b>0.$$

97. $$\int_0^\infty \frac{\cos bx}{x}\,dx = \infty.$$

98. $$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{2n+1}x\,.\,dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^{2n+1}x\,.\,dx = \frac{2.4.6\ldots 2n}{3.5.7\ldots(2n+1)}$$

99. $$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{2n}x\,.\,dx + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^{2n}x\,.\,dx = \frac{1.3.5\ldots(2n-1)}{2.4.6\ldots\ldots 2n}\ \frac{\pi}{2}$$

} n цѣлое положительное число.

100. $$\int_0^\infty e^{-x}\,.\,dx = 1.$$

101. $$\int_0^\infty e^{-x^2}\,.\,dx = {}^1/_2\sqrt{\pi}.$$

102. $$\int_0^\infty x^n e^{-ax}\,.\,dx = \frac{n!}{a^{n+1}}$$ (a положительное, n цѣлое положительное число).

103. $$\int_0^\infty \frac{x^{n-1}\,.\,dx}{x+1} = \frac{\pi}{\sin n\pi};\quad 0<n<1.$$

g. Приблизительное вычисленіе опредѣленныхъ интеграловъ.

Данъ $\int_a^b f(x)\,dx.$

НТБ ДНУЗТ

Дѣлимъ $b-a$ на n равныхъ частей, $\frac{b-a}{n}=h$, и вычисляемъ величину $f(x)=y_0, y_1, y_2$ для различныхъ значеній $x=a$, $x=a+h$, $x=a+2h$.

Тогда имѣемъ:

104. $$\int_a^b f(x)\,dx = h\,[{}^1/_2\,y_0 + y_1 + y_2 + \quad + y_{n-1} + {}^1/_2\,y_n]$$
$$- \frac{B_1 h^2}{2!}[f'(b)-f'(a)] + \frac{B_2 h^4}{4!}[f'''(b)-f'''(a)] - \ldots.,$$

гдѣ B_1, B_2. такъ наз. Бернулліевы числа. Ихъ значенія:

$$B_1=\frac{1}{6};\quad B_2=\frac{1}{30};\quad B_3=\frac{1}{42};\quad B_4=\frac{1}{30};\quad B_5=\frac{5}{66};\quad B_6=\frac{691}{2730}\text{ и т. д.}$$

105. $$\int_a^b f(x)\,dx = h\,[{}^1/_2\,y_0 + y_1 + y_2 + \ldots. + y_{n-1} + {}^1/_2\,y_n]$$
$$- \frac{1}{12}h^2\,[f'(b)-f'(a)] + \frac{1}{384}\varrho\,\frac{(b-a)^5}{n^4}\,M.$$

Послѣдній членъ служитъ для опредѣленія величины ошибки, причемъ ϱ — правильная дробь $(0<\varrho<1)$ и M — наибольшая абсолютная величина, которую можетъ имѣть $f^{IV}(x)$ въ предѣлахъ $x=a$ и $x=b$.

106. **Правило Симпсона.** $$\int_a^b f(x)\,dx = \frac{h}{3}(y_0 + 4\,y_1 + 2\,y_2 + 4\,y_3 +$$
$$+ 2\,y_4 + \quad + 4\,y_{n-1} + y_n] - \frac{5}{288}\varrho\,\frac{(b-a)^5}{n^4}\,M.$$

n должно быть четное число; ϱ и M см. въ 105. Формула 105 точнѣе формулы 106.

G. Дифференціальныя уравненія.

a. Дифференціальныя уравненія перваго порядка.

1. $$f(x)\,dx + \varphi(y)\,dy = 0.$$

Рѣшеніе: $$\int f(x)\,dx + \int \varphi(y)\,dy = C.$$

2. Раздѣленіе перемѣнныхъ:
$$f(x)\,\varphi(y)\,dx + F(x)\,\psi(y)\,dy = 0.$$

Рѣшеніе: $$\int \frac{f(x)}{F(x)}\,dx + \int \frac{\psi(y)}{\varphi(y)}\,dy = C.$$

3. $$f(x,y)\,dx + \varphi(x,y)\,dy = 0.$$

НТБ ДНУЗТ

Если соблюдено условіе интегрируемости:

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = \frac{\partial \varphi(x,y)}{\partial x},$$ то рѣшеніе уравненія:

$$\int f(x,y)\,dx + \int \left[\varphi(x,y) - \int \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\,dx \right] dy = C,$$

или: $$\int \varphi(x,y)\,dy + \int \left[f(x,y) - \int \frac{\partial \varphi(x,y)}{\partial x}\,dy \right] dx = C.$$

4. Если вышеупомянутое условіе интегрируемости не соблюдено, то оно можетъ быть достигнуто умноженіемъ уравненія на величину M, такъ наз. **интегрирующій множитель**, который долженъ удовлетворять слѣдующему дифференціальному уравненію съ частными производными:

$$f(x,y)\frac{\partial M}{\partial y} - \varphi(x,y)\frac{\partial M}{\partial x} = M\left(\frac{\partial \varphi(x,y)}{\partial x} - \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)$$

Въ нѣкоторыхъ случанхъ M можетъ быть опредѣлено изъ уравн.:

$$\frac{dy}{f(x,y)} = -\frac{dx}{\varphi(x,y)} = \frac{dM}{M\left[\frac{\partial \varphi(x,y)}{\partial x} \quad \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right]}$$

5. Если рѣшеніе уравненія относительно $\frac{dy}{dx}$ дастъ

$$\frac{dy}{dx} = f\left(\frac{y}{x}\right),$$

то дифференціальное уравненіе назыв. **однороднымъ**. Его можно рѣшить, положивъ:

$$\frac{y}{x} = t \text{ или } y = xt, \qquad dy = x\ dt + t\,.\,dx.$$

Рѣшеніе: $$\ln x = \int \frac{dt}{f(t) - t} + C.$$

6. Дифференціальное уравненіе вида:

$$f_1(x)\frac{dy}{dx} + f(x)y + \varphi(x) = 0 \text{ наз. } \textbf{линейнымъ}.$$

Положивъ $y = ux$, гдѣ u и v функціи отъ x, имѣемъ:

$$\frac{dy}{dx} = u\frac{dv}{dx} + v\frac{du}{dx}.$$

Подставивъ оба значенія въ рѣшаемое уравненіе, получимъ:

$$f_1(x)\left(u\frac{dv}{dx} + v\frac{du}{dx}\right) + f(x)uv + \varphi(x) = 0.$$

u опредѣляется изъ уравненія:

$$f_1(x)\frac{du}{dx} + f(x)u = 0, \text{ и тогда } \ln\frac{u}{c} = -\int \frac{f(x)}{f_1(x)}dx, \text{ или } u = c\,e^{-\int \frac{f(x)}{f_1(x)}dx}.$$

НТБ ДНУЗТ

Изъ вышеприведеннаго уравненія имѣемъ для опредѣленія v ур.

$$f_1(x)\,u\,\frac{dv}{dx}+\varphi(x)=0,$$

откуда $v=-\int\frac{\varphi(x)}{u\,f_1(x)}\,dx+C_1=-\int\frac{\varphi(x)}{c\,f_1(x)}\,e^{\int\frac{f(x)}{f_1(x)}dx}\,dx+C_1.$

Окончательное рѣшеніе уравненія:

$$y=uv=e^{\int\frac{f(x)}{f_1(x)}dx}\left[\int\frac{\varphi(x)}{f_1(x)}e^{\int\frac{f(x)}{f_1(x)}dx}\,dx+C\right]$$

7. Способъ **повтореннаго дифференцированія**:

$$y=F\left(x,\frac{dy}{dx}\right)$$

Положивъ $\frac{dy}{dx}=z$ и дифференцируя по x, имѣемъ:

$$z=\frac{\partial F}{\partial x}+\left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)\frac{dz}{dx},$$

т. е. разобранный выше случай 6. Выраженіе, найденное для z, слѣдуетъ подставить въ $y=F(x,z)$.

b. Дифференціальныя уравненія второго порядка.

1. $\frac{d^2y}{dx^2}=f(x).$

Рѣшенія: 1) $y=\int dx\int f(x)\,dx+Cx+C_1.$

2) $y=x\int f(x)\,dx-\int x\,f(x)\,dx+Cx+C_1.$

2. $\frac{d^2y}{dx^2}=f(y).$

Рѣшеніе: $x=\int\frac{dy}{\sqrt{C+2\int f(y)\,dy}}+C_1.$

Общій случай: $F\left(\frac{d^2y}{dx^2},y\right)=0.$

Надо подставить $\frac{dy}{dx}=z$, $\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{dz}{dx}$ и исключить dx изъ двухъ уравненій: $F\left(\frac{dz}{dx},y\right)=0$ и $\frac{dy}{dx}=z$. Рѣшеніе даннаго уравненія получается интегрированіемъ ур.: $F\left(\frac{z.dz}{dy},y\right)=0$, посредствомъ раздѣленія перемѣнныхъ.

НТБ ДНУЗТ

3. $\frac{d^2y}{dx^2} = f\left(\frac{dy}{dx}\right)$. Подставляя $\frac{dy}{dx} = z, \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{dz}{dx}$, получимъ два уравненія: $x = \int \frac{dz}{f(z)} + C$; $y = \int \frac{z \cdot dz}{f(z)} + C_1$, изъ которыхъ посредствомъ исключенія z получимъ рѣшеніе даннаго уравненія.

4. $\frac{d^2y}{dx^2} = f\left(\frac{dy}{dx}, x\right)$. Подставляя $\frac{dy}{dx} = z$, пробуемъ рѣшить дифференціальное уравн. перваго порядка $\frac{dz}{dx} = f(z, x)$. Если найдемъ $z = \varphi(x)$, тогда останется только интегрировать уравненіе:

$$dy = \varphi(x)\,dx.$$

$\frac{d^2y}{dx^2} = f\left(\frac{dy}{dx}, y\right)$. Приведя данное уравненіе къ уравненію перваго порядка посредствомъ подстановки: $\frac{dy}{dx} = z, \frac{d^2y}{dx^2} = z\frac{dz}{dy}$, получимъ уравненіе перваго порядка: $z\frac{dz}{dy} = f(y, z)$, изъ котораго найдемъ $z = \varphi(y)$ и, наконецъ, рѣшеніе даннаго уравненія:

$$x = \int \frac{dy}{\varphi(y)} + C.$$

c. Линейныя дифференціальныя уравненія n-го порядка съ постоянными коэффиціентами.

α) Безъ второй части.

1. $$a\frac{d^ny}{dx^n} + a_1\frac{d^{n-1}y}{dx^{n-1}} + \ldots\ldots + a_{n-1}\frac{dy}{dx} + a_ny = 0.$$

Рѣшеніе: $y = C_1e^{w_1x} + C_2e^{w_2x} + \ldots. + C_ne^{w_nx}$.

Величины $w_1, w_2 \ldots. w_n$ представляютъ корни уравненія:

$$aw^n + a_1w^{n-1} + \qquad + a_n = 0.$$

2. Если между этими корнями находятся и мнимые, напр. $w_3 = p + qi$, то долженъ также быть корень $w_4 = p - qi$. Тогда рѣшеніе дифференціальнаго уравненія:

$$y = C_1e^{w_1x} + C_2e^{w_2x} + e^{px}[C_3\cos qx + C_4\sin qx] + C_5e^{w_5x} + \\ + \ldots + C_ne^{w_nx}$$

3. Если нѣкоторые изъ корней равны между собою, напр., $w_1 = w_2 = w_3 = w_p$, то рѣшеніе уравненія:

$$y = e^{w_1x}[C_1 + C_2x + C_3x^2 + \qquad + C_px^{p-1}] + \\ + C_{p+1}e^{w_{p+1}x} + \qquad + C_ne^{w_nx}.$$

НТБ ДНУЗТ

β) Со второю частью.

$$a\frac{d^n y}{dx^n} + a_1\frac{d^{n-1}y}{dx^{n-1}} + \quad + a_{n-1}\frac{dy}{dx} + a_n y = f(x).$$

Рѣшеніе: $y = z_1 e^{w_1 x} + z_2 e^{w_2 x} + \ldots + z_n e^{w_n x}$.
w_1 w_2 w_n опредѣляются по α), а z_1, z_2 z_n опредѣляются изъ уравненій:

$$e^{w_1 x}\frac{dz_1}{dx} + e^{w_2 x}\frac{dz_2}{dx} + e\frac{w_3 x\, dz_3}{dx} + \quad + e^{w_n x}\frac{dz_n}{dx} = 0;$$

$$w_1 e^{w_1 x}\frac{dz_1}{dx} + w_2 e^{w_2 x}\frac{dz_2}{dx} + w_3 e^{w_3 x}\frac{dz_3}{dx} + \quad + w_n e^{w_n x}\frac{dz_n}{dx} = 0;$$

$$w_1^2 e^{w_1 x}\frac{dz_1}{dx} + w_2^2 e^{w_2 x}\frac{dz_2}{dx} + w_3^2 e^{w_3 x}\frac{dz_3}{dx} + \quad + w_n^2 e^{w_n x}\frac{dz_n}{dx} = 0,$$

$$w_1^{n-1} e^{w_1 x}\frac{dz_1}{dx} + w_2^{n-1} e^{w_2 x}\frac{dz_2}{dx} + w^{3n-1} e^{w_3 x}\frac{dz_3}{dx} +$$

$$+ w_n^{n-1} e^{w_n x}\frac{dz_n}{dx} = f(x).$$

Если $f(x)$ цѣлая раціональная функція n-го порядка, то y имѣетъ видъ:

$$y = C_1 e^{w_1 x} + C_2 e^{w_2 x} + \quad + C_n e^{w_n x} + F(x),$$

гдѣ $F(x)$ представляетъ цѣлую раціональную функцію n-го порядка, коэффиціенты которой опредѣляются по способу неопредѣленныхъ коэффиціентовъ.

γ) Вторая часть—постоянная.

$$a\frac{d^n y}{dx^n} + a_1\frac{d^{n-1}y}{dx^{n-1}} + \quad + a_{n-1}\frac{dy}{dx} + a_n y = \mu = \text{постоян.}$$

Рѣшеніе (см. 1, стр. 86): $y = \Sigma(Ce^{wx}) + \frac{\mu}{a_n}$.

V. ТЕОРІЯ ВѢРОЯТНОСТЕЙ И ТЕОРІЯ ОШИБОКЪ ПРИ НАБЛЮДЕНІЯХЪ.

a. Теорія вѣроятностей.

1. Подъ **абсолютной вѣроятностью** w даннаго случая (явленія) разумѣютъ отношеніе числа случаевъ a, благопріятствующихъ явленію, къ числу n всѣхъ возможныхъ случаевъ: $w = \frac{a}{n}$

НТБ ДНУЗТ

$w = 0$ выражаетъ невозможность даннаго случая, $w = 1$ выражаетъ, что данный случай или явленіе достовѣрны.

2. Если w_1, w_2, w_3. представляютъ вѣроятности нѣкоторыхъ явленій, то вѣроятность w того, что всѣ явленія будутъ имѣть мѣсто одновременно, или въ заранѣе опредѣленномъ порядкѣ, равна:

$$w = w_1, w_2, w_3.$$

3. Вѣроятность w того, что изъ нѣсколькихъ однородныхъ явленій, абсолютныя вѣроятности которыхъ w_1, w_2, w_3. ., будетъ имѣть мѣсто какое-нибудь одно, равна:

$$w = w_1 + w_2 + w_3.$$

4. **Относительными вѣроятностями** двухъ явленій наз. тѣ вѣроятности, которыя получатся, если допустить, что въ числѣ всѣхъ возможныхъ случаевъ ни одинъ изъ случаевъ, благопріятствующихъ какому бы то ни было изъ этихъ явленій, не имѣетъ мѣста. Если абсолютныя вѣроятности этихъ явленій w_1 и w_2, то относительныя ихъ вѣроятности будутъ:

$$\frac{w_1}{w_1 + w_2} \text{ и } \frac{w_2}{w_1 + w_2}.$$

5. Вѣроятность того, что изъ двухъ явленій A и B, вѣроятности которыхъ w_1 и w_2, A будетъ имѣть мѣсто m разъ, а $B - n$ разъ, въ опредѣленномъ порядкѣ, равна,

$$w = w_1^m w_2^n.$$

Если же порядокъ произвольный, то

$$w = \frac{(m+n)!}{m!\, n!} w_1^m w_2^n.$$

b. Теорія ошибокъ при наблюденіяхъ.

Каждое наблюденіе сопровождается случайными ошибками. На каждую ошибку можно смотрѣть, какъ на сумму безконечно большого числа элементарныхъ ошибокъ, которыя могутъ быть какъ положительными, такъ и отрицательными.

Въ этомъ предположеніи находимъ, что вѣроятность ω появленія ошибки въ предѣлахъ Δ и $\Delta + d\Delta$ выражается въ функціи слѣдующимъ образомъ:

$$\omega = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 \Delta^2} . d\Delta,$$

а вѣроятность W появленія ошибки, находящейся въ предѣлахъ Δ_1 и Δ_2, будетъ:

$$W = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{\Delta_1}^{\Delta_2} e^{-h^2 \Delta^2} \, d\Delta,$$

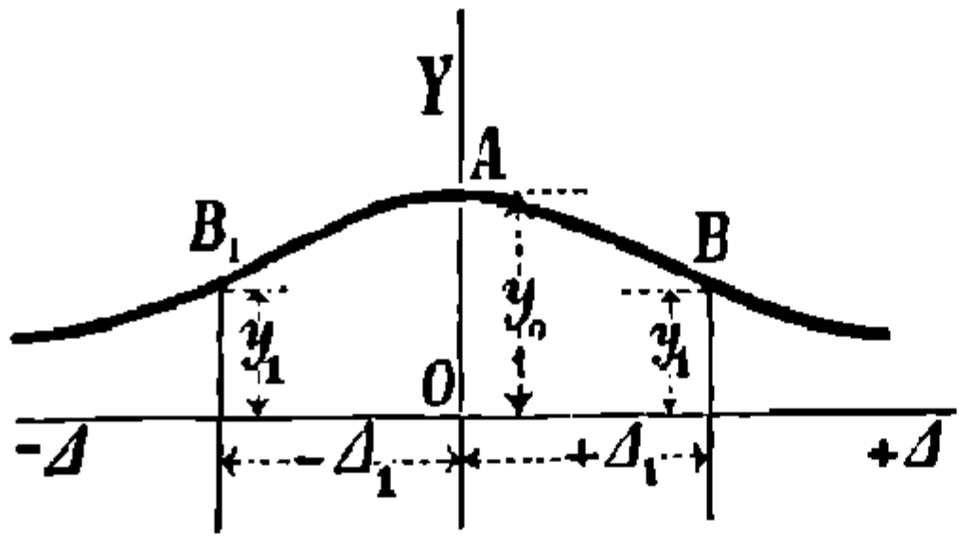
гдѣ постоянная h есть множитель, который присоединяется къ результату каждаго отдѣльнаго наблюденія, для выраженія степени

НТБ ДНУЗТ

его точности, и слѣд. увеличивается съ увеличеніемъ степени точности, почему и назыв. **коэффиціентомъ точности**. Если положить $y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 \Delta^2}$ и принять Δ за абсциссы, а y за ординаты въ прямоугольной системѣ координатъ, то послѣднее уравненіе представитъ намъ такъ наз. **кривую вѣроятности** (черт. 7); ω — элементъ площади этой кривой, W — часть площади кривой, находящаяся между абсциссами Δ_1 и Δ_2. Площадь всей кривой (отъ $\Delta = -\infty$ до $+\infty$) равна 1. Для $\Delta = 0$ величина

$$y_0 = \frac{h}{\sqrt{\pi}} = 0{,}5642\,h = y_{\max.}$$

Черт. 7.



Кривая имѣетъ двѣ вѣтви, симметрично расположенныя относительно оси y; ось Δ (абсциссъ) представляетъ асимптоту этой кривой

$$\text{Для абциссы } \pm\Delta_1 = \frac{1}{h\sqrt{2}} = \frac{0{,}707\,107}{h}\sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m}},$$

гдѣ m — число ошибокъ, и соотвѣтствующей ординаты,

$y = 0{,}606\,53\,\frac{h}{\sqrt{\pi}} = 0{,}\,342\,198\,h$ кривая имѣетъ по одной точкѣ перегиба (B и B_1).

Вѣроятная ошибка r наблюденія есть то значеніе величины Δ, для котораго (въ наблюденіяхъ этого рода) столь же вѣроятно, что сдѣланная ошибка $> r$, какъ и то, что она $< r$. Вѣроятность того, что въ предѣлахъ $+r$ и $-r$ можетъ имѣть мѣсто ошибка, будетъ поэтому $^1/_2$, и $\pm r$ есть та абсцисса кривой вѣроятности, ордината которой дѣлитъ пополамъ площадь кривой, находящуюся съ правой и съ лѣвой стороны вершины этой кривой.

Вѣроятная ошибка r обратно пропорціональна коэффиціенту точности и служитъ поэтому единицею мѣры для выраженія ошибокъ.

Имѣемъ:

$$r = \frac{0{,}476\,9364}{h} = 0{,}67449\,\Delta_1 = 0{,}67449\sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m}},$$

гдѣ m—число ошибокъ, Δ_1 см. черт. 7.

Чтобъ убѣдиться въ томъ, достаточно ли число наблюденій, дѣйствительно ли случайны ошибки, и вообще убѣдиться въ надежности результата, надо принять во вниманіе **распредѣленіе величинъ ошибокъ**, для чего служитъ слѣдующее положеніе.

При 1000 наблюденій имѣемъ въ промежуткахъ черезъ 0,1 r въ предѣлахъ между 0,0 и 1,0 r:

54, 54, 53, 52, 51, 50, 49, 47, 46, 44—всего 500 ошибокъ;

въ предѣлахъ между 1,0 r и 2,0 r:

НТБ ДНУЗТ

42, 40, 38, 35, 33, 31, 29, 27, 25, 23—всего		323	ошибки;
въ предѣлахъ между	2,0 r и 3,0 r:		
21, 19, 17, 15, 14, 12, 11, 10, 8, 7		134	„
въ предѣлахъ между	3,0 r и 3,5 r.	25	„
„	3,5 r и 4,0 r	11	„
„	4,0 r и 5,0 r. . . .	6	„
	Итого.	999	ошибокъ.

Поэтому всякое наблюденіе, при которомъ ошибка $> 5{,}0\ r$, должно считаться ненадежнымъ.

c. Способъ наименьшихъ квадратовъ.

Пусть величина F будетъ извѣстная функція отъ нѣкотораго числа независимыхъ перемѣнныхъ x, y, z. и n постоянныхъ a, b, c Посредствомъ наблюденій опредѣлено m значеній величины F, соотвѣтствующихъ даннымъ значеніямъ x, y, z. Требуется опредѣлить величины n постоянныхъ для того случая, когда $m > n$.

Если бы мы пожелали связать между собой n уравненій для опредѣленія n постоянныхъ, то, въ виду существованія въ m наблюденныхъ значеніяхъ F неизбѣжныхъ ошибокъ, мы, въ зависимости отъ выбора этихъ n уравненій, получали бы каждый разъ другія значенія этихъ постоянныхъ. Задача заключается въ томъ, чтобы опредѣлить ту группу значеній для этихъ постоянныхъ, которая для m наблюденныхъ значеній величины F наиболѣе вѣроятна. Теорія вѣроятностей указываетъ, что это будетъ имѣть мѣсто для тѣхъ значеній, при которыхъ

$$\Sigma(h^2 \Delta^2) = \min.$$

Вообразимъ себѣ, что h есть число, обладающее тѣмъ свойствомъ, что $\frac{h_1^2}{h^2}$, $\frac{h_2^2}{h^2}$, $\frac{h_3^2}{h^2}$... будутъ цѣлыя числа, которыя обозначимъ по порядку черезъ g_1, g_2, g_3. . ., тогда условіе наиболѣе вѣроятныхъ значеній постоянныхъ будетъ:

$\Sigma(g\Delta^2) = \min$ для неодинаковой точности всѣхъ наблюденій,

$\Sigma(\Delta^2) = \min$ для одинаковой точности всѣхъ наблюденій.

Первый случай сводится ко второму, болѣе простому, такъ какъ отдѣльныя значенія Δ подставляются въ сумму столько разъ, сколько этого требуютъ соотвѣтствующіе коэффиціенты g. Величина g называется **вѣсомъ** наблюденія.

1. Функціи первой степени.

Пусть функція F будетъ относительно искомыхъ постоянныхъ первой степени, т. е. имѣетъ форму

$$F = ax + by + cz + ..$$

гдѣ x, y, z. независимыя перемѣнныя.

НТБ ДНУЗТ

Пусть наблюденныя величины F будутъ F_1, F_2, F_3. ., и ошибки наблюденія пусть будутъ при этомъ $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$.

Если m число уравненій, n число постоянныхъ ($m > n$), то наиболѣе вѣроятныя величины постоянныхъ a, b, c. опредѣлятся изъ уравненій:

$$\Sigma(gFx) = a\Sigma(gx^2) + b\Sigma(gxy) + c\Sigma(gxz) + .$$
$$\Sigma(gFy) = a\Sigma(gyx) + b\Sigma(gy^2) + c\Sigma(gyz) + ..$$
$$\Sigma(gFz) = a\Sigma(gzx) + b\Sigma(gzy) + c\Sigma(gz^2) + . \quad \text{и т. д.,}$$

гдѣ $\Sigma(gyz) = g_1 y_1 z_1 + g_2 y_2 z_2 +$

При одинаковой точности всѣхъ наблюденій, во всѣхъ уравненіяхъ пропадаетъ множитель g.

Если въ заданномъ уравненіи для F одна изъ опредѣляемыхъ постоянныхъ не связана ни съ одной перемѣнной (абсолютный членъ), то въ вышеприведенныхъ уравненіяхъ, для опредѣленія постоянныхъ, вмѣсто соотвѣтствующей перемѣнной подставляютъ единицу.

Рѣшенія уравненій для опредѣленія постоянныхъ (см. стр. 49) имѣютъ видъ:

$$a = A_1\Sigma(gFx) + B_1\Sigma(gFy) + C_1\Sigma(gFz) + .$$
$$b = A_2\Sigma(gFx) + B_2\Sigma(gFy) + C_2\Sigma(gFz) + .$$
$$c = A_3\Sigma(gFx) + B_3\Sigma(gFy) + C_3\Sigma(gFz) + \ldots . \quad \text{и т. д.}$$

Если посредствомъ подстановки вычисленныхъ наиболѣе вѣроятныхъ значеній постоянныхъ a, b, c . . въ уравненіе $F = ax + by + cz$. вычислить величину F, соотвѣтствующую величинамъ x, y, z. ., принятымъ при наблюденіи, и если обозначить разницу между такимъ образомъ вычисленной и наблюденной величиной F черезъ $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$. ., то вѣроятная ошибка наблюденій находится въ предѣлахъ:

$$r = 0{,}674\,49\sqrt{\frac{m}{m-n}\,\frac{\Sigma(g\Delta^2)}{\Sigma(g)}}\left(1 \pm \frac{0{,}476\,936\,4}{\sqrt{m}}\right);$$

для одинаковыхъ g: $r = 0{,}674\,49\sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m-n}}\left(1 \pm \frac{0{,}476\,936\,4}{\sqrt{m}}\right)$,

гдѣ $\Sigma(g\Delta^2) = \Sigma(gF^2) - a\Sigma(gFx) - b\Sigma(gFy) - .$

и соотвѣтств.: $\Sigma(\Delta^2) = \Sigma(F^2) - a\Sigma(Fx) - b\Sigma(Fy) - .$

Вѣроятныя ошибки въ вычисленныхъ постоянныхъ будутъ:

$$r_a = r\sqrt{\frac{A_1\Sigma(g)}{m}}; \quad r_b = r\sqrt{\frac{B_2\Sigma(g)}{m}}; \quad r_c = r\sqrt{\frac{C_3\Sigma(g)}{m}}$$

и т. д.,

для одинаковыхъ g: $r_a = r\sqrt{A_1}$; $r_b = r\sqrt{B_2}$; $r_c = r\sqrt{C_3}$ и т. д

2. Поправки непосредственныхъ наблюденій.

Если наблюденная величина не зависитъ ни отъ какой перемѣнной, т. е. $F = a$,

НТБ ДНУЗТ

то наиболѣе вѣроятная величина a будетъ:

$$a = \frac{\Sigma(F h^2)}{\Sigma(h^2)} = \frac{\Sigma(F g)}{\Sigma(g)};$$

при m наблюденіяхъ одинаковой точности:

$$a = \frac{\Sigma(F)}{m},$$

т. е. при наблюденіяхъ одинаковой точности нѣкоторой независимой величины наиболѣе вѣроятное значеніе этой величины есть **среднее ариѳметическое** изъ всѣхъ наблюденій.

Вѣроятная ошибка при наблюденіи $r = 0{,}674\,49 \sqrt{\frac{m}{m-1}\,\frac{\Sigma(g\Delta^2)}{\Sigma(g)}}$.

Вѣроятная ошибка средней ариѳметической $r_a = \frac{r}{\sqrt{m}}$.

3. Функціи высшихъ степеней.

Если m данныхъ для F уравненій будутъ не первой степени относительно n постоянныхъ a, b, c. ., то предварительно опредѣляютъ изъ n уравненій приблизительныя значенія a_1, b_1, c_1... постоянныхъ и подставляютъ:

$$a = a_1 + \alpha, \qquad b = b_1 + \beta, \qquad c = c_1 + \gamma \ldots$$

Если Φ_1, Φ_2, Φ_3. различныя значенія F, соотвѣтствующія приблизительнымъ значеніямъ a_1, b_1, c_1.... и, кромѣ того, F_1, F_3, F_3.. наблюденныя значенія для F, то, раскладывая F въ рядъ Тайлора и пренебрегая высшими степенями, найдемъ m уравненій для Δ:

$$\Delta_1 = -F_1 + \Phi_1 + \alpha\frac{\partial\Phi_1}{\partial a_1} + \beta\frac{\partial\Phi_1}{\partial b_1} + \gamma\frac{\partial\Phi_1}{\partial c_1} +$$

$$\Delta_2 = -F_2 + \Phi_2 + \alpha\frac{\partial\Phi_2}{\partial a_1} + \beta\frac{\partial\Phi_2}{\partial b_1} + \gamma\frac{\partial\Phi_2}{\partial c_1} +$$

$$\Delta_3 = -F_3 + \Phi_3 + \alpha\frac{\partial\Phi_3}{\partial a_1} + \beta\frac{\partial\Phi_3}{\partial b_1} + \gamma\frac{\partial\Phi_3}{\partial c_1} +$$

Въ предположеніи одинаковыхъ вѣсовъ g, могутъ быть вычислены поправки α, β, γ... изъ условія $\Sigma(\Delta^2) = \min$, или:

$$\frac{\partial\,\Sigma(\Delta^2)}{\partial\,\alpha} = 0; \qquad \frac{\partial\,\Sigma(\Delta^2)}{\partial\,\beta} = 0; \qquad \frac{\partial\,\Sigma(\Delta^2)}{\partial\,\gamma} = 0.$$

Уравненія эти сходны съ уравненіями, приведенными въ **1.** (стр. 90); они получаются, если въ послѣднія для величинъ

$$a,\ b,\ c..\qquad x,\quad y,\quad z\qquad F$$

подставить: $\alpha,\ b,\ \gamma\qquad \frac{\partial\,\Phi}{\partial\,a_1},\ \frac{\partial\,\Phi}{\partial\,b_1},\ \frac{\partial\,\Phi}{\partial\,c_1}\qquad F - \Phi.$

Въ случаѣ необходимости этотъ способъ разсчета повторяется до желаемой точности. Тотъ же способъ можетъ быть примѣненъ

НТБ ДНУЗТ

и въ томъ случаѣ, когда функція будетъ первой степени относительно постоянныхъ, съ тѣмъ, чтобы большія числа F замѣнить меньшими $F - \Phi$.

VI. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОМЕТРІЯ.

A. Точка и прямая линія въ плоскости.

Въ прямоугольной системѣ координатъ имѣемъ слѣдующія соотношенія:

1. Если x, y и x_0, y_0 координаты 2-хъ точекъ, разстояніе между которыми $= l$, α — уголъ, образуемый линіей l съ положительнымъ направленіемъ оси абсциссъ (оси x-овъ), то:

$$l = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}.$$

$$\cos\alpha = \frac{x - x_0}{l}; \qquad \sin\alpha = \frac{y - y_0}{l}$$

2. Дѣля разстояніе l въ отношеніи $1 : n$ называя координаты дѣлящей точки x_1, y_1, имѣемъ:

$$x_1 = \frac{x + n x_0}{1 + n}; \qquad y_1 = \frac{y + n y_0}{1 + n}$$

3. **Уравненія прямой.** Въ общемъ случаѣ прямая линія вполнѣ опредѣляется однимъ уравненіемъ:

$$A x + B y + C = 0.$$

Всѣ точки, координаты которыхъ удовлетворяютъ уравненію первой степени съ двумя перемѣнными, лежатъ на прямой.

Если прямая образуетъ уголъ α съ осью x-овъ, такъ что $\operatorname{tg} \alpha = m$, и если эта же прямая отсѣкаетъ на оси y-овъ отрѣзокъ b отъ начала координатъ, то ея уравненіе:

$$y = m x + b.$$

уравненіе прямой, параллельной оси y-овъ: $x = a$.

„ „ „ „ x-овъ: $y = b$.

„ „ проходящей черезъ начало координатъ: $y = mx$.

уравненіе прямой, проходящей черезъ одну данную точку (x_1, y_1):

$$y - y_1 = m (x - x_1).$$

Уравненіе прямой, проходящей черезъ 2 данныя точки (x_1, y_1) и (x_2, y_2):

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \text{ или } \begin{vmatrix} x, & y, & 1 \\ x_1, & y_1, & 1 \\ x_2, & y_2, & 1 \end{vmatrix} = 0$$

НТБ ДНУЗТ

Если прямая отсѣкаетъ на оси x-овъ длину a, а на оси y-овъ длину b, то ея уравненіе:

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1.$$

Сравнивая послѣднее уравненіе прямой съ общимъ видомъ, имѣемъ:

$$a = -\frac{C}{A}, \qquad b = -\frac{C}{B}, \qquad m = -\frac{A}{B}.$$

4. Уравненіе перпендикуляра, возставленнаго въ концѣ отрѣзка l, начало котораго совпадаетъ съ началомъ координатъ, и составляющаго уголъ α съ осью x-овъ, слѣдующее:

$$x \cos \alpha + y \sin \alpha - l = 0 \text{ (нормальное уравненіе).}$$

Если вмѣсто разстоянія l задана точка прямой (x_1, y_1), то послѣднее уравненіе приметъ видъ:

$$(x - x_1) \cos \alpha + (y - y_1) \sin \alpha = 0,$$

или

$$(x - x_1) x_1 + (y - y_1) y_1 = 0.$$

5. Чтобы уравненіе прямой въ общемъ видѣ

$$A x + B y + C = 0$$

привести къ нормальному виду:

$$x \cos \alpha + y \sin \alpha - l = 0,$$

имѣемъ слѣдующія соотношенія:

$$\cos \alpha = \frac{A}{\pm \sqrt{A^2 + B^2}}, \quad \sin \alpha = \frac{B}{\pm \sqrt{A^2 + B^2}}, \quad l = \frac{-C}{\pm \sqrt{A^2 + B^2}},$$

причемъ знакъ передъ корнемъ вездѣ слѣдуетъ брать такой, чтобы l вышло положнтельнымъ.

6. **Разстояніе** p точки (x_1, y_1) отъ прямой, заданной уравненіемъ въ нормальномъ видѣ, выражается:

$$p = \pm (x_1 \cos \alpha + y_1 \sin \alpha - l),$$

причемъ знакъ — или + слѣдуетъ брать, смотря по тому, находится ли данная точка (x_1, y_1) и начало координатъ съ одной и той же или съ разныхъ сторонъ заданной прямой.

7. Уравненіе прямой, проходящей черезъ точку (x_1, y_1) **перпендикулярно** къ данной прямой,

$$Ax + By + C = 0$$

пишется такъ:

$$y - y_1 = \frac{B}{A}(x - x_1).$$

8. Уравненіе всякой прямой, проходящей черезъ точку пересѣченія двухъ данныхъ прямыхъ

$$A x + B y + C = 0,$$
$$A_1 x + B_1 y + C_1 = 0.$$

имѣетъ видъ:

$$A x + B y + C + k (A_1 x + B_1 y + C_1) = 0,$$

или

$$(A + k A_1) x + (B + k B_1) y + C + k C_1 = 0,$$

гдѣ k неопредѣленный числовой коэффиціентъ.

НТБ ДНУЗТ

9. **Уголъ** φ, составленный 2-мя данными прямыми, опредѣляется изъ выраженія:

$$\cos\varphi = \frac{A A_1 + B B_1}{\pm \sqrt{(A^2 + B^2)(A_1^2 + B_1^2)}}.$$

Прямыя параллельны ($\varphi = 0$), если $\frac{A}{A_1} = \frac{B}{B_1}$. Прямыя взаимно перпендикулярны ($\varphi = 90^0$), если

$$A A_1 + B B_1 = 0.$$

10. Два уравненія вида:

$$Ax + By + C = 0 \text{ и } k\,(Ax + By) + C_1 = 0$$

представляютъ **прямыя, параллельныя** между собою.

Два уравненія вида: $Ax + By + C = 0$ и $k\,(Bx - Ay) + C_1 = 0$ представляютъ двѣ взаимно-перпендикулярныя прямыя.

11. Если уравненія прямыхъ даны въ видѣ:

$$y = mx + b \quad \text{и} \quad y = m_1 x + b_1,$$

то, въ случаѣ параллельности прямыхъ:

$$m = m_1,$$

а въ случаѣ ихъ перпендикулярности:

$$m m_1 = -1.$$

12. Уравненіе прямой, пересѣкающей прямую $y = mx + b$ въ точкѣ (x_1, y_1) подъ угломъ φ:

$$y - y_1 = \frac{m + \operatorname{tg}\varphi}{1 - m\operatorname{tg}\varphi}(x - x_1).$$

13. Уравненія прямыхъ, дѣлящихъ пополамъ уголъ между 2-мя данными прямыми, $Ax + By + C = 0$ и $A_1 x + B_1 y + C_1 = 0$, слѣдующія:

$$\frac{Ax + By + C}{\sqrt{A^2 + B^2}} \mp \frac{A_1 x + B_1 y + C_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} = 0.$$

14. **Преобразованіе координатъ.**

Обозначимъ координаты точки въ одной системѣ координатъ черезъ x, y, а въ другой черезъ x', y'.

α) Параллельное перемѣщеніе системы координатныхъ осей.

Если f и g координаты новаго начала, то:

$$x = f + x'; \quad y = g + y'.$$

β) Вращеніе системы около начала координатъ.

Если α — уголъ, который долженъ быть описанъ первоначальной положительной осью x-овъ по направленію къ первоначальной положительной оси y-овъ, для того, чтобы принять положеніе новой оси x-овъ, то:

$$x = x'\cos\alpha - y'\sin\alpha; \qquad y = x'\sin\alpha + y'\cos\alpha.$$

γ) При одновременномъ перемѣщеніи начала и вращеніи системы осей слѣдуетъ соединить формулы *α*) и *β*).

НТБ ДНУЗТ

б) Переходъ отъ параллельной системы координатъ къ **полярнымъ координатамъ**. Если r радіусъ-векторъ, а φ уголъ, составленный радіусомъ-векторомъ съ полярной осью, совпадающей съ осью x-овъ, то

$$x = r\cos\varphi; \qquad y = r\sin\varphi.$$

Если x, y — координаты точки въ **косоугольной** системѣ координатъ, у которой ω — уголъ между осями, то:

$$x = \frac{r\sin(\omega - \varphi)}{\sin\omega}; \quad y = \frac{r\sin\varphi}{\sin\omega}.$$

в) Переходъ отъ полярной системы координатъ къ параллельной (Декартовой). При обозначеніяхъ подъ *б*) имѣемъ для прямоугольной системы координатъ:

$$\cos\varphi = \frac{x}{r}, \qquad \sin\varphi = \frac{y}{r} \qquad r = \sqrt{x^2 + y^2};$$

для косоугольной:

$$\cos\varphi = \frac{x + y\cos\omega}{r} \qquad \sin\varphi = \frac{y\sin\omega}{r} \qquad r = \sqrt{x^2 + y^2 + 2xy\cos\omega}.$$

B. Плоскія кривыя.

a. Общія положенія.

1. Плоская кривая, отнесенная къ системѣ параллельныхъ (Декартовыхъ) координатныхъ осей, опредѣляется **однимъ уравненіемъ**

$$F(x, y) = 0,$$

рѣшеніемъ котораго получаемъ одно или нѣсколько уравненій вида

$$y = f(x),$$

представляющихъ столько же отдѣльныхъ частей данной кривой.

То же самое можетъ быть сказано относительно уравненія кривой въ полярной системѣ координатъ:

$F(r, \varphi) = 0; \quad r = f(\varphi).$

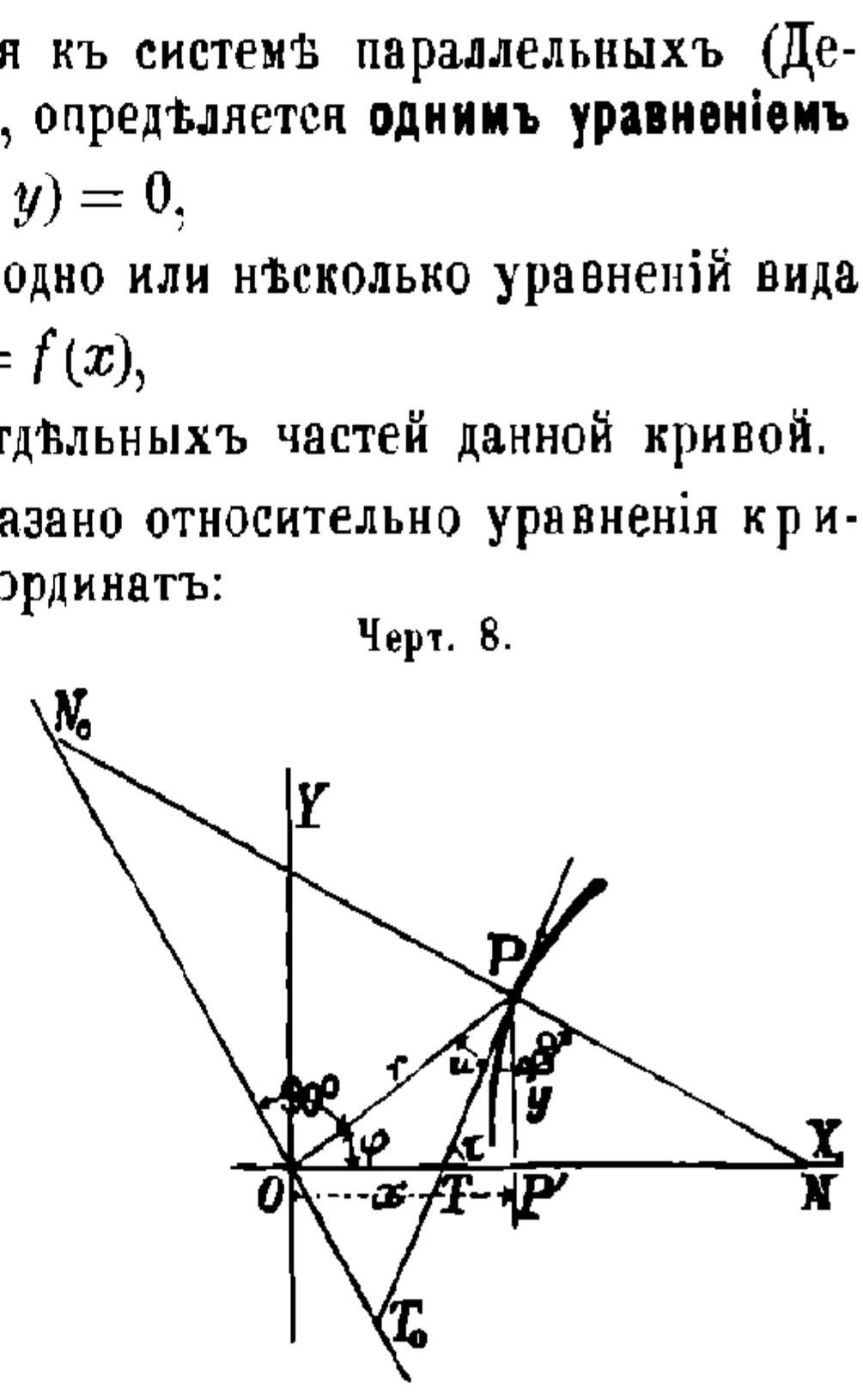
Часто является болѣе удобнымъ представить кривую 2-мя уравненіями посредствомъ вспомогательной перемѣнной t (см., напр., стр. 112):

$$x = \psi_1(t); \quad y = \psi_2(t).$$

Точно такъ же для полярныхъ координатъ:

$$r = \Phi_1(t); \quad \varphi = \Phi_2(t).$$

Черт. 8.



2. Уголъ τ, который образуетъ **касательная**, лежащая со стороны положительной оси y-овъ, съ положительной осью x-овъ (черт. 8), для прямоугольной системы координатъ находится изъ уравненій:

НТБ ДНУЗТ

$$\sin\tau = \frac{dy}{ds}, \qquad \cos\tau = \frac{dx}{ds}, \qquad \operatorname{tg}\tau = \frac{dy}{dx};$$

здѣсь **дифференціалъ дуги**:

$$ds = \pm\sqrt{dx^2 + dy^2}$$

при опредѣленіи $\sin\tau$ и $\cos\tau$ долженъ быть взятъ съ такимъ знакомъ, который получится для $\operatorname{tg}\tau$.

3. Если черезъ u назовемъ уголъ касательной по направленію увеличивающагося φ съ положительнымъ направленіемъ r (черт. 8), то

$$\sin u = \frac{r.d\varphi}{ds} \qquad \cos u = \frac{dr}{ds}, \qquad \operatorname{tg} u = \frac{r.d\varphi}{dr}$$

Дифференціалъ дуги:

$$ds = \pm\sqrt{dr^2 + r^2\ d\varphi^2}$$

при опредѣленіи $\sin u$ и $\cos u$ берется съ тѣмъ знакомъ, который получается для $\operatorname{tg} u$.

4. **Уравненіе касательной** къ кривой въ данной на ней точкѣ (x, y) есть:

$$\eta - y = \frac{dy}{dx}(\xi - x), \text{ или } \frac{\partial F}{\partial x}(\xi - x) + \frac{\partial F}{\partial y}(\eta - y) = 0,$$

гдѣ ξ, η означаютъ текущія координаты любой точки касательной.

Раскрывъ въ послѣднемъ уравненіи и написавъ его въ видѣ:

$$\frac{\partial F}{\partial x}\xi + \frac{\partial F}{\partial y}\eta + p = 0,$$

найдемъ для кривыхъ n-аго порядка:

$$p = -\left(x\frac{\partial F}{\partial x} + y\frac{\partial F}{\partial y}\right) = 1F_{n-1} + 2F_{n-2} + \ldots + (n-1)F_1 + nF_0,$$

гдѣ F_k однородные члены k-го порядка функціи F.

Касательная PT (см. черт. 8) $= y\frac{ds}{dy} = y\frac{dx}{dy}\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$

Подкасательная $P'T = y\frac{dx}{dy}$

Полярная касательная $PT_0 = \frac{r\,ds}{dr} = r\sqrt{1 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dr}\right)^2}$

Полярная подкасательная $OT_0 = \frac{r^2.d\varphi}{dr}$

5. **Уравненіе нормали** въ точкѣ (x, y) кривой въ прямоугольной системѣ координатъ имѣетъ видъ:

$$\eta - y = -\frac{dx}{dy}(\xi - x), \text{ или } \frac{\partial F}{\partial y}(\xi - x) - \frac{\partial F}{\partial x}(\eta - y) = 0, \quad \text{гдѣ}$$

ξ и η означаютъ текущія координаты любой точки нормали.

НТБ ДНУЗТ

Нормаль PN (см. черт. 8) $= y\frac{ds}{dx} = y\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$

Поднормаль $P'N = y\frac{dy}{dx}$.

Полярная нормальная. $PN_0 = \frac{ds}{d\varphi} = \sqrt{r^2+\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2}$

Полярная поднормальная $ON_0 = \frac{dr}{d\varphi}$.

6. **Безконечно удаленная точка** кривой, т. е. собственно направленіе линіи, соединяющей эту точку съ началомъ координатъ, находится отнесеніемъ уравненія кривой къ полярной системѣ координатъ и опредѣленіемъ того угла φ, при которомъ $r = \infty$. Въ случаѣ алгебраической кривой n-аго порядка слѣдуетъ предварительно раздѣлить уравненіе этой кривой на высшую степень r; съ этой цѣлью представимъ уравненіе въ видѣ:

$$F(x, y) = F_n + F_{n-1} + F_{n-2} + \quad + F_1 + F_0 = 0,$$

гдѣ F_k означаетъ совокупность однородныхъ членовъ k-го порядка функціи $F(x, y)$.

7. **Асимптотами** наз. касательныя въ безконечно удаленныхъ точкахъ кривой. Чтобы найти уравненіе **асимптоты**, слѣдуетъ уравненіе касательной къ кривой отнести къ полярной системѣ координатъ и, раздѣливъ его на высшую степень r, положить въ немъ $r = \infty$, а вмѣсто угла φ, опредѣляющаго направленіе касательной въ безконечно удаленной точкѣ, подставить величину, найденную по 6.

8. Двѣ кривыя, имѣющія одну общую точку, образуютъ **касаніе** k-го порядка, если первыя k производныхъ

$$\frac{dy}{dx}, \quad \frac{d^2y}{dx^2} \cdots \frac{d^ky}{dx^k}$$

равны для обѣихъ кривыхъ въ ихъ общихъ точкахъ.

Въ случаѣ касанія четнаго порядка кривыя пересѣкаются въ общихъ точкахъ; въ случаѣ касанія нечетнаго порядка кривыя только соприкасаются въ общихъ точкахъ, не пересѣкаясь. Прямая, **касательная** къ кривой, вообще образуетъ съ нею касаніе 1-го порядка, кругъ же кривизны (см. 9)— касаніе второго порядка.

9. **Кругъ кривизны** въ точкѣ (x, y) кривой есть тотъ кругъ, который образуетъ съ кривой въ этой точкѣ касаніе второго порядка (см. 8), или имѣетъ съ нею три безконечно близкія общія точки. Центръ этого круга называется центромъ кривизны. Центръ этотъ представляетъ точку пересѣченія двухъ безконечно близкихъ нормалей въ точкахъ (x, y) и $(x+dx, y+dy)$. **Радіусъ кривизны** ϱ выражается въ прямоугольныхъ координатахъ:

НТБ ДНУЗТ

$$\varrho = \frac{ds}{d\tau} = \frac{\left(\frac{ds}{dx}\right)^3}{\frac{d^2y}{dx^2}} = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}};$$

въ полярной системѣ координатъ:

$$\varrho = \frac{ds}{d\tau} = \frac{ds}{d\varphi + du}.$$

du получается дифференцированіемъ $u = \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{r \cdot d\varphi}{dr}\right)$ (см. 3).

Величина $\frac{1}{\varrho}$ называется **кривизною** кривой въ точкѣ (x, y).

10. Координаты X и Y **центра круга кривизны** въ точкѣ (x, y) находятся по:

$$X = x - \varrho\frac{dy}{ds}, \qquad Y = y + \varrho\frac{dx}{ds};$$

или: $$X = x - \left(\frac{ds}{dx}\right)^2\frac{dy}{\frac{d^2y}{dx^2}}, \qquad Y = y + \left(\frac{ds}{dx}\right)^2\frac{1}{\frac{d^2y}{dx^2}};$$

или: $$X = x - \frac{dy}{d\tau}, \qquad Y = y + \frac{dx}{d\tau};$$

или: $$X = x - \varrho\sin\tau, \qquad Y = y + \varrho\cos\tau.$$

11. **Эволютой** (или развертывающею) данной кривой наз. геометрическое мѣсто ея центровъ кривизны; данная кривая наз. **эвольвентой** (или развертывающейся).

Чтобы найти уравненіе эволюты, надо изъ уравненія эвольвенты и уравненій для X и Y исключить координаты x и y, а затѣмъ разсматривать X и Y какъ перемѣнныя величины.

Каждый радіусъ кривизны есть нормаль къ эвольвентѣ и касательная къ эволютѣ.

Длина дуги между двумя точками эволюты равна разности радіусовъ кривизны въ соотвѣтственныхъ точкахъ эвольвенты. Отсюда слѣдуетъ, что конечная точка вполнѣ гибкой нерастяжимой нити, навитой на эволюту, описываетъ эвольвенту въ томъ случаѣ, если нить, будучи постоянно натянутой по направленію касательной, свивается съ эволюты.

Наоборотъ, если дано уравненіе $F(X, Y) = 0$ эволюты, то уравненія **эвольвенты** опредѣляются изъ слѣдующихъ соотношеній:

$$x = X - S\frac{dX}{dS}, \qquad y = Y - S\frac{dY}{dS}, \qquad F(X, Y) = 0,$$

гдѣ (X, Y) означаетъ произвольную точку эволюты, а S — длину дуги эволюты отъ точки, гдѣ начинается развертываніе кривой до точки (X, Y).

НТБ ДНУЗТ

12. Кривая обращена **выпуклостью** къ положительной оси y-овъ, если $\frac{d^2y}{dx^2} > 0$, и—**вогнутостью**, если $\frac{d^2y}{dx^2} < 0$. Въ точкѣ, гдѣ $\frac{d^2y}{dx^2} = 0$, а $\frac{d^3y}{dx^3} \gtrless 0$, кривая изъ выпуклой становится вогнутой, или наоборотъ. Такая точка наз. **точкой перегиба**; она находится рѣшеніемъ ур. $\frac{d^2y}{dx^2} = 0$. Если корни этого уравненія въ то же время удовлетворяютъ всѣмъ условіямъ:

$$\frac{d^3y}{dx^3} = 0, \quad \frac{d^4y}{dx^4} = 0, \ldots \frac{d^ky}{dx^k} = 0, \quad \frac{d^{k+1}y}{dx^{k+1}} \gtrless 0,$$

то эта точка будетъ точкой перегиба только въ случаѣ k четнаго; касательная тогда (по 8.) имѣетъ касаніе четнаго порядка съ кривою и потому пересѣкаетъ ее въ точкѣ касанія. Если же k нечетное, то точка имѣетъ то свойство, что касательная въ ней имѣетъ съ кривою касаніе нечетнаго порядка, но точка эта не есть точка перегиба.

Для точки перегиба $\varrho = \infty$.

13. **Двойной точкой кривой** наз. точка, въ которой пересѣкаются двѣ вѣтви кривой. Въ этомъ случаѣ:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{\partial F}{\partial x} : \frac{\partial F}{\partial y}$$

является всегда въ формѣ неопредѣленности $\frac{0}{0}$ (стр. 71), и потому одновременно должны существовать слѣд. уравненія:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0; \qquad \frac{\partial F}{\partial y} = 0; \qquad F(x, y) = 0.$$

Послѣднее, въ случаѣ кривой n-аго порядка, для двойной точки можетъ быть представлено въ видѣ (какъ въ 4.):

$$1\,F_{n-1} + 2\,F_{n-2} + \quad + (n-1)\,F_1 + n\,F_0 = 0.$$

Обѣ касательныя въ двойной точкѣ получаются рѣшеніемъ относительно $\operatorname{tg}\tau$ уравненія:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial y^2}\operatorname{tg}^2\tau + 2\frac{\partial^2 F}{\partial x . \partial y}\operatorname{tg}\tau + \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 0.$$

Если корни этого уравненія равны, то обѣ касательныя совпадаютъ; двойная точка наз. тогда точкой возврата (остріе).

Если корни этого уравненія мнимы, то полученная точка наз. **изолированной или сопряженной**, и въ ней данная кривая не имѣетъ дѣйствительной касательной.

14. **Опредѣленіе площадей, ограниченныхъ плоскими кривыми.**

α) Площадь, ограниченная кривой, осью абсциссъ и 2-мя ординатами y_0 и y, которымъ соотвѣтствуютъ абсциссы x_0 и x, равна:

$$F = \int_{x_0}^{x} f(x)\,dx.$$

НТБ ДНУЗТ

β) Площадь сектора, ограниченнаго кривой и 2-мя радіусами-векторами r_0 и r, которымъ соотвѣтствуютъ углы φ_0 и φ, равна:

$$F = {}^1/_2 \int_{\varphi_0}^{\varphi} r^2 . d\varphi.$$

15. **Длина дуги**. Длина дуги s, заключенной между 2 точками кривой, абсциссы которыхъ x_0 и x, опредѣляется изъ выраженія:

$$s = \int_{x_0}^{x} \sqrt{dx^2 + dy^2} = \int_{x_0}^{x} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} . dx.$$

Въ полярной системѣ координатъ имѣемъ:

$$s = \int_{\varphi_0}^{\varphi} \sqrt{r^2 + \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2} . d\varphi = \int_{r_0}^{r} \sqrt{1 + r^2 \left(\frac{d\varphi}{dr}\right)^2} . dr.$$

16. **Обертывающія кривыя.** Уравненіе:

$$F(x, y, p) = 0,$$

гдѣ p перемѣнный параметръ, представляетъ вообще систему кривыхъ, обертываемыхъ нѣкоторою кривою линіею, которая наз. **обертывающею** данной системы. Уравненіе обертывающей кривой находится исключеніемъ p изъ двухъ уравненій:

$$\frac{\partial F(x, y, p)}{\partial p} = 0, \qquad F(x, y, p) = 0.$$

Если система кривыхъ опредѣляется уравненіемъ $F(x, y, p, q) = 0$ съ 2-мя перемѣнными параметрами p и q, связанными между собою зависимостью $\varphi(p, q) = 0$, то уравненіе обертывающей получается исключеніемъ p и q изъ трехъ уравненій:

$$\frac{\partial F}{\partial p} \frac{\partial \varphi}{\partial q} = \frac{\partial F}{\partial q} \frac{\partial \varphi}{\partial p}; \qquad F(x, y, p, q) = 0; \qquad \varphi(p, q) = 0.$$

17. **Траекторіи**. Кривая, пересѣкающая **подъ прямымъ угломъ** систему кривыхъ, изображенныхъ уравненіемъ:

$$F(x, y, p) = 0,$$

гдѣ p перемѣнный параметръ, наз. (ортогональной) траекторіей данной системы кривыхъ. Дифференціальное уравненіе траекторіи, координаты которой пусть будутъ ξ, η, получается исключеніемъ p изъ уравненій:

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \frac{\partial F}{\partial \eta} \frac{\partial F}{\partial \xi} \qquad F(\xi, \eta, p) = 0.$$

Интегрируя такимъ образомъ полученное уравненіе и имѣя въ виду произвольныя постоянныя, получимъ систему траекторій.

НТБ ДНУЗТ

b. Коническія сѣченія.

1. Меридіональная плоскость M, т. е. плоскость, проходящая черезъ ось z-овъ (ось вращенія) прямого кругового конуса (см. стр. 127) пусть будетъ ограничена производящими конуса S_1 и S_2; вершина конуса пусть будетъ s. Плоскость E, перпендикулярная къ M, пересѣкаетъ конусъ: 1) по **эллипсу**—если производящія S_1 и S_2 пересѣкаются плоскостью E съ одной и той же стороны вершины конуса s; 2) по **параболѣ**—если E параллельна S_1 или S_2; 3) по **гиперболѣ**—если плоскость E хотя и пересѣкаетъ обѣ производящія S_1 и S_2, но одну изъ нихъ лишь въ ея продолженіи за вершину конуса s. Эти три кривыя называются поэтому коническими сѣченіями. Если въ случаѣ 1) плоскость E нормальна къ оси z-овъ, то эллипсъ переходитъ въ **кругъ**. Въ случаѣ 3) плоскость E_1, параллельная E и проходящая черезъ вершину конуса s, при пересѣченіи съ поверхностью конуса даетъ двѣ параллельныя къ ассимптотамъ гиперболы прямыя и уголъ между ними 2α (стр. 105). Равнобокая гипербола (для $\alpha = 45^0$) получается, если уголъ при вершинѣ конуса $\leqq 90^0$.

2. Если точка P движется такимъ образомъ, что разстоянія ея PF отъ нѣкоторой постоянной точки F и PQ до нѣкоторой постоянной прямой находятся между собой въ постоянномъ отношеніи $PF : PQ = e$, то геометрическое мѣсто различныхъ положеній этой точки будетъ эллипсъ, если $e < 1$, парабола—если $e = 1$ и гипербола—если $e > 1$. Отношеніе e есть (числовой) эксцентриситетъ коническаго сѣченія. Постоянная точка F лежитъ на главной оси и наз. фокусомъ; постоянная прямая $\perp$ къ главной оси и наз. директрисой. Для круга фокусомъ является центръ; директриса лежитъ въ безконечности; $e = 0$.

3. **Общее уравненіе** коническихъ сѣченій въ параллельныхъ (Декартовыхъ) координатахъ:

$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_1x + 2a_2y + a_0 = 0.$$

Этимъ уравненіемъ аналитически выражается эллипсъ, парабола или гипербола, смотря по тому, будетъ ли дискриминантъ

$$a_{11}a_{22} - a^2_{12} > = < 0.$$

Посему общій видъ уравненія параболы будетъ:

$$(ax + by + c)^2 + Ax + By + C = 0.$$

4. Въ эллипсѣ и гиперболѣ **центръ** найдемъ, какъ точку пересѣченія прямыхъ:

$$a_{11}x + a_{12}y + a_1 = 0, \quad a_{12}x + a_{22}y + a_2 = 0.$$

5. Если въ прямоугольной системѣ координатъ:

$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 = k$$

представляетъ уравненіе эллипса или гиперболы относительно центра, а **уравненіе** относительно **главныхъ осей:**

$$g_1x'^2 + g_2y'^2 = k,$$

то уголъ φ, на который слѣдуетъ повернуть систему координат-

НТБ ДНУЗТ

ныхъ осей въ положительномъ направленіи, чтобы онѣ совпадали съ главными осями, находится изъ выраженія:

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2a_{12}}{a_{11} - a_{22}};$$

g_1 и g_2 получаются изъ каждой пары уравненій:

$$g_1 + g_2 = a_{11} + a_{22}; \quad g_1 g_2 = a_{11} a_{22} - a^2_{12};$$

$$g_1 - g_2 = \frac{a_{11} - a_{22}}{\cos 2\varphi} = \frac{2a_{12}}{\sin 2\varphi}.$$

$a_{11} + a_{22}$ называется инваріантомъ уравненія коническаго сѣченія.

6. Если $a_{12} = 0$, $a_{11} = a_{22}$, а a_{11} и k имѣютъ одинаковые знаки, то уравненіе представляетъ окружность круга.

1. Окружность круга.

1. Въ общемъ видѣ уравненіе окружности круга (черт. 9):

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2.$$

2. Уравненіе круга относительно центра (начало координатъ въ центрѣ M):

$$x^2 + y^2 = r^2.$$

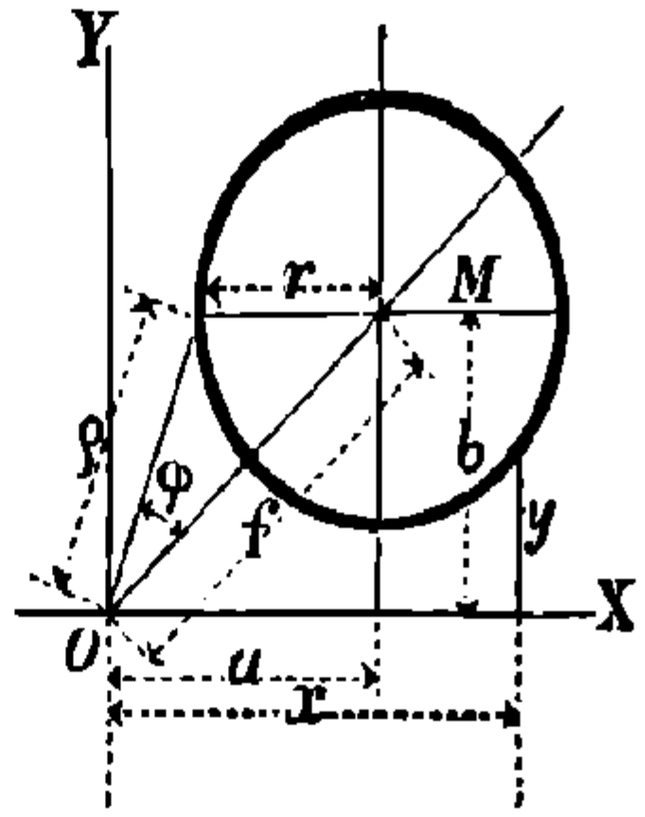
3. Уравненіе окружности круга относительно вершины (начало координатъ на окружности, OX — діаметръ):

$$y^2 = x(2r - x).$$

4. Уравненіе окружности круга въ полярныхъ координатахъ (полярная ось OM) (фиг. 9):

$$\varrho^2 - 2\varrho f \cos\varphi + f^2 = r^2.$$

Черт. 9.



Окружность и **площадь** круга см. стр. 2 и слѣд.

Площадь секторовъ и сегментовъ см. стр. 36 и 37, а также стр. 133.

2. Эллипсъ и гипербола.

Всѣ нижеслѣдующія таблицы и выраженія, взятыя съ верхнимъ знакомъ, относятся къ эллипсу (черт. 10), а съ нижнимъ– къ гиперболѣ (черт. 11).

1. **Начало координатъ въ центрѣ.**

Если оси координатъ направлены по главнымъ осямъ, то уравненіе кривой:

$$\frac{x^2}{a^2} \pm \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

НТБ ДНУЗТ

гдѣ $OA = a$, а OB и соотв. $AD = b$ означаютъ обѣ полуоси. Отсюда:

$$y = \pm\frac{b}{a}\sqrt{\pm(a^2 - x^2)}.$$

2. **Если начало координатъ находится на вершинѣ кривой** A_1, на оси x-овъ, то уравненіе кривой:

$$\pm y^2 = 2\frac{b^2}{a}x - \frac{b^2}{a^2}x^2 = 2px - \frac{px^2}{a}$$

3. **Разстоянія фокусовъ** F и F_1 на оси x-овъ отъ точки O опредѣляются изъ выраженій:

$$OF = OF_1 = \pm\sqrt{a^2 \mp b^2}.$$

Въ эллипсѣ $BF = BF_1 = OA = a$,
въ гиперболѣ $OF = OF_1 = OD$.

Отношеніе:

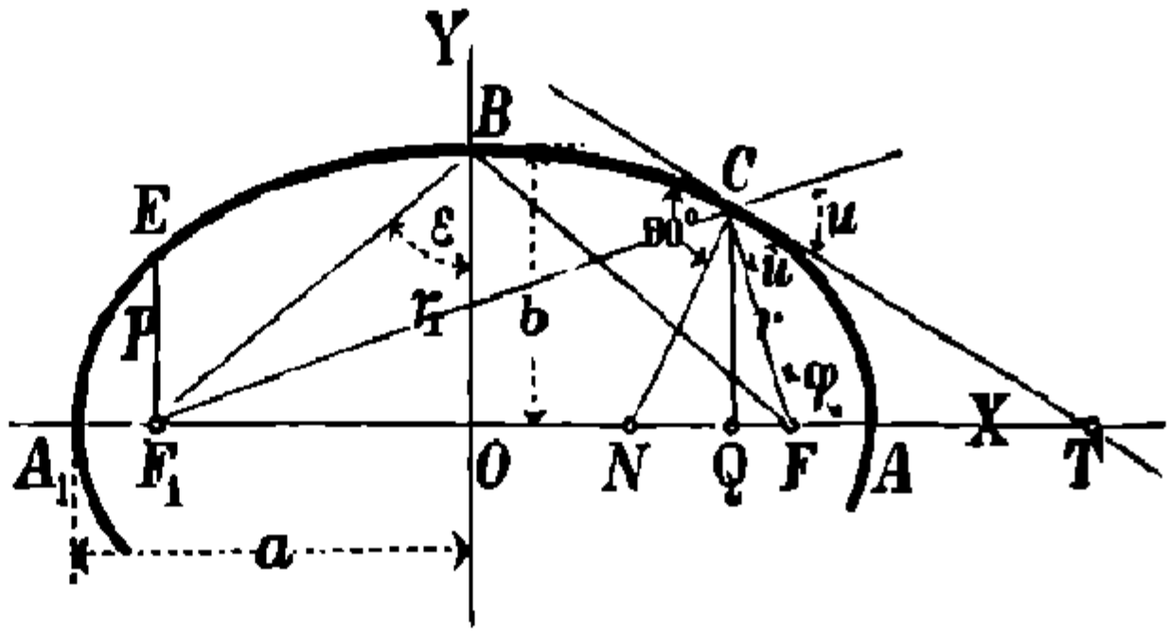
$$\frac{OF}{OA} = \frac{\sqrt{a^2 \mp b^2}}{a} = e = \sin\varepsilon, \quad \text{соотв.} \frac{OF}{OA} = \frac{1}{\cos\alpha}$$

наз. (числовымъ) эксцентриситетомъ коническаго сѣченія.

4. Радіусы - векторы, проведенные изъ фокусовъ къ какой-либо точкѣ коническаго сѣченія, опредѣляются изъ:

$$r = \pm(a - ex),$$
$$r_1 = a + ex.$$

Черт. 10.



Въ эллипсѣ сумма этихъ радіусовъ-векторовъ, а въ гиперболѣ ихъ разность постоянны: $r_1 \pm r = 2a$. Въ случаѣ эллипса $r + r_1 = 2a$; а для гиперболы $r - r_1 = \pm 2a$. (На этомъ основано построеніе этихъ кривыхъ посредствомъ нитки).

5. Ордината, проведенная изъ фокуса:

$$p = \pm a(1 - e^2) = \frac{b^2}{a}.$$

Величина $2p$ наз. **параметромъ**.

6. **Сопряженными** діаметрами наз. такіе, изъ которыхъ одинъ дѣлитъ пополамъ всѣ хорды, параллельныя другому. Касательныя въ концахъ діаметра параллельны діаметру, сопряженному съ первымъ.

Обозначивъ углы, образуемые этими діаметрами $2a_1$ и $2b_1$ съ первою главною осью, черезъ α и β (черт. 15, стр. 108), имѣемъ, если углы α и β острые:

$$a^2 \pm b^2 = a_1^2 \pm b_1^2; \qquad ab = a_1 b_1 \sin(\alpha + \beta); \qquad \frac{b^2}{a^2} = \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\beta.$$

НТБ ДНУЗТ

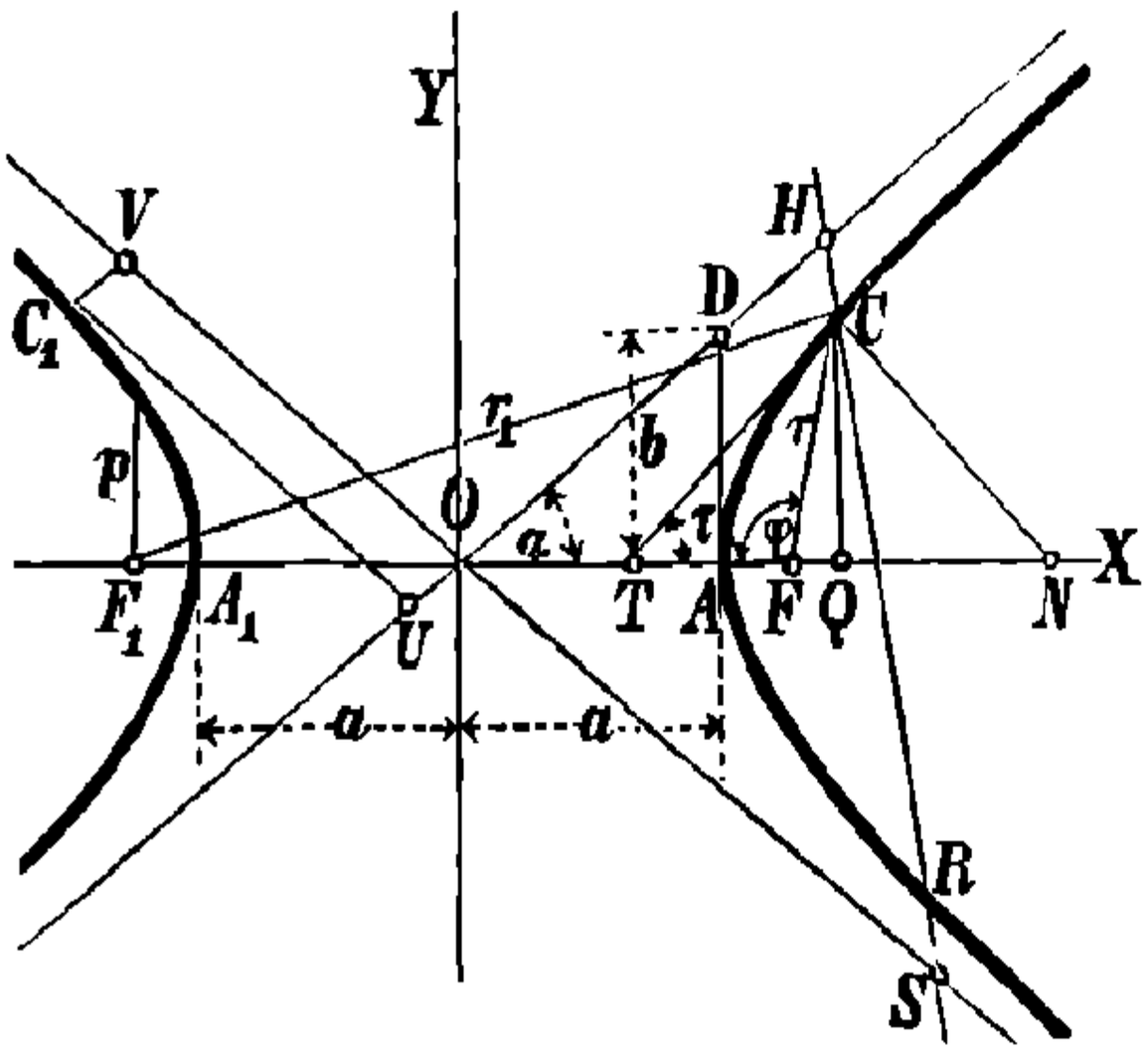
Уравненіе обоихъ коническихъ сѣченій, отнесенное къ косоугольной системѣ 2-хъ сопряженныхъ діаметровъ: $\frac{x_1^2}{a_1^2} \pm \frac{y_1^2}{b_1^2} = 1$.

7. **Уравненіе касательной** въ точкѣ (x, y): $\frac{\xi x}{a^2} \pm \frac{\eta y}{b^2} = 1$.

Уравненіе нормали: $\frac{\xi - x}{b^2 x} = \pm \frac{\eta - y}{a^2 y}$.

ξ и η — текущія координаты касательной.

Черт. 11.



Касательная и нормаль дѣлятъ пополамъ углы, образуемые радіусами-векторами.

8. Продолженныя до безконечности вѣтви гиперболы приближаются къ двумъ прямымъ $\frac{x}{a} \pm \frac{y}{b} = 0$, никогда, однако, съ ними не совпадая. Эти прямыя наз. **асимптотами** гиперболы, и каждая изъ нихъ образуетъ съ осью x-овъ уголъ α, причемъ $\operatorname{tg}\alpha = b \ a$. Если провести прямую HS (черт. 11), пересѣкающую обѣ вѣтви гиперболы и ея асимптоты, то оба отрѣзка CH и RS, заключенные между гиперболой и ея асимптотами, между собой равны. На этомъ основано **построеніе гиперболы** по ея асимптотамъ и одной изъ ея точекъ C.

Если прямая HS нормальна къ оси x-овъ, то часть прямой, расположеніая между асимптотами, дѣлится вѣтвью гиперболы такъ, что произведеніе обѣихъ частей постоянно и равно b^2.

Если пряман HS параллельна оси x-овъ, то часть прямой, лежащая между двумя вѣтвями гиперболы, дѣлится одной асимптотой на двѣ части такъ, что произведеніе этихъ частей постоянно и равно a^2.

Часть касательной къ гиперболѣ между асимптотами дѣлится пополамъ въ точкѣ касанія. Треугольники, образуемые какими угодно касательными и асимптотами, между собой равновелики.

Если $C_1 U$ и $C_1 V$ параллельны асимптотамъ, то:

$$C_1 U . C_1 V = {}^1/_4 (a^2 + b^2).$$

НТБ ДНУЗТ

Посему уравненіе гиперболы, отнесенное къ ея асимптотамъ (косоугольной системѣ), будетъ:

$$x'\,y' = {}^1/_4\,(a^2 + b^2).$$

9. Для любой точки $C\ (x, y)$ (черт. 10 и 11):

Касательная $CT = \dfrac{a\,y}{b\,x}\sqrt{\pm\,(a^2 - e^2\,x^2)}.$

Нормаль $CN = \dfrac{b}{a}\sqrt{\pm\,(a^2 - e^2\,x^2)}.$

Подкасательная $TQ = \mp\,\dfrac{a^2}{x} \pm x.$ **Поднормальная** $NQ = \mp\,\dfrac{b^2}{a^2}\,x.$

10. **Равнобокая гипербола**.

Уравненіе относительно центра: $x^2 - y^2 = a^2.$

Уравненіе относительно асимптотъ: $x'\,y' = {}^1/_2\,a^2.$

$$a = b; \quad e = \sqrt{2}; \quad \alpha = 45^0$$

Параметръ: $2\,p = 2\,a.$

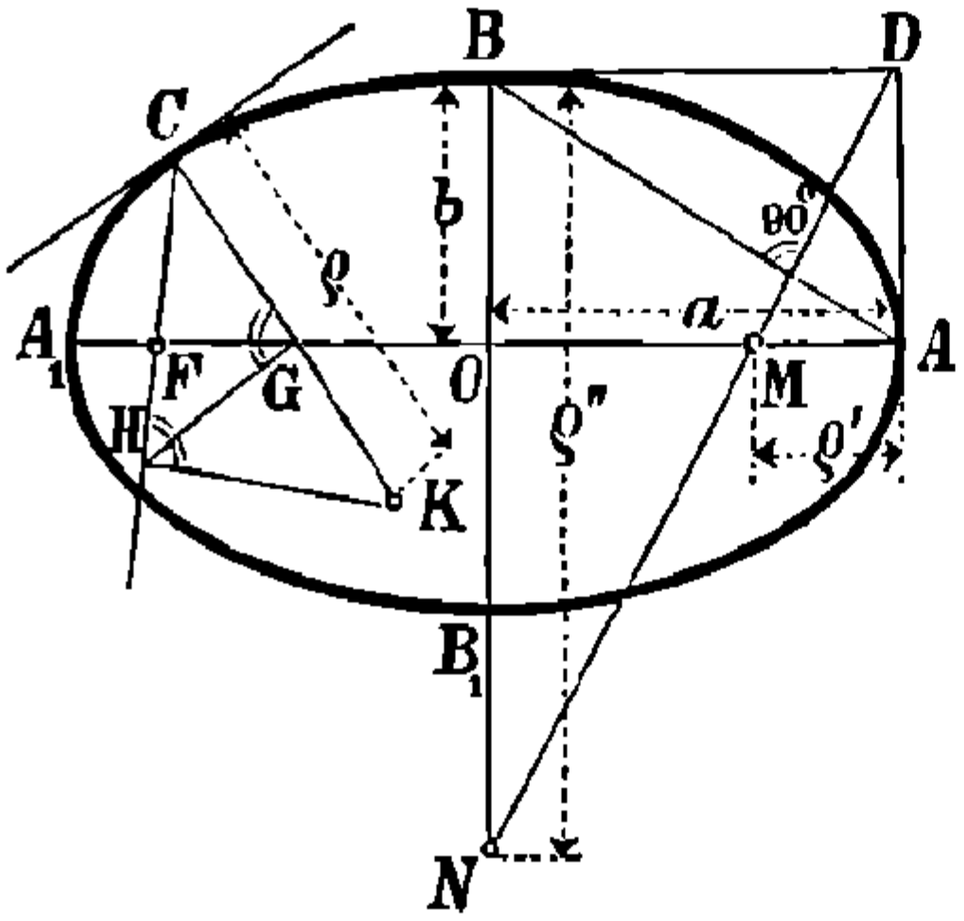
Асимптоты перпендикулярны другъ-другу. Построеніе равнобокой гиперболы см. отдѣлъ VII, паровыя машины (діаграмма упругости пара).

11. **Радіусъ кривизны** въ точкѣ C (черт. 10 и 11):

$$\varrho = a^2\,b^2\left(\frac{x^2}{a^4} + \frac{y^2}{b^4}\right)^{3/2} = \frac{(r\,r_1)^{3/2}}{a\,b} = \frac{p}{\sin^3 F\,C\,T} = \frac{p}{\sin^3 u}$$

Построеніе. Проведя нормаль CG (черт. 12) въ точкѣ C кривой, соединивъ C съ фокусомъ F и, проведя затѣмъ $GH \perp GC$, а HK перпендикулярно къ CH найдемъ точку K—центръ круга кривизны.

Черт. 12.



Для вершины A въ эллипсѣ и гиперболѣ рад. кривизны:

$$\varrho' = A\,M = \frac{b^2}{a} = p.$$

Для вершины B въ эллипсѣ:

$$\varrho'' = B\,N = \frac{a^2}{b}$$

Проведя черезъ D прямую $\perp AB$ (черт. 12), найдемъ центры круговъ кривизны M и N для вершинъ эллипса.

12. **Полярное уравненіе коническихъ сѣченій**. Принявъ фокусъ F за полюсъ и FA за полярную ось (черт. 10 и 11), имѣемъ уравненіе коническихъ сѣченій въ полярной системѣ координатъ:

$$r = \frac{-\,p}{1 + e\cos\varphi} = \pm\,\frac{a\,(1 - e^2)}{1 + e\cos\varphi}$$

НТБ ДНУЗТ

13. **Площадь.** Въ эллипсѣ (черт. 10):

$$\text{площадь } OBCQ = \frac{xy}{2} + \frac{ab}{2} \arcsin \frac{x}{a}.$$

Площадь всего эллипса $= \pi ab$.

Въ гиперболѣ (черт. 11):

$$\text{площадь } ACQ = \frac{xy}{2} - \frac{ab}{2} \ln\left(\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right).$$

Вычитаемое представляетъ площадь OCA.

$$\text{Площадь } OA_1C_1V = \frac{ab}{4} + \frac{ab}{2} \ln \frac{2.OV}{OD}.$$

Площадь равнобокой гиперболы см. стр. 68.

14. **Длина дуги всего эллипса.**

$$U = \pi(a+b)\left[1 + {}^1/_4\left(\frac{a-b}{a+b}\right)^2 + {}^1/_{64}\left(\frac{a-b}{a+b}\right)^4 + {}^1/_{256}\left(\frac{a-b}{a+b}\right)^6 + \ldots\right] = \pi(a+b)x.$$

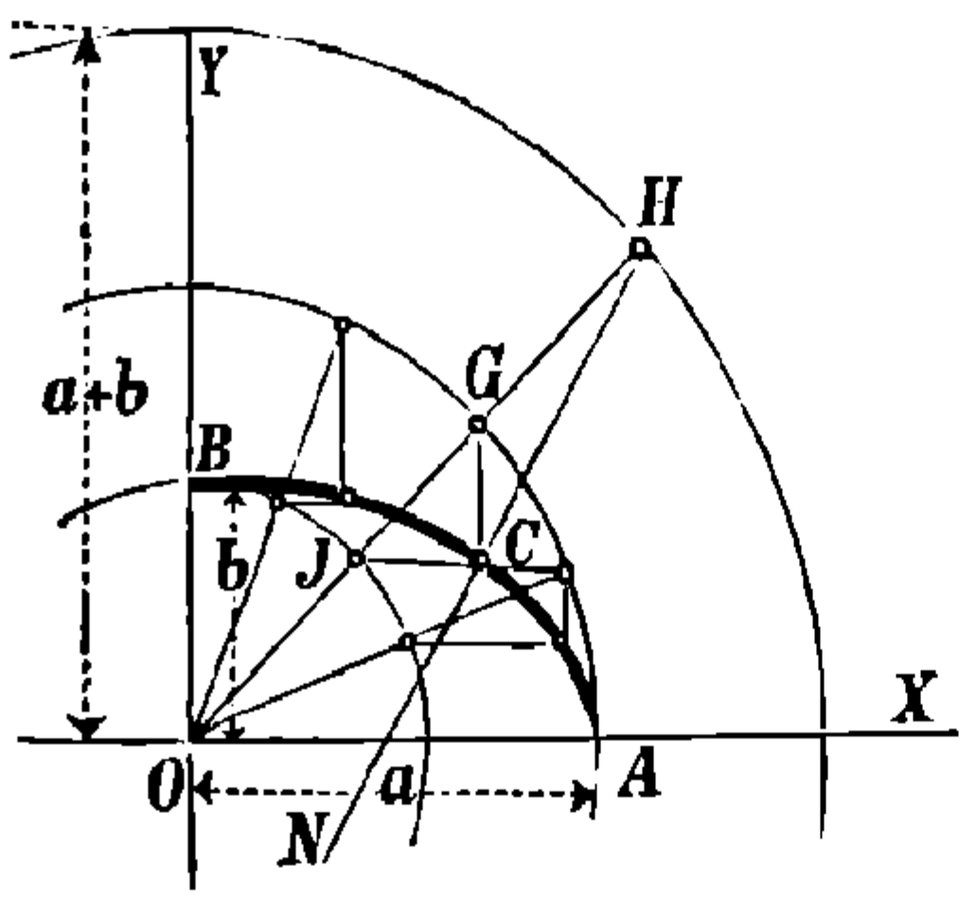
При вычисленіи $\pi(a+b)$ можно для $(a+b)=n$ воспользоваться таблицами стр. 2—21; для опредѣленія же x служитъ слѣд. таблица:

$\frac{a-b}{a+b} =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$x =$	1,0025	1,0100	1,0226	1,0404	1,0635	1,0922	1,1267	1,1677	1,2155	1,2732

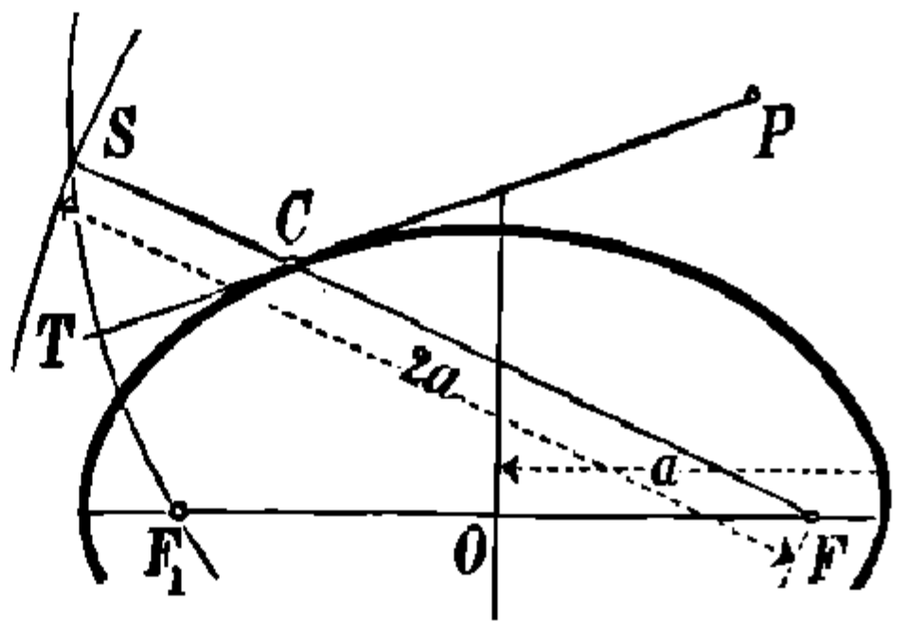
15. **Построеніе эллипса по даннымъ его полуосямъ** a и b (черт. 13).

α. Изъ точки O описываемъ окружности круга радіусами a, b и $a+b$, проводимъ произвольный радіусъ $OJGH$, затѣмъ изъ точки J ‖ -ную OA и изъ G ‖ -ную OB; точка C лежитъ на эллипсѣ, а HCN есть нормаль въ этой точкѣ.

Черт. 13.



Черт. 14.



β. Отрѣзокъ прямой, равный $a+b$, скользитъ своими конечными точками по сторонамъ прямого угла. Точка дѣленія (на a и b) описываетъ тогда эллипсъ.

16. **Построеніе насательной.**

α) **Въ точкѣ** C, данной на кривой (черт. 10 и 11). Дѣлятъ пополамъ уголъ между радіусами векторами CF и CF_1; см. 7., стр. 105.

β) **Изъ точки** P, находящейся внѣ кривой (черт. 14).

НТБ ДНУЗТ

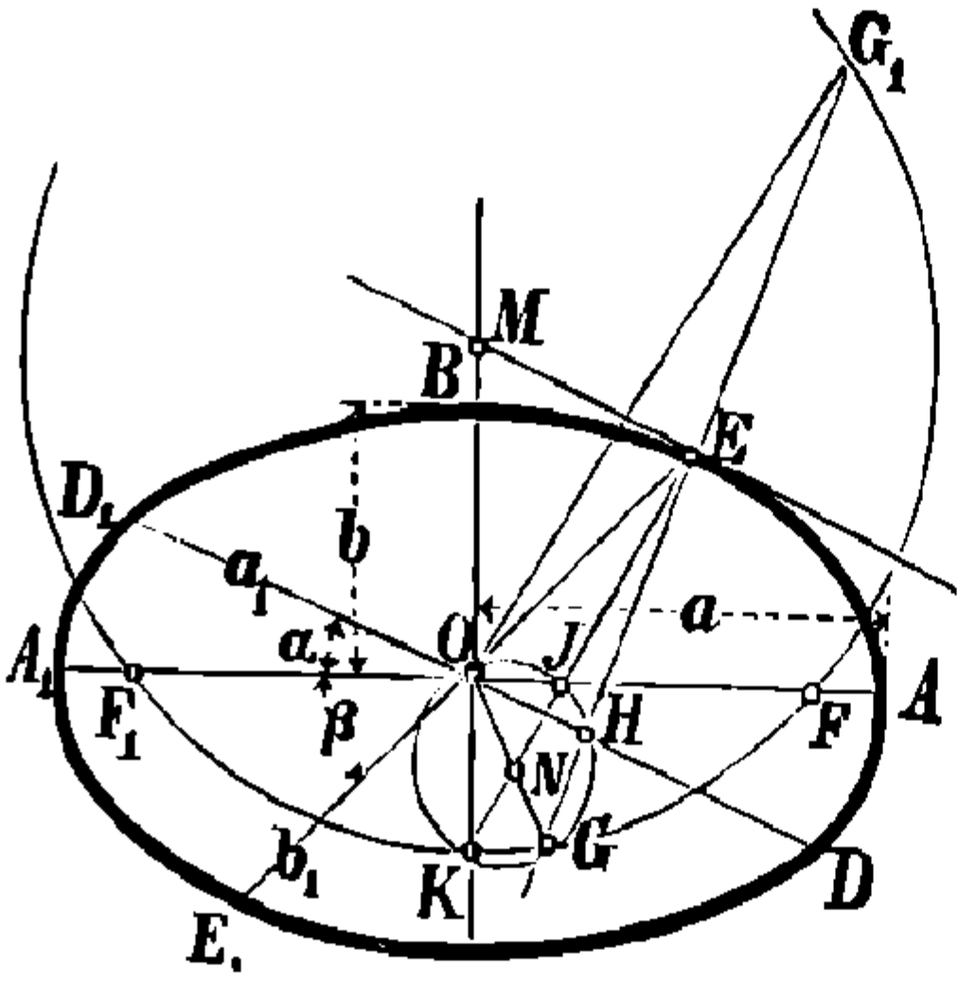
Описываемъ дуги: изъ точки P радіусомъ PF_1 и изъ точки F радіусомъ $2a$; соединивъ точку пересѣченія этихъ дугъ съ фокусомъ F, найдемъ точку касанія C.

17. Чтобы **построить главныя оси эллипса** по заданнымъ (по направленію и величинѣ) его сопряженнымъ діаметрамъ $DD_1=2a_1$ и $EE_1=2b_1$ (черт. 15), проводимъ $EH \parallel DD_1$, откладываемъ $EG=EG_1=OD_1=a_1$; тогда положеніе главной оси получится раздѣленіемъ пополамъ угла GOG_1. Длины же главныхъ осей равны:

$$2a = OG_1 + OG.$$
$$2b = OG_1 + OG.$$

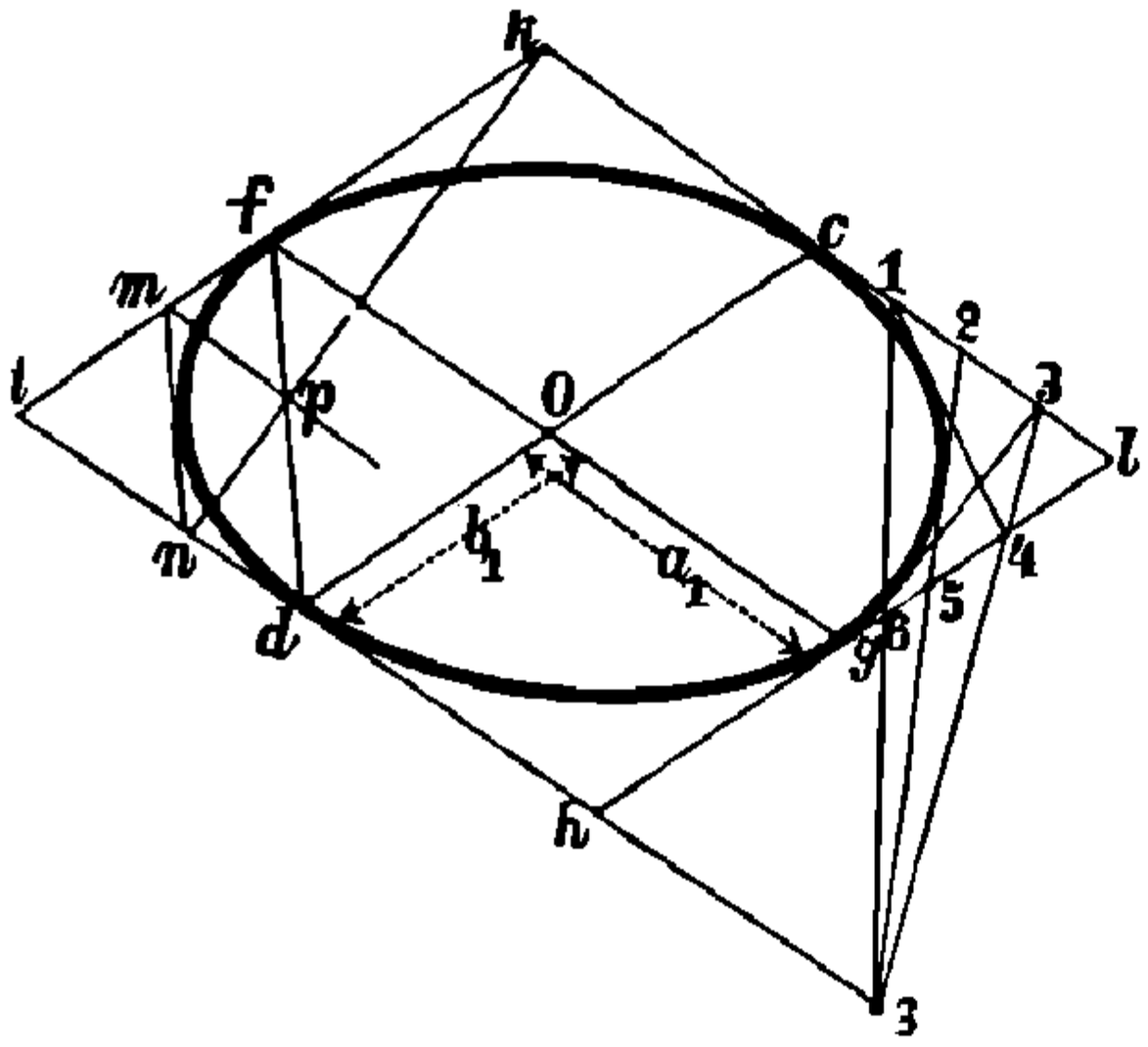
Или иначе: построивъ OG по предыдущему, описываемъ на OG, какъ на діаметрѣ, окружность; соединимъ точку E съ центромъ N этой окружности; въ пересѣченіи послѣдней прямой съ окружностью получаются точки J и K, принадлежащія главнымъ осямъ, а ихъ разстоянія отъ точки E представляютъ длины главныхъ полуосей.

Черт. 15.



Окружность, центръ которой M лежитъ на малой оси и которая проходитъ черезъ точки G и G_1, пересѣкаетъ большую ось въ фокусахъ F и F_1.

Черт. 16.



Точка E опишетъ эллипсъ, если перемѣщать линію G_1EH такъ, чтобы точка G_1 оставалась на линіи OG_1 и ея продолженіи, а H на DD_1.

Центръ круга кривизны есть сопряженная съ H четвертая гармоническая точка къ точкамъ G_1 H и G.

18. **Построеніе эллипса по его сопряженнымъ діаметрамъ** cd и fg (черт. 16).

α) Проводимъ $hdi \parallel lck \parallel gf$ и $lgh \parallel kfi \parallel cd$; продолжаемъ ih и откладываемъ $hs=dh$, дѣлимъ cl на произвольное число (4) равныхъ частей и проводимъ линіи $s1$, $s2$, $s3$, пересѣкающія gl въ

НТБ ДНУЗТ

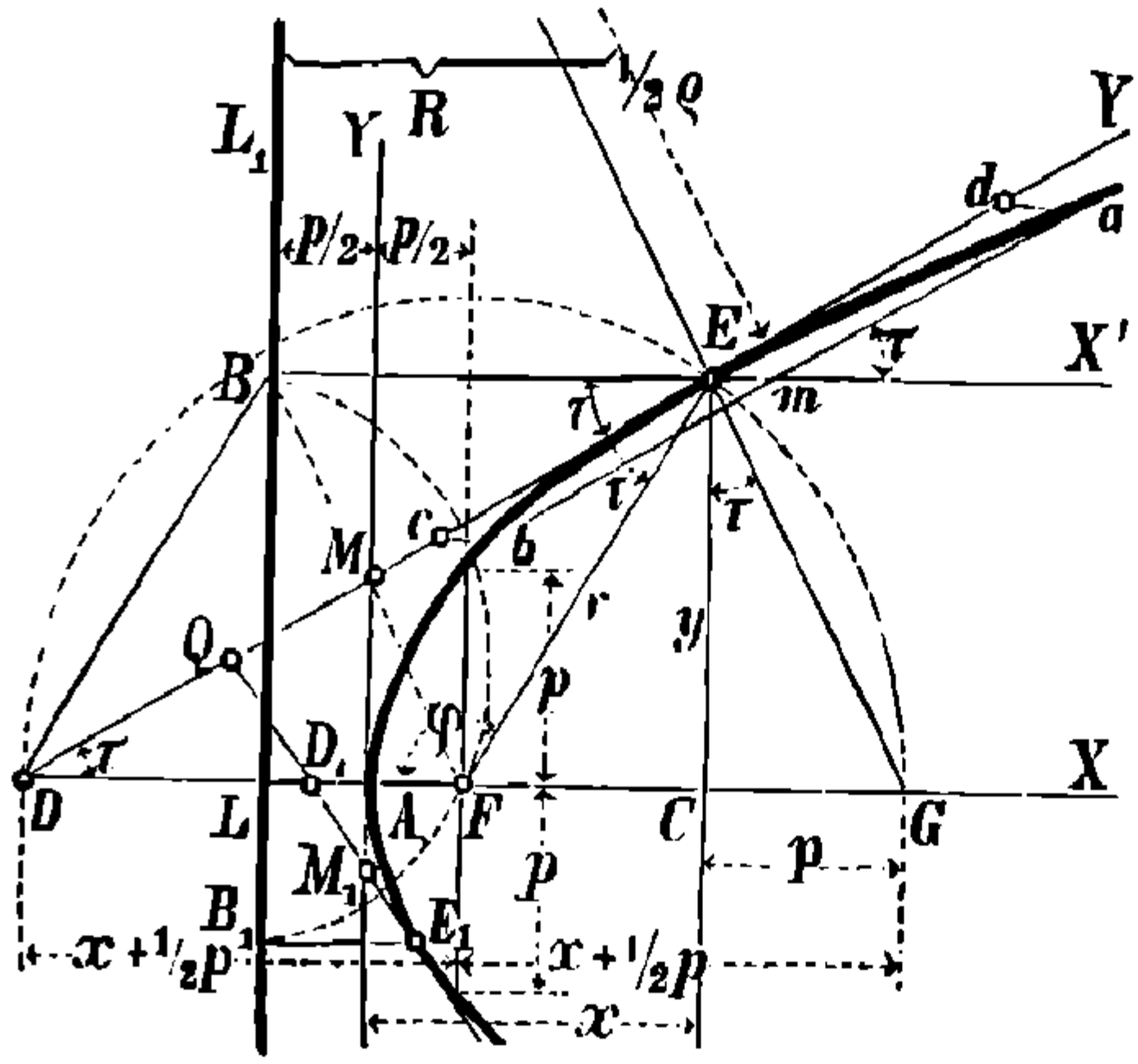
точкахъ 6, 5, 4; тогда прямыя 14, 25, 36 будутъ касательныя къ эллипсу.

β. Проведя прямую $f\,d$ (черт. 16) и взявъ на ней любую точку p, проведемъ затѣмъ $k\,p\,n$ и $p\,m \parallel g\,f$; тогда прямая $m\,n$ будетъ касательной къ эллипсу.

3. Парабола.

1. **Уравненіе относительно вершины**: $y^2 = 2\,p\,x$, гдѣ $2\,p$ параметръ.

Черт. 17.



2. **Разстояніе фокуса** F отъ вершины $AF = {}^1/_2\,p$ (черт. 17), гдѣ p ордината, проведенная изъ фокуса. Линія $L\,L_1 \parallel$-ная оси y-овъ и отстоящая отъ нея на разстояніи ${}^1/_2\,p = A\,L$, наз. **директрисой** параболы и служитъ **полярой** фокуса. Для каждой точки параболы $FE = E\,B = x + {}^1/_2\,p$.

3. Діаметръ $E\,X'$ (черт. 17) параболы дѣлитъ пополамъ всѣ хорды $\parallel$-ныя касательной $E\,Y'$, проведенной въ концѣ діаметра; онъ параллеленъ $A\,X$ и наз. діаметромъ, сопряженнымъ съ направленіемъ $E\,Y'$. Слѣд.: $a\,m = m\,b$.

Принявъ $E\,X'$ и $E\,Y'$ за координатныя оси, найдемъ уравненіе параболы:

$$y'^2 = \frac{2\,p}{\sin^2 \tau}\,x' = 2\,p'\,x'$$

4. **Уравненіе касательной** въ точкѣ (x, y):

$$\left.\begin{aligned} \eta\,y &= p\,(\xi + x). \\ \text{Уравненіе нормали: } \eta - y &= -\frac{y}{p}\,(\xi - x). \end{aligned}\right\} \quad \operatorname{tg}\tau = \operatorname{tg} u = \frac{p}{y}.$$

(См. стр. 97).

ξ и η означаютъ текущія координаты касательной и нормали.

Касательная $E\,D$ и нормаль $E\,G$ дѣлятъ пополамъ углы $F\,E\,B$ и $F\,E\,X'$.

Углы $C\,E\,G$, $B\,E\,D$, $D\,E\,F$, $F\,D\,E = \tau$; $D\,A = A\,C = x$;

$$D\,F = F\,E = F\,G = x + {}^1/_2\,p.$$

Ось y-овъ дѣлитъ пополамъ отрѣзокъ касательной между осью x-овъ и точкой касанія, такъ что $D\,M = M\,E$ и $D_1\,M_1 = M_1\,E_1$.

Поднасательная $D\,C = 2\,x$. **Поднормальная** $C\,G = p =$ постоянной.

КТБ ДНУЗТ

5. **Въ полярной системѣ координатъ** уравненіе параболы, отнесенной къ полярной оси FA и къ полюсу F:

$$r = \frac{p}{1 + \cos\varphi} = \frac{p}{2\cos^2 {}^1/_2\,\varphi}.$$

6. **Радіусъ кривизны** $\varrho = \dfrac{(p+2x)^{3/2}}{\sqrt{p}} = \dfrac{p}{\sin^3\tau}$.

Проекція ϱ на ось x-овъ $= 2EF = 2EB$ (черт. 17); поэтому $ER = {}^1/_2\,\varrho$. Для построенія ϱ пользуются указаніями (черт. 12), данными для эллипса и гиперболы. Радіусъ кривизны въ вершинѣ $= p$.

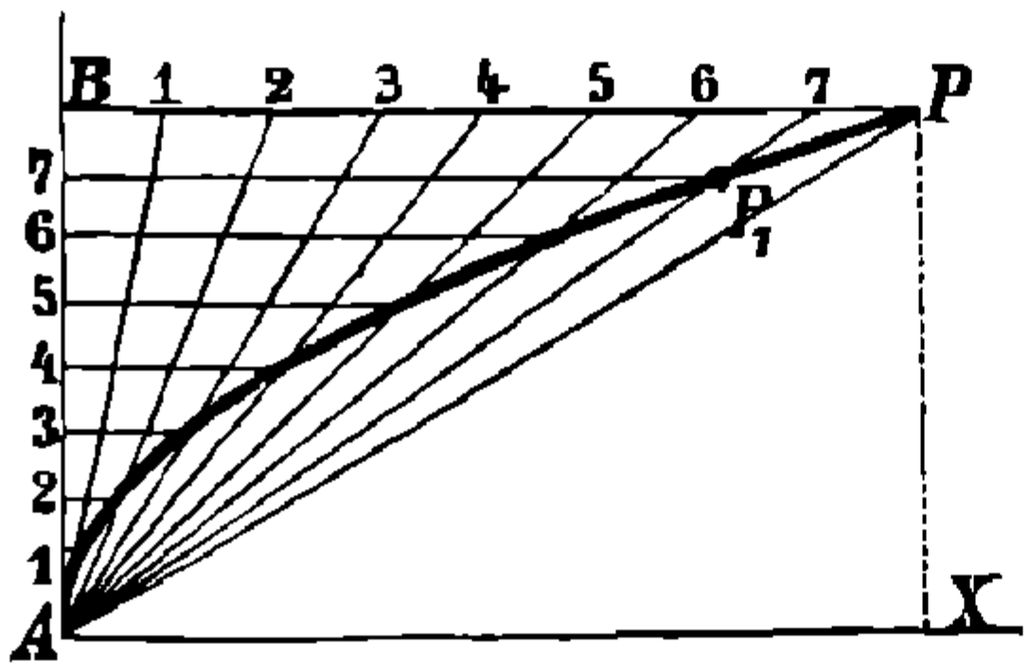
7. **Уравненіе эволюты:** $27\,p\,y^2 = 8\,(x-p)^3$ (парабола Нейля или полукубическая парабола) *).

8. **Площадь** $AEC = {}^2/_3\,x\,y$; площадь $aEb = {}^2/_3\,abcd$; приблизительно площадь F сегмента, ограниченнаго какой угодно частью кривой, $F = {}^2/_3\,g\,h$, гдѣ g — основаніе, а h высота сегмента.

9. **Длина дуги** AE (черт. 17):

$$s = \frac{p}{2}\left\{\sqrt{\frac{2x}{p}\left(1+\frac{2x}{p}\right)} + \ln\left(\sqrt{\frac{2x}{p}} + \sqrt{1+\frac{2x}{p}}\right)\right\} = EM + \frac{p}{2}\ln\operatorname{ctg}\frac{\tau}{2}.$$

Черт. 18.



Если $\dfrac{x}{y}$ малая дробь (какъ это бываетъ въ цѣнныхъ мостахъ), то приблизительно:

$$s = y\left[1 + {}^2/_3\left(\frac{x}{y}\right)^2 - {}^2/_5\left(\frac{x}{y}\right)^4\right]$$

По этой же формулѣ опредѣляется длина дуги любой плоской кривой, если вмѣсто y подставить g, а вмѣсто $\dfrac{x}{y}$ — величину $\dfrac{2h}{g}$ (ср. 8).

10. **Построеніе параболы.**

α) **По даннымъ: вершинѣ** A, **оси** AX **и точкѣ** параболы P (черт. 18). Проводимъ $AB \perp AX$; $PB \perp AB$; PB и AB дѣлимъ на одинаковое число равныхъ частей; соединяемъ, напр., точку 7 на PB съ A; изъ точки 7 на AB проводимъ $\parallel$-ную AX, тогда P_1 лежитъ на параболѣ.

---

*) Построеніе **полукубической и кубической параболы** см. отдѣлъ IV, сопротивленіе матеріаловъ, балки равнаго сопротивленія изгибу.

НТБ ДНУЗТ

β) **Даны: вершины** A **и фокусъ** F (черт. 19). Перемѣщая въ плоскости прямой уголъ такъ, чтобы вершина его оставалась всегда на прямой $A\,Y$ (черт. 19), а одна изъ сторонъ проходила всегда черезъ фокусъ, тогда другая будетъ постоянно касательна къ наработѣ.

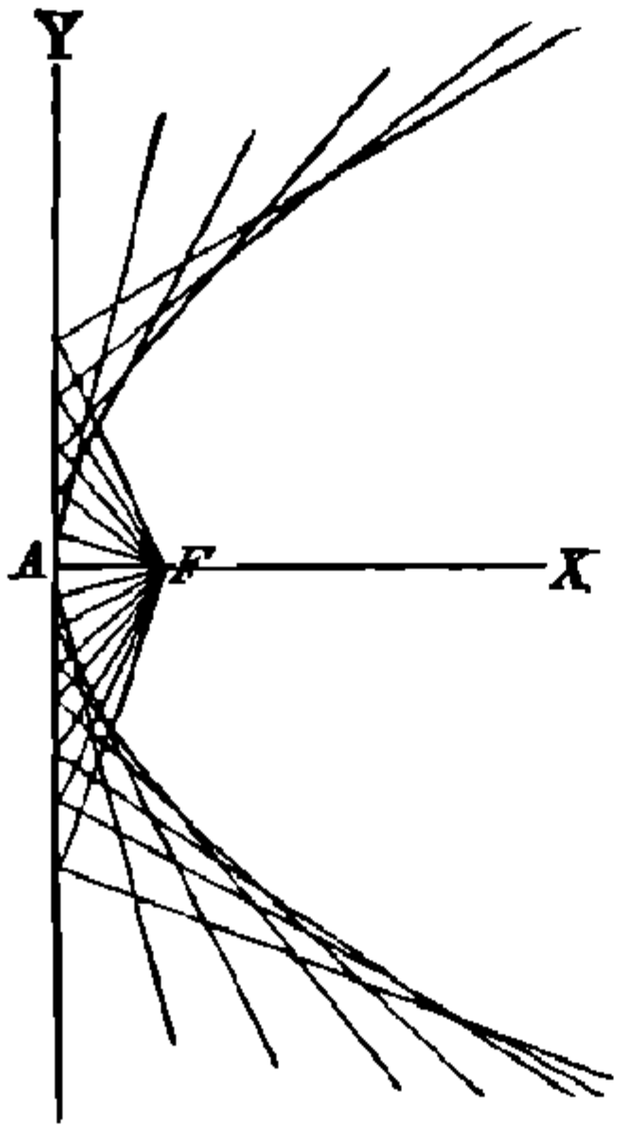
Или (черт. 17): Проводимъ CE перпендикулярно къ оси x-овъ AF, откладываемъ $CG = 2\,AF = p$. Окружность, описанная изъ F радіусомъ FG, въ пересѣченіи съ CE даетъ точку параболы E и точку пересѣченія D касательной ED съ осью x-овъ.

γ) **Даны: двѣ касательныя** $P\,G$ и $P\,H$ **и ихъ точки насанія** G и H (черт. 20).—Дѣлимъ $P\,G$ и $P\,H$ на n равныхъ частей (здѣсь на 7), тогда прямыя 11, 22, 33, 44, 55 и 66 касательны къ параболѣ.

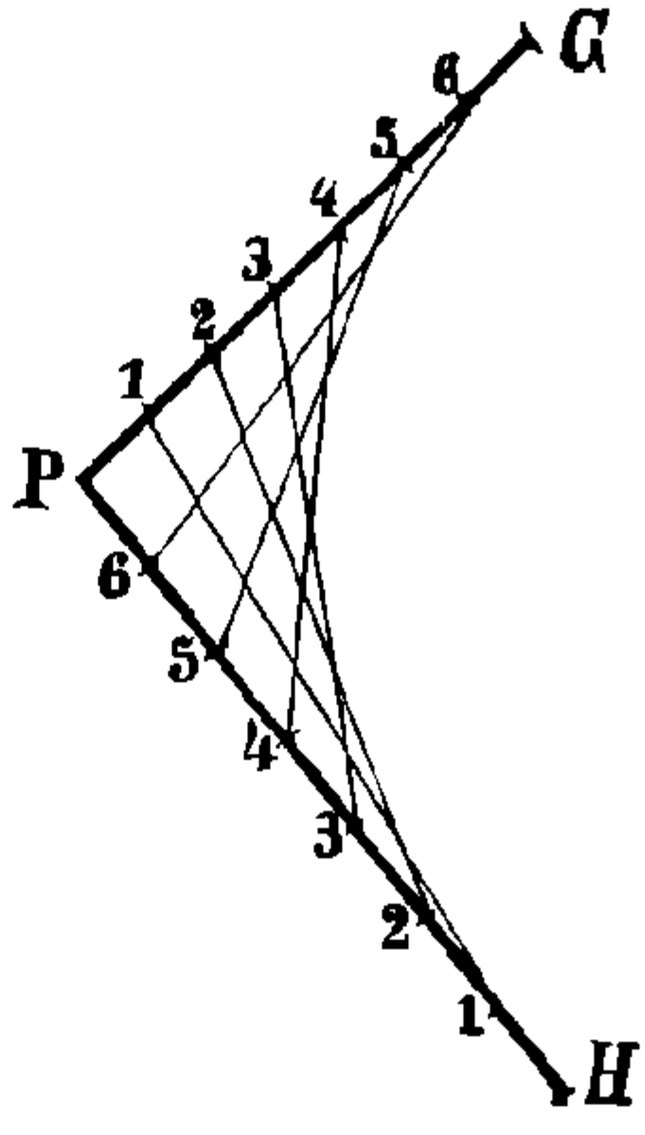
Это построеніе съ успѣхомъ примѣняется къ черченію плоскихъ кривыхъ.

δ) *) **Дана прямая** GH ($\parallel$ оси y) **и точка** P; G, H и P — точки параболы (черт. 21).

Черт. 19.



Черт. 20.



Проводимъ $H\,R$ и $P\,Q$ перпендикулярно къ $G\,H$, затѣмъ $G\,P\,R$ и $Q\,R$. Если $Q_1P_1 \perp$ къ $G\,H$ и $Q_1R_1 \parallel Q\,R$, то $G\,R_1$ пересѣкаетъ перпендикуляръ $Q_1\,P_1$ въ точкѣ P_1, принадлежащей параболѣ. $Q\,R$ параллельна касательной $G\,T$ въ точкѣ G. Перпендикуляръ $M\,T$ въ срединѣ $G\,H$ есть ось x-овъ и A — вершина параболы, такъ что $M\,A = A\,T$. Опредѣленіемъ касательныхъ $G\,T$ и $H\,T$ этотъ случай сводится къ случаю γ).

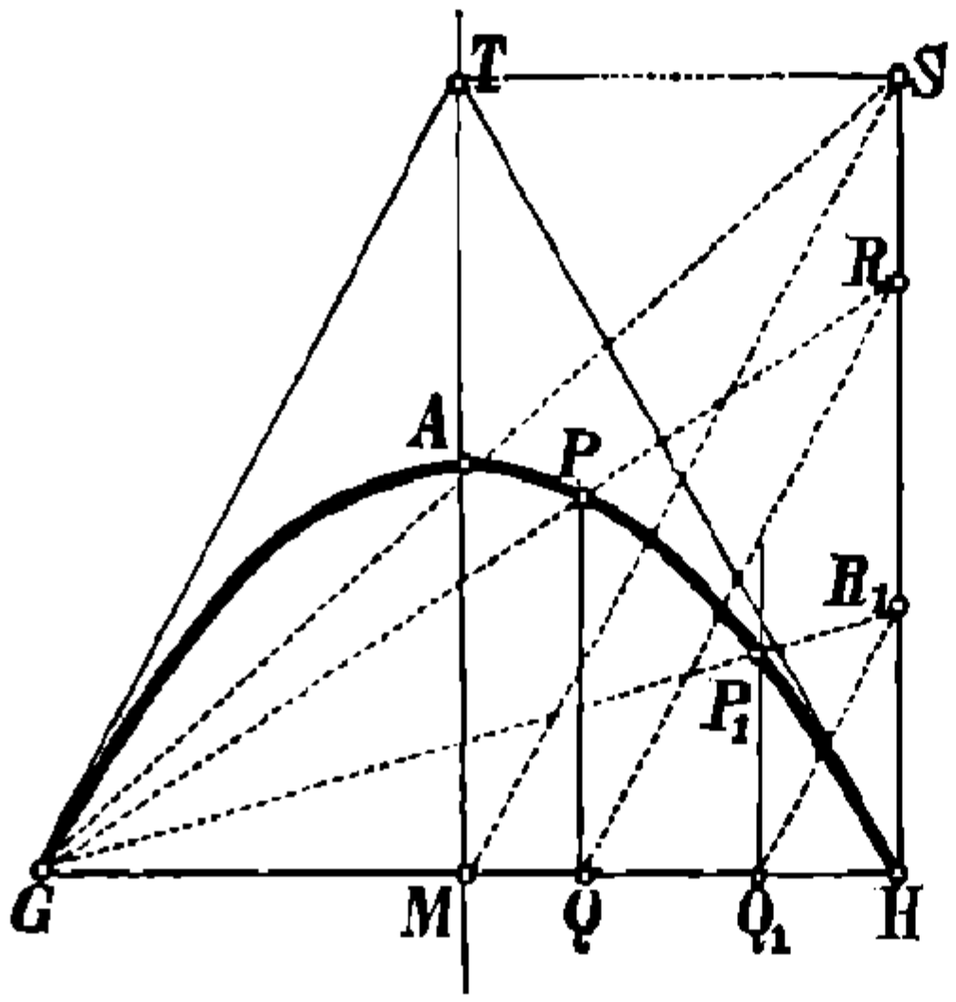
---

*) По v. Metzsch, Centralbl. d. Bauverw. 1891, стр. 144 и 255.

НТБ ДНУЗТ

Если даны точки H, P и положеніе оси x-овъ—MT, то проводимъ HM перпендикулярно къ оси x-овъ, продолжаемъ HM на величину $MG = HM$; дальнѣйшее построеніе производится по предыдущему.

Черт. 21.



11. **Построеніе касательной къ параболѣ:**

α) **Въ точкѣ E на параболѣ** (черт. 17). Откладываемъ $AD = AC$ или $DF = FE$; DE—искомая касательная.

Или: прямая, проведенная черезъ E параллельно оси x-овъ, пересѣкаетъ директрису LL_1 въ B; BF дѣлится осью y-овъ въ точкѣ M пополамъ, такъ что $BM = MF$; EM - искомая касательная.

β) **Изъ точки Q, внѣ параболы лежащей** (черт. 17). Описываемъ изъ Q окружность радіусомъ QF; проводимъ изъ B и B_1 линіи, параллельныя AX; тогда точки E и E_1 будутъ точки касанія касательныхъ QE и QE_1.

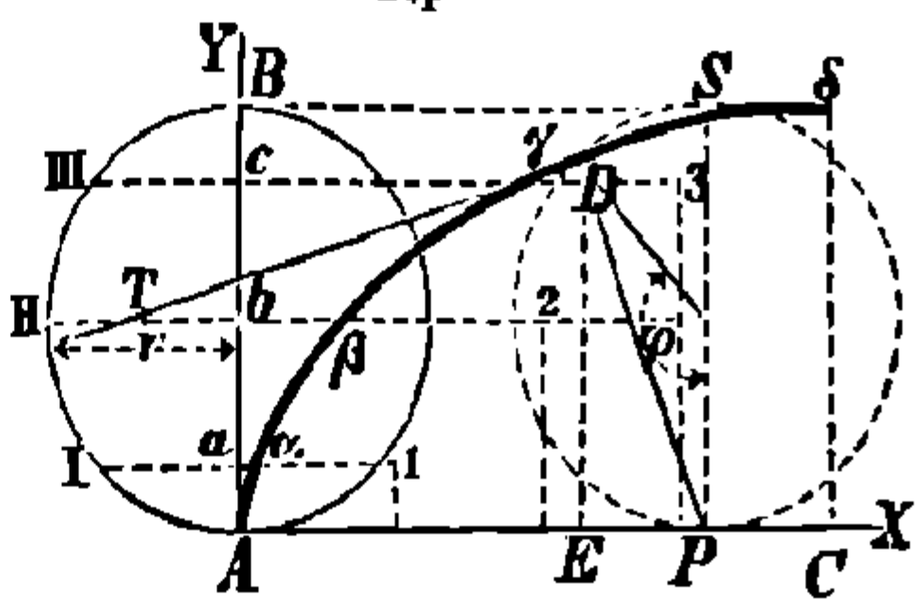
c. Циклоидальныя кривыя.

1. Обыкновенная циклоида.

1. **Циклоидой** наз. кривая линія, описанная точкой A окружности круга AB, когда этотъ послѣдній безъ скольженія катится по прямой AC.

2. **Построеніе** (черт. 22). Откладываемъ AC=дугѣ $AB = \pi r$, дѣлимъ AC и AB на одинаковое число равныхъ частей; опредѣляемъ точки пересѣченія 1, 2, 3 и откладываемъ $1\alpha = a\,\mathrm{I}$, $2\beta = b\,\mathrm{II}$ и $3\gamma = c\,\mathrm{III}$; точки α, β и γ лежатъ на циклоидѣ.

Черт. 22.



3. **Уравненія циклоиды**, отнесенныя къ осямъ AC (ось x-овъ) и AB (ось y-овъ):

$$x = r(\varphi - \sin\varphi); \qquad y = r(1 - \cos\varphi).$$

$$x = r \arccos\frac{r - y}{r} \pm \sqrt{(2r - y)y}.$$

НТБ ДНУЗТ

4. **Нормаль** въ какой-нибудь точкѣ D циклоиды всегда проходитъ черезъ точку касанія соотвѣтственнаго положенія производящаго круга съ основаніемъ AC. PD нормаль, SDT касательная. $PD = 2r \sin {}^1/_2 \varphi = \sqrt{2ry}$.

5. **Радіусъ кривизны:** $\varrho = 4r \sin {}^1/_2 \varphi = 2\sqrt{2ry}$.

Радіусъ кривизны ϱ въ 2 раза длиннѣе нормали. Для вершины δ имѣемъ $\varrho = 4r$; для A имѣемъ $\varrho = 0$.

6. **Эволюта циклоиды** такая же циклоида, какъ и данная, только имѣющая другое расположеніе.

7. **Площадь** $AED = r^2({}^3/_2\varphi - \sin 2\varphi + {}^1/_4 \sin 2\varphi) =$
$= {}^3/_2 rx - {}^1/_2 y\sqrt{(2r - y)y}$;
площ. $AC\delta = {}^3/_2 \pi r^2$.

8. **Длина дуги** $AD = 4r(1 \quad \cos {}^1/_2 \varphi) = 4r - 2\sqrt{2r(2r - y)}$.
Длина $A\delta = 4r$.

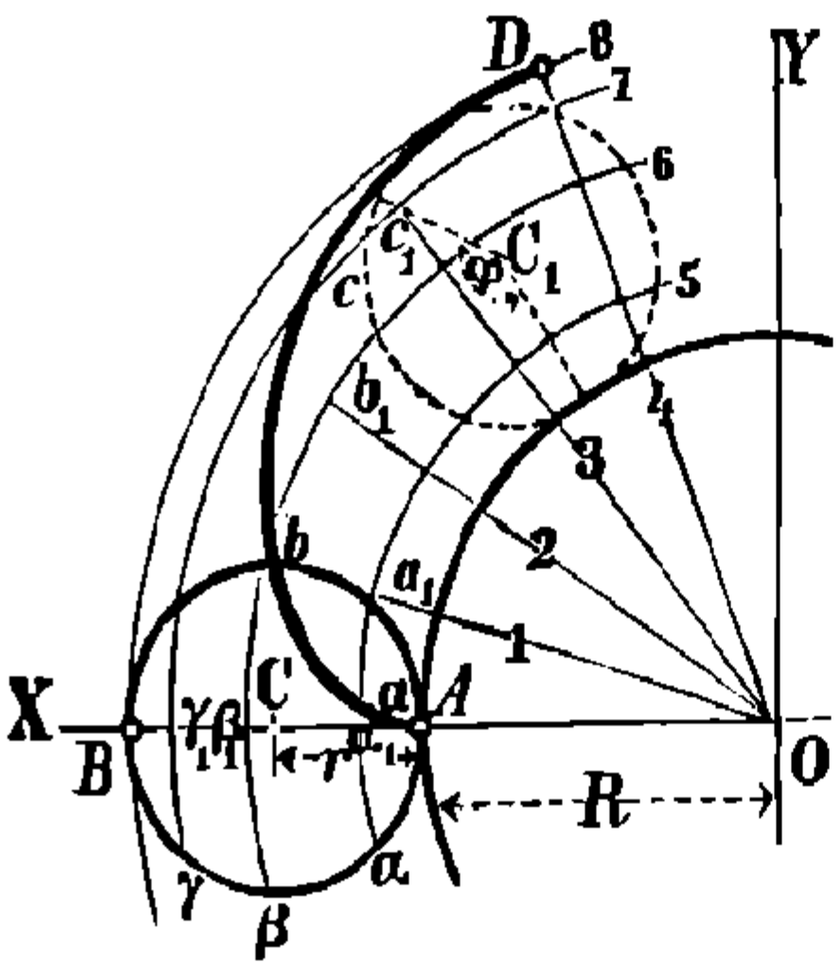
9. **Удлиненная** или **укороченная циклоида** получается, когда описывающая циклоиду точка находится **внутри** или **снаружи** производящаго круга на разстояніи p отъ его центра. Уравненіе такой циклоиды:

$$x = r\varphi - p \sin \varphi; \qquad y = r - p \cos \varphi.$$

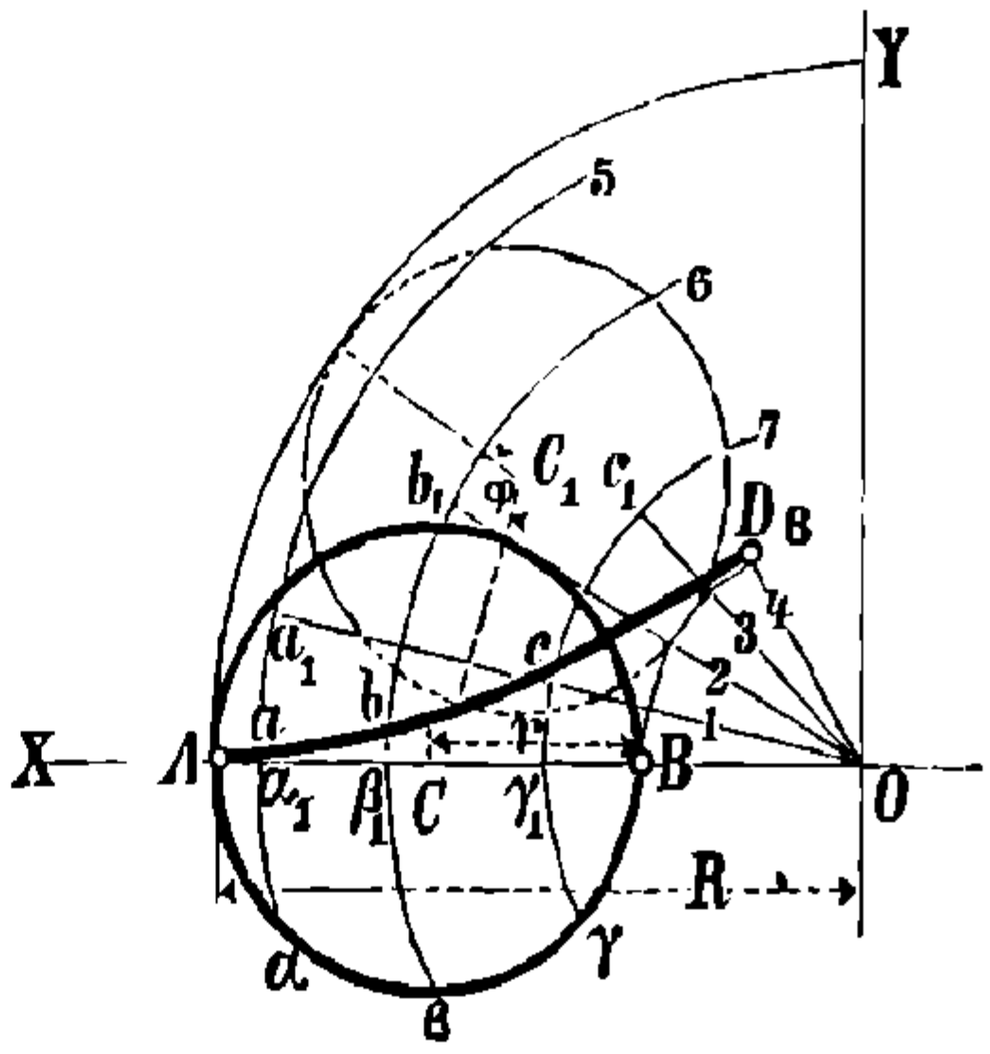
2. Эпициклоида и гипоциклоида.

1. **Эпициклоида** или **гипоциклоида** описываются точкой A окружности круга AC, когда этотъ послѣдній катится безъ скольженія по окружности OA **внѣ** (черт. 23) или **внутри** (черт. 24) ея.

Черт. 23.



Черт. 24.



2. **Построеніе** (черт. 23 и 24). Дѣлимъ полуокружность AB и уголъ $AOD = \frac{r}{R} 180^0$ на одинаковое число равныхъ частей, проводимъ радіусы 1, 2, 3, 4 черезъ точку O и дуги окружностей 5, 6, 7, 8 описываемъ изъ O; откладывая затѣмъ $a_1 a = \alpha_1 \alpha$, $b_1 b = \beta_1 \beta$ и

НТБ ДНУЗТ

$c_1 c = \gamma_1 \gamma$, получимъ точки A, a, b, c, D, принадлежащія эпициклоидѣ (черт. 23) или гипоциклоидѣ (черт. 24).

3. **Уравненія.** (Верхніе знаки относятся къ эпициклоидѣ, нижніе—гипоциклоидѣ):

$$x = (R \pm r)\cos\left(\frac{r}{R}\varphi\right) \mp r\cos\left(\frac{R \pm r}{R}\varphi\right);$$

$$y = (R \pm r)\sin\left(\frac{r}{R}\varphi\right) - r\sin\left(\frac{R \pm r}{R}\varphi\right).$$

Гипоциклоида R, r идентична гипоциклоидѣ $R, R-r$ или эпициклоидѣ R, $r-R$, смотря по тому, будетъ ли r меньше или больше R.

4. **Нормаль** въ какой-либо точкѣ всегда проходитъ чрезъ точку касанія соотвѣтственнаго положенія производящаго и основного круговъ.

5. **Радіусъ кривизны:**

$$\varrho = \frac{4r(R \pm r)}{R \pm 2r}\sin {}^1/_2\,\varphi.$$

Для точки A имѣемъ: $\varrho' = 0$; для точки D имѣемъ:

$$\varrho'' = 4r\,\frac{R \pm r}{R \pm 2r}.$$

6. **Эволюта** этихъ кривыхъ сеть подобная или гипоциклоида.

7. **Площадь.** Площадь. заключенная между AO, кривою и однимъ изъ лучей:

$$= \frac{r(R \pm r)(R \pm 2r)}{2R}(\varphi - \sin\varphi).$$

8. **Длина дуги:**

$$s = 4r\,\frac{R \pm r}{R}(1 - \cos {}^1/_2\,\varphi);\ \text{дуга}\ AD = 4r\,\frac{(R \pm r)}{R}.$$

9. **Уравненія** этихъ кривыхъ исключеніемъ φ обращаются въ алгебраическія, если отношеніе R къ r есть цѣлое число.

При $r = {}^1/_2\,R$ гипоциклоида превращается въ прямую, имѣющую направленіе AO. Каждая точка, не лежащая на окружности катящагося круга, описываетъ тогда эллипсъ.

При $r = {}^1/_4\,R$ гипоциклоида обращается въ **астроиду**, уравненіе которой:

$$x^{2/3} + y^{2/3} = R^{2/3}.$$

При $r = R$ гипоциклоида обращается въ **кардіоиду**. Уравненіе кардіоиды имѣетъ видъ, если A начало координатъ (черт. 23) и AO положит. направл. оси x-овъ:

$$(y^2 + x^2 - 2Rx)^2 = 4R^2(x^2 + y^2),$$

НТБ ДНУЗТ

или въ полярныхъ координатахъ ϱ и ψ:

$$\varrho = 2R(1 + \cos\psi).$$

При $r = \infty$ катящаяся окружность обращается въ прямую, соотвѣтствующая кривая—въ развертку круга (см. ниже **3.**).

10. **Удлиненная и укороченная эпи- или гипоциклоида** получаются, когда точка, описывающая кривыя, находится **внѣ** или **внутри** катящагося круга на разстояніи p отъ его центра; уравненія этихъ кривыхъ:

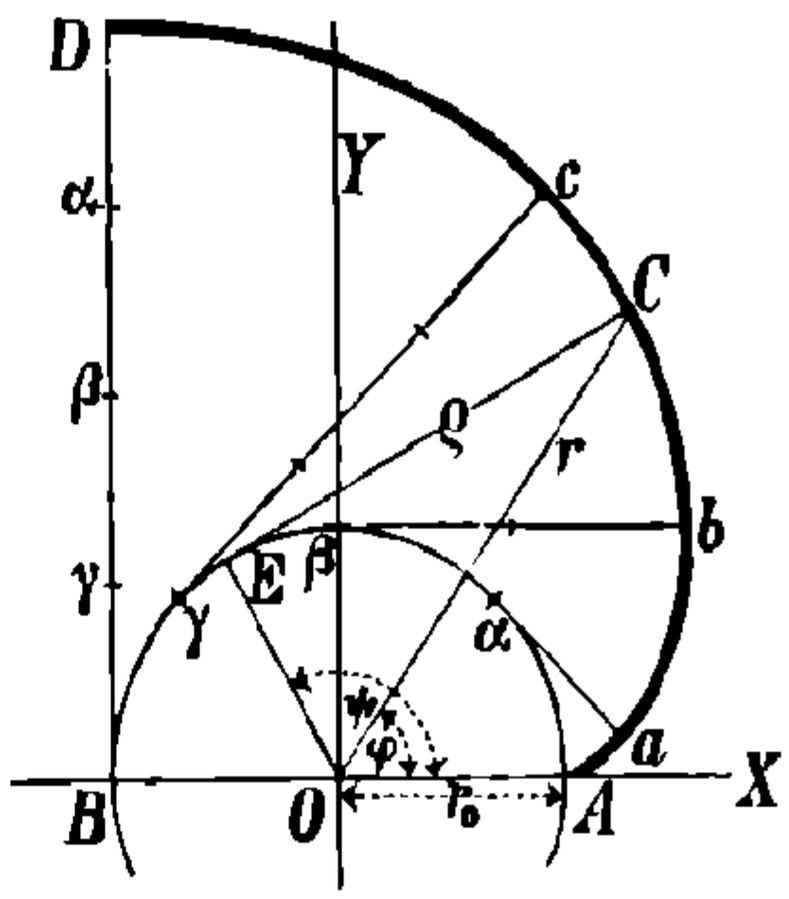
$$x = (R \pm r)\cos\left(\frac{r}{R}\varphi\right) \mp p\cos\left(\frac{R \pm r}{R}\varphi\right);$$

$$y = (R \pm r)\sin\left(\frac{r}{R}\varphi\right) - p\sin\left(\frac{R \pm r}{R}\varphi\right).$$

3. Развертка круга.

1. Кривая эта описывается какой-нибудь точкой прямой линіи, катящейся безъ скольженія по данной окружности (на этомъ основано построеніе кривой посредствомъ нитки).

Черт. 25.



2. **Построеніе** (черт. 25). Откладываемъ $B\,D =$ дугѣ $A\,B$ и дѣлимъ обѣ на n (здѣсь 4) равныхъ частей; проводимъ затѣмъ касательную $\alpha\,\alpha$ въ точкѣ α, равную $\alpha\,D = {}^1/_4\,B\,D$, въ точкѣ β касательную $\beta\,D = {}^2/_4\,B\,D$ и т. д. Точки A, a, b, c, D лежатъ на развертkѣ круга.

3. **Уравненія развертки круга**:

$$x = r_0(\cos\psi + \psi\sin\psi);$$
$$y = r_0(\sin\psi - \psi\cos\psi);$$

а въ полярной системѣ координатъ

$$\varphi = \sqrt{\frac{r^2}{r_0^2} - 1} - \operatorname{arc\,tg}\sqrt{\frac{r^2}{r_0^2} - 1}.$$

4. **Радіусъ кривизны** ϱ въ какой-нибудь точкѣ C по величинѣ и направленію равенъ касательной CE, проведенной изъ этой точки къ основному кругу, т. е. равенъ длинѣ развернутой дуги $A\,E$.

5. **Длина дуги** AC, соотвѣтствующей углу ψ, равна: $s = \dfrac{\varrho^2}{2r_0} = \dfrac{r_0\psi^2}{2}$

6. **Площадь** $A\,C\,O = {}^1/_6\,r_0^2\,\psi^3$.

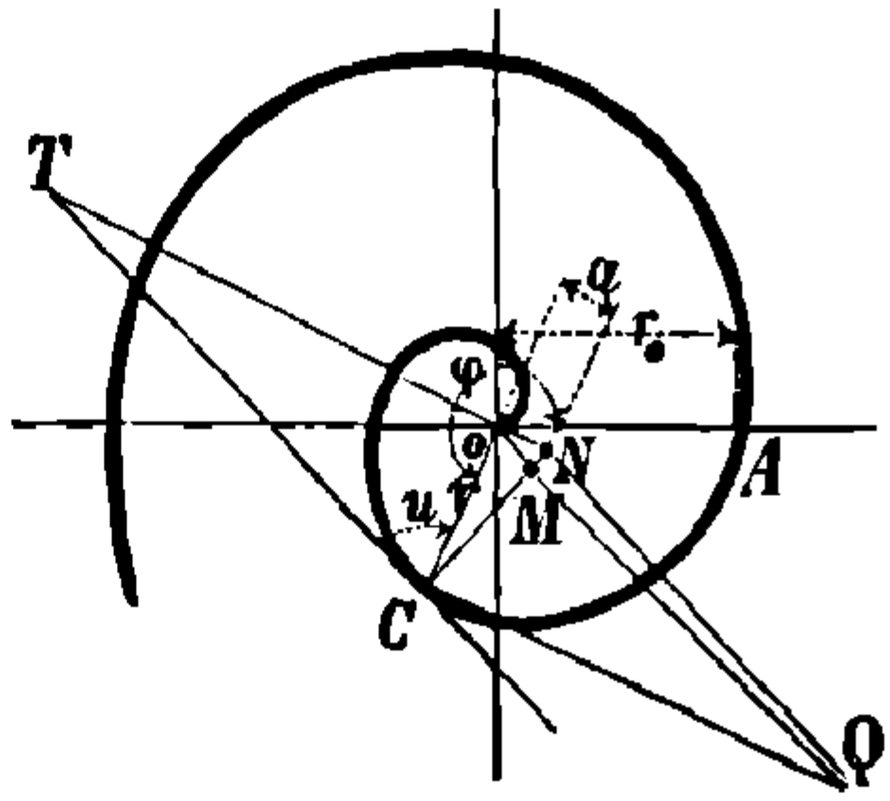
НТБ ДНУЗТ

d. Спирали.

1. Архимедова спираль.

1. Криван эта представляетъ путь, описанный точкой C (черт. 26), съ равномѣрною скоростью движущейся по лучу OC, который въ свою очередь равномѣрно вращается около постоянной точки полюса — O. Если одному обороту луча OC ($= 360^0$) соотвѣтствуетъ путь точки C по $OC = r_0$; то при $\frac{1}{n}$ оборота величина радіуса вектора $= \frac{r_0}{n}$, на чемъ основано построеніе этой кривой.

Черт. 26.



2. **Уравненіе въ полярной системѣ координатъ**: $r = a\varphi = \frac{r_0}{2\pi}\varphi$, гдѣ r — радіусъ-векторъ, φ — полярный уголъ, отсчитываемый отъ OA.

3. Проведя къ Архимедовой спирали въ какой-либо ея точкѣ C касательную CT, затѣмъ линію $OT \perp OC$ и $CN \perp CT$, имѣемъ, что **полярная подкасательная** $OT = \frac{r^2}{a}$, **полярная поднормальная** $ON = a = \text{const.}$; на этомъ и основано проведеніе касательной къ спирали. (Ср. гиперболическую спираль, стр. 117).

4. **Радіусъ кривизны**: $\varrho = \frac{(a^2 + r^2)^{3/2}}{2a^2 + r^2}$

Проведя въ N къ CN и въ C къ OC (черт. 26) перпендикуляры, пересѣкающіеся въ точкѣ Q, соединимъ затѣмъ O съ Q; пересѣченіе OQ съ нормалью CN дастъ центръ круга кривизны M

5. **Длина дуги**:

$$s = \frac{r_0}{4\pi}\left[\varphi\sqrt{1+\varphi^2} + \ln\left(\varphi + \sqrt{1+\varphi^2}\right)\right]$$

$$= \frac{r_0}{4\pi}\left[\varphi\sqrt{1+\varphi^2} + \operatorname{Ar\,sinh}\varphi\right],$$

приблизительно (для многихъ оборотовъ): $s = \frac{r_0}{4\pi}\varphi^2$.

2. Гиперболическая спираль.

1. Если на произвольной прямой BB_1 (полярной оси), какъ на діаметрѣ, описать систему концентрическихъ окружностей, на которыхъ съ одной и той же стороны прямой будемъ откладывать дуги

НТБ ДНУЗТ

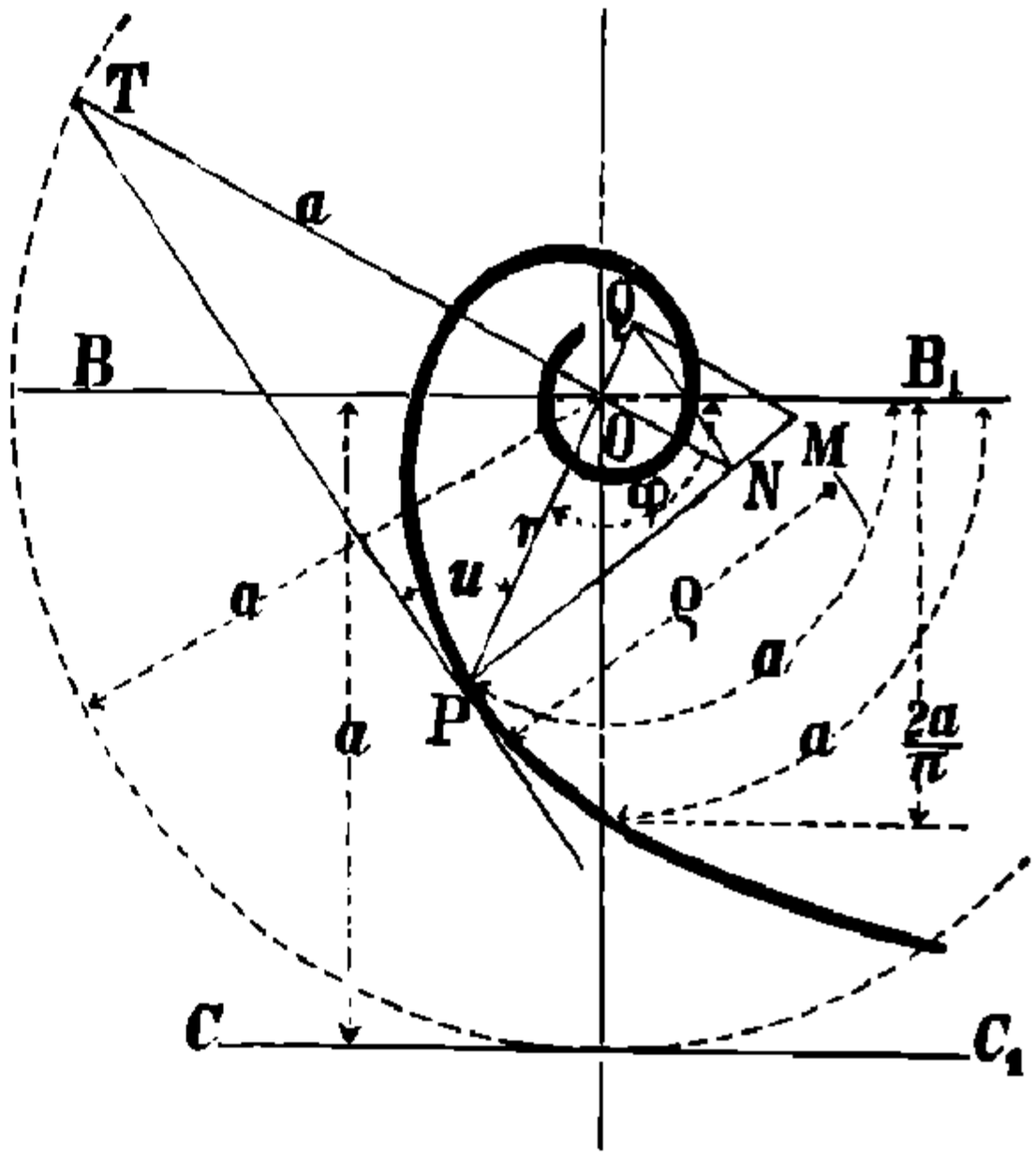
длиной a, то геометрическое мѣсто концовъ этихъ дугъ и предста витъ гиперболическую спираль. **Уравненіе спирали:**

$$r\,\varphi = a.$$

При $\varphi = \infty$, $r = 0$; слѣд., полюсъ этой кривой O есть **асимптотическая точка**, около которой кривая дѣлаетъ безчисленное множество оборотовъ, никогда ея не достигая.

При $\varphi = 0$, $r = \infty$, слѣд. прямая CC', проведенная ‖-но полярной оси на разстояніи a отъ нея, есть **асимптота** кривой.

Черт. 27.



2. Проведя въ какой-либо точкѣ P (черт. 27) касательную PT, затѣмъ $OT \perp OP$, $PN \perp PT$, имѣемъ:

полярная поднормальная $ON = -\dfrac{r^2}{a}$;

полярная подкасательная $OT = -a = \text{const.}$ (См. стр. 116).

Отсюда и вытекаетъ построеніе касательной къ спирали.

3. **Радіусъ кривизны:** $\varrho = \dfrac{r}{\sin^3 OTP} = \dfrac{r}{\cos^3 u}$

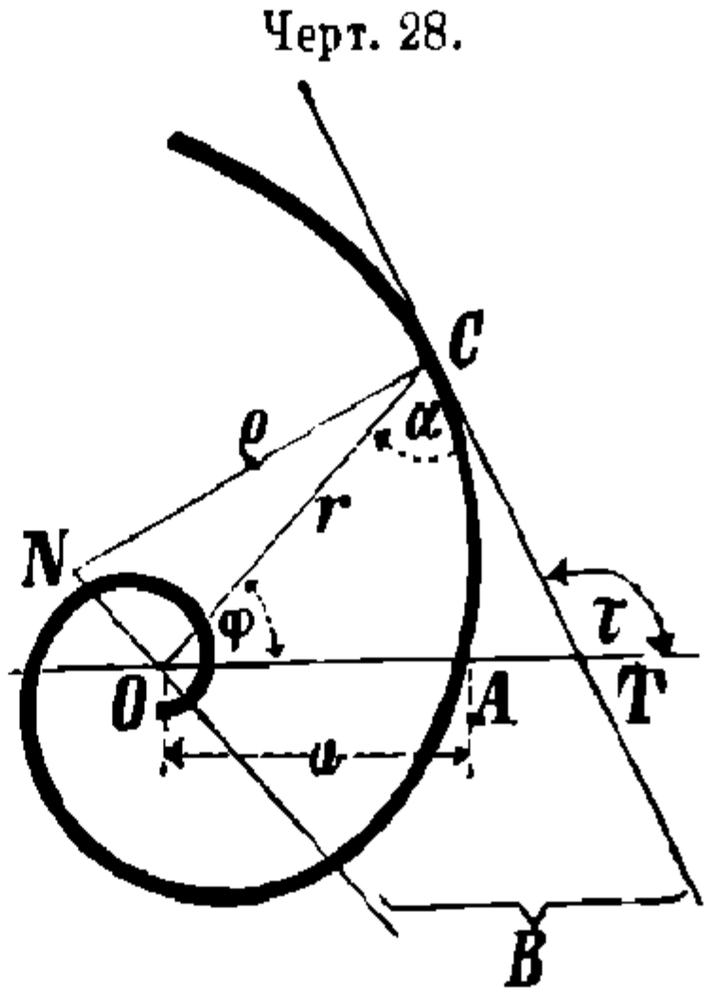
Проведя въ точкѣ N перпендикуляръ къ PN (черт. 27) до пересѣченія съ продолженіемъ OP въ точкѣ Q, затѣмъ въ точкѣ Q перпендикуляръ къ PQ до пересѣченія въ M съ продолженною нормалью PN, получимъ точку пересѣченія M — центръ круга кривизны.

3. Логариѳмическая спираль.

1. **Уравненіе:** $r = ae^{m\varphi}$ (черт. 28); при $\varphi = 0$, $r = OA = a$; при $\varphi = -\infty$, $r = 0$; посему полюсъ O есть **асимптотическая точка**, къ которой при отрицательномъ φ спираль все болѣе и болѣе приближается, никогда, впрочемъ, ея не достигая.

2. **Касательная** CT въ любой точкѣ C образуетъ съ радіусомъ-векторомъ OC постоянный уголъ $u = \alpha = \text{const}$, такъ что $\operatorname{cotg}\alpha = m$.

Черт. 28.



НТБ ДНУЗТ

3. **Полярная поднормальная** $ON = r \operatorname{cotg} \alpha = r\, m.$

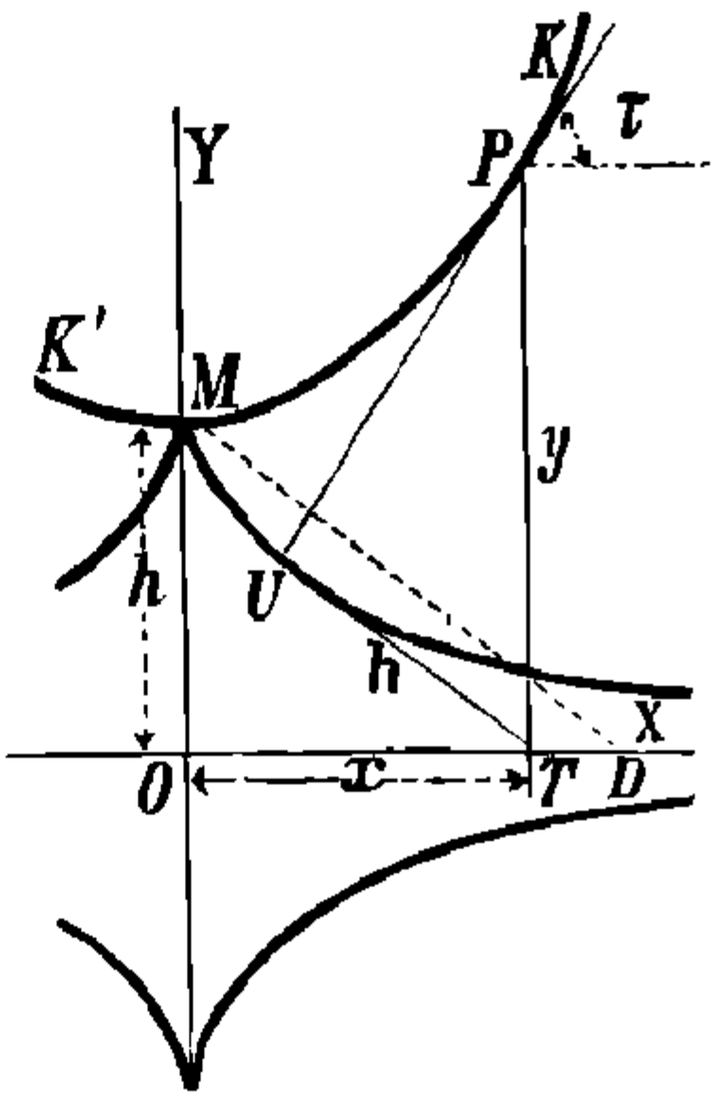
Полярная нормальная $CN = r\sqrt{1+m^2} = \dfrac{r}{\sin\ \alpha}$ = **радіусу кривизны** ρ въ точкѣ C.

4. **Эволюта** логариѳмической спирали есть такая же кривая, только повернутая относительно данной на уголъ $\dfrac{\pi}{2} - \dfrac{\ln m}{m}$

5. **Площадь**, описываемая радіусомъ-векторомъ r отъ $\varphi = -\infty$ (полюсъ) до $+\varphi$, т. е. до точки C кривой = половинѣ площади треугольника OBC, образованнаго радіусомъ-векторомъ, касательной и полярной подкасательной, и равна $r^2 : 4\,m$.

6. **Длина дуги.** Длина дуги спирали отъ полюса до точки $C = \dfrac{r}{\cos\ \alpha} =$ = длинѣ касательной CT отъ C до ея пересѣченія съ $NO = CB$.

Черт. 29.



е. Цѣпная линія.

Обыкновенная цѣпная линія есть кривая равновѣсія вполнѣ гибкой нити, которая подвѣшена въ двухъ точкахъ и нагрузка которой вездѣ пропорціональна длинѣ нити. Параметръ $= h$.

1. **Уравненіе:**

$$y = \frac{h}{2}\left(e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}\right) = h\cosh\frac{x}{h};$$

$$x = h\ln\left(\frac{y}{h} \pm \sqrt{\left(\frac{y}{h}\right)^2 - 1}\right) = h\ \mathrm{Ar}\cosh\frac{y}{h}.$$

Начало координатъ расположено на $h = MO$ наинизшей точки цѣпной линіи KK' (черт. 29).

2. Уголъ τ. образуемый касательной UP въ любой точкѣ P съ осью x-овъ (горизонтальной), опредѣляется изъ выраженій:

$$\operatorname{tg}\tau = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{2}\left(e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}}\right) = \sinh\frac{x}{h} = \sqrt{\left(\frac{y}{h}\right)^2 - 1};$$

$$\cos\tau = \frac{h}{y}.$$

Вводя τ, какъ независимую перемѣнную, найдемъ слѣдующія два уравненія цѣпной линіи:

$$x = h\ln\frac{1+\sin\tau}{\cos\tau} = h\ln\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\tau}{2}\right) = h\ \mathrm{Ar}\sinh(\operatorname{tg}\tau);\quad y = \frac{h}{\cos\tau}.$$

НТБ ДНУЗТ

3. **Радіусъ кривизны** въ точкѣ P равенъ и направленъ обратно нормали въ точкѣ P, измѣренной отъ этой точки до оси x-овъ=

$$= \frac{y^2}{h} = \frac{h}{\cos^2 \tau}.$$

4. **Площадь** $OMPT$ равна

$$F = {}^1/_2 h^2 \left(e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}} \right) = h^2 \sinh \frac{x}{h} = h^2 \operatorname{tg} \tau = h \sqrt{y^2 - h^2}.$$

5. **Длина дуги** MP:

$$s = \frac{h}{2} \left(e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}} \right) = h \sinh \frac{x}{h} = h \operatorname{tg} x = \sqrt{y^2 - h^2} = PU = OD,$$

если $TU \perp PU$ и $MD \perp PU$.

$$x = h \ln \left[\frac{s}{h} + \sqrt{1 + \left(\frac{s}{h} \right)^2} \right] = h \operatorname{Ar} \sinh \frac{s}{h}.$$

На таблицахъ для гиперболическихъ функцій $\sinh x$ и $\cosh x$ (стр. 31 и 32) даны прямо значенія ординатъ и длины дуги цѣпной линіи для параметра $h = 1$.

6. **Эвольвента**. (**Тракторія Гюйгенса** или **антифрикціонная кривая**). Если свиваніе нити начинается въ вершинѣ M, то уравненіе эвольвенты (черт. 29) будетъ:

$$\left(\frac{x}{h} \right)^2 = \left[\sqrt{1 - \frac{y^2}{h^2}} - \ln \left(\pm \frac{h}{y} \pm \sqrt{\frac{h^2}{y^2} - 1} \right) \right]^2$$

$$= \left[\sqrt{1 - \frac{y^2}{h^2}} - \operatorname{Ar} \cosh \left(\pm \frac{h}{y} \right) \right]^2,$$

смотря по тому, будетъ ли y положительнымъ или отрицательнымъ; или также $x = h (\operatorname{tgh} \varphi - \varphi)$; $y = \pm \frac{h}{\cosh \varphi}$, гдѣ φ независимая перемѣнная.

Здѣсь h — постоянная длина UT касательной отъ кривой до оси x-овъ (черт. 29) $= MO$. Слѣд., тракторія обладаетъ тѣмъ свойствомъ, что длина касательной отъ кривой до оси x-овъ постоянна. Ось x-овъ есть асимптота четырехъ вѣтвей кривой. Эволюта тракторія есть цѣпная линія KMK' P—центръ круга кривизны; $\varrho = PU$ (см. выше).

Длина дуги $MU = h \ln (y : h)$.

7. Если назовемъ черезъ $2L$ длину цѣпи, $2l$ — горизонтальное и $2b$ — вертикальное разстояніе между точками привѣса, то параметръ h, начало координатъ и слѣд. наинизшая точка цѣпной линіи находятся слѣдующимъ образомъ. Посредствомъ пробъ опре-

НТБ ДНУЗТ

дѣляемъ съ помощью таблицъ для $\log \sinh \varphi$ (стр. 32) величину φ изъ:

$$\frac{\sinh \varphi}{\varphi} = \frac{\sqrt{L^2 - b^2}}{l} \text{ или изъ}$$

$$\log \sinh \varphi - \log \varphi = {}^1/_2 \log (L + b) + {}^1/_2 \log (L - b) - \log l.$$

Тогда $h = l : \varphi$. Вычисливъ затѣмъ величину ψ изъ $\operatorname{tgh} \psi = b \quad L$ (см. стр. 34), найдемъ, что начало координатъ находится на разстояніи $L \operatorname{ctgh} \varphi$ ниже средины прямой, соединяющей точки привѣса цѣпи, и въ горизонтальномъ разстояніи ψh отъ этой средины, причемъ это послѣднее разстояніе берется со стороны болѣе низкой точки привѣса цѣпи.

8. Если точки привѣса цѣпи находятся на одной высотѣ, то

$$b = 0, \qquad \frac{\sinh \varphi}{\varphi} = \frac{L}{l}, \qquad h = \frac{l}{\varphi}$$

Начало координатъ находится ниже точекъ привѣса на

$$y_0 = L \operatorname{ctgh} \varphi.$$

Уголъ привѣса α: $\cos \alpha = \dfrac{h}{y_0} = \dfrac{l \operatorname{tgh} \varphi}{L \varphi}$.

f. Уравненія нѣкоторыхъ другихъ кривыхъ.

Кривая.	Прямоугольныя координаты.	Полярныя координаты.
1. Циссоида.	$y^2 (a - x) = x^3$	$r = \dfrac{a \sin^2 \varphi}{\cos \varphi}$.
2. Лемниската.	$(x^2 + y^2)^2 = a^2 (x^2 - y^2)$	$r = a \sqrt{\cos 2\varphi}$.
3. Конхоида.	$(x^2 + y^2)(y - b)^2 = a^2 y^2$	$r = a + \dfrac{b}{\cos \varphi}$.
4. Листъ Декарта.	$x^3 + y^3 = 3 a x y$	$r = \dfrac{3 a \sin \varphi \cos \varphi}{\cos^3 \varphi + \sin^3 \varphi}$
5. Четверолистникъ	$(x^2 + y^2)^3 = 4 a^2 x^2 y^2$	$r = a \sin 2\varphi$.

1. **Циссоида**. Данъ кругъ діаметра a; въ одномъ концѣ неподвижнаго діаметра, принимаемаго за ось x-овъ, возставленъ перпендикуляръ, касательный къ кругу; изъ другого конца діаметра, принимаемаго за начало координатъ, проводимъ произвольныя сѣкущія до пересѣченія съ касательною. Если откладывать хорды, которыя отрѣзаются на этихъ сѣкущихъ окружностью круга, по направленію тѣхъ же сѣкущихъ, но отъ касательной, то получимъ рядъ точекъ, лежащихъ на циссоидѣ.

2. **Лемниската** есть геометрическое мѣсто всѣхъ точекъ, для которыхъ произведеніе разстояній ихъ отъ двухъ неподвижныхъ точекъ F и F_1, разстояніе между которыми $F F_1 = a \sqrt{2}$, постоянно и равно ${}^1/_2 a^2$.

НТБ ДНУЗТ

Двѣ вѣтви кривой, пересѣкающіяся на срединѣ отрѣзка $a\sqrt{2}$ (въ началѣ координатъ), перпендикулярны другъ другу. Полюсъ кривой равна a. Уголъ между радіусомъ-векторомъ и нормалью $= 2\varphi$. Для y_{max} имѣемъ $\varphi = 30^0$ и $r = a.\sqrt{1/2}$. Полная площадь лемнискаты $F = a^2$,

3. **Конхоида** есть геометрическое мѣсто точекъ на пучкѣ лучей, проведенномъ отъ нѣкоторой точки P къ прямой, удаленной отъ точки P на разстояніе b, если на этихъ лучахъ откладывать отъ прямой постоянную длину a.

C. Точка, прямая линія и плоскость въ пространствѣ.

Нижеслѣдующія соотношенія даны для трехъ взаимно перпендикулярныхъ координатныхъ осей.

1. Пусть x, y, z и x_0, y_0, z_0 координаты 2-хъ точекъ, разстояніе между которыми $= l$; α, β, γ углы, образуемые направленіемъ l съ положительными осями координатъ; тогда:

$$l = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}.$$

$$\cos\alpha = \frac{x-x_0}{l}; \quad \cos\beta = \frac{y-y_0}{l}; \quad \cos\gamma = \frac{z-z_0}{l}.$$

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1.$$

2. Раздѣливъ разстояніе l между точками (x_0, y_0, z_0) и (x, y, z) въ отношеніи $1 : n$ и называя координаты дѣлящей точки черезъ x_1, y_1, z_1, имѣемъ:

$$x_1 = \frac{x + n x_0}{n+1}; \quad y_1 = \frac{y + n y_0}{n+1}; \quad z_1 = \frac{z + n z_0}{n+1}.$$

3. **Уголъ** φ, образуемый двумя заданными направленіями (α, β, γ) и $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$, опредѣляется изъ:

$$\cos\varphi = \cos\alpha\cos\alpha_1 + \cos\beta\cos\beta_1 + \cos\gamma\cos\gamma_1.$$

Если оба направленія взаимно перпендикулярны, то:

$$\cos\alpha\cos\alpha_1 + \cos\beta\cos\beta_1 + \cos\gamma\cos\gamma_1 = 0.$$

4. Пусть λ, μ, ν углы, образуемые нормалью къ обоимъ заданнымъ въ 3. направленіямъ съ положительными направленіями координатныхъ осей; тогда:

$$\cos\lambda = \frac{\cos\beta\cos\gamma_1 - \cos\beta_1\cos\gamma}{\sin\varphi}; \quad \cos\mu = \frac{\cos\gamma\cos\alpha_1 - \cos\gamma_1\cos\alpha}{\sin\varphi};$$

$$\cos\nu = \frac{\cos\alpha\cos\beta_1 - \cos\alpha_1\cos\beta}{\sin\varphi}.$$

Кратчайшее разстояніе между 2-мя прямыми, заданными направленіями (α, β, γ и $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$) и проходящими черезъ точки (x, y, z) и (x_1, y_1, z_1), равно абсолютной величинѣ выраженія:

$$p = (x_1 - x)\cos\lambda + (y_1 - y)\cos\mu + (z_1 - z)\cos\nu.$$

5. Въ общемъ случаѣ **прямая линія** въ пространствѣ опредѣляется 2-мя уравненіями, связывающими координаты ея точекъ:

$$y = mx + b; \qquad z = m_1 x + b_1.$$

Уравненія прямой, проходящей черезъ точку (x_1, y_1, z_1) и составляющей съ координатными осями углы α, β, γ:

НТБ ДНУЗТ

$$\frac{x - x_1}{\cos\alpha} = \frac{y - y_1}{\cos\beta} = \frac{z - z_1}{\cos\gamma}.$$

Отсюда, въ предыдущихъ уравненіяхъ:

$$m = \frac{\cos\beta}{\cos\alpha}; \qquad m_1 = \frac{\cos\gamma}{\cos\alpha}.$$

Уравненія прямой, проходящей черезъ 2 данныя точки (x_1, y_1, z_1) и (x_2, y_2, z_2):

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1}.$$

6. Двѣ прямыя пересѣкаются между собою, если опредѣлитель 4-хъ уравненій (приведенныхъ къ виду $m\,x + n\,y + p\,z + q = 0$) данныхъ прямыхъ равенъ нулю.

7. **Уравненіе плоскости** въ общемъ случаѣ:

$$A\,x + B\,y + C\,z + D = 0.$$

Слѣд., всѣ точки, координаты которыхъ удовлетворяютъ одному уравненію 1-й степени съ тремя перемѣнными, лежатъ въ одной плоскости.

Уравненіе плоскости, параллельной оси x-овъ : $B\,y + C\,z + D = 0$,
„ „ „ „ y-овъ : $A\,x + C\,z + D = 0$,
„ „ „ „ z-овъ : $A\,x + B\,y + D = 0$,

Уравненіе плоскости, проходящей черезъ начало координатъ:

$$A\,x + B\,y + C\,z = 0.$$

8. Уравненіе плоскости, пересѣкающей координатныя оси въ разстояніяхъ a, b и c отъ начала координатъ:

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1.$$

$x = a$ уравненіе плоскости ‖ плоскости $y\,z$
$y = b$ „ „ ‖ „ $x\,z$
$z = c$ „ „ ‖ „ $x\,y$

9. Уравненіе плоскости, _-ой къ прямой, проходящей черезъ начало координатъ и удаленной отъ него на разстояніе l:

$$x\cos\alpha + y\cos\beta + z\cos\gamma - l = 0 \text{ (нормальный видъ)},$$

гдѣ α, β, γ углы, с ставляемые прямою съ координатными осями. Если вмѣсто длины l дана точка (x_1, y_1, z_1) плоскости, то уравненіе имѣетъ видъ:

$$(x - x_1)\cos\alpha + (y - y_1)\cos\beta + (z - z_1)\cos\gamma = 0,$$

или:
$$(x - x_1)x_1 + (y - y_1)y_1 + (z - z_1)z_1 = 0.$$

10. Для приведенія общаго уравненія плоскости:

$$A\,x + B\,y + C\,z + D = 0$$

къ нормальному виду:

$$x\cos\alpha + y\cos\beta + z\cos\gamma - l = 0$$

подставляемъ:

$$\cos\alpha = \frac{A}{\pm\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \qquad \cos\beta = \frac{B}{\pm\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}};$$

НТБ ДНУЗТ

$$\cos\gamma = \frac{C}{\pm\sqrt{A^2+B^2+C^2}}; \qquad l = \frac{-D}{\pm\sqrt{A^2+B^2+C^2}}.$$

Знакъ передъ корнемъ выбирается вездѣ такой, чтобы l выходило положительнымъ.

11. **Разстояніе** p **точки** (x_1, y_1, z_1) отъ плоскости, заданной ея уравненіемъ нормальнаго вида:

$$x\cos\alpha + y\cos\beta + z\cos\gamma - l = 0,$$

есть:

$$p = \pm(x_1\cos\alpha + y_1\cos\beta + z_1\cos\gamma - l),$$

причемъ знакъ + или — берется, смотря по тому, находятся ли заданная точка и начало координатъ съ различныхъ сторонъ или съ одной и той же стороны плоскости.

12. Если черезъ точку (x_1, y_1, z_1), взятую на плоскости

$$Ax + By + Cz + D = 0,$$

провести къ ней **нормаль**, то уравненія послѣдней будутъ:

$$z - z_1 = \frac{C}{A}(x - x_1); \qquad z - z_1 = \frac{C}{B}(y - y_1),$$

а косинусы угловъ, образуемыхъ ею съ координатными осями x, y, z (или угловъ, образуемыхъ плоскостью съ координатными плоскостями yz, xz, xy), опредѣляются по:

$$\cos\lambda = \frac{A}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}}; \qquad \cos\mu = \frac{B}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}};$$

$$\cos\nu = \frac{C}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}}.$$

13. Уравненіе плоскости, проходящей черезъ 2 пересѣкающіяся въ точкѣ (x_1, y_1, z_1) прямыя (α, β, γ) и $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$, выражается:

$$(x-x_1)(\cos\beta\cos\gamma_1 - \cos\beta_1\cos\gamma) + (y-y_1)(\cos\gamma\cos\alpha_1 - \cos\gamma_1\cos\alpha) +$$
$$+ (z-z_1)(\cos\alpha\cos\beta_1 - \cos\alpha_1\cos\beta) = 0.$$

14. Уравненіе всякой плоскости, проходящей черезъ линію пересѣченія 2-хъ плоскостей $Ax + By + Cz + D = 0$ и $A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$, будетъ:

$$(Ax + By + Cz + D) + k(A_1x + B_1y + C_1z + D_1) = 0,$$

или: $(A + kA_1)x + (B + kB_1)y + (C + kC_1)z + D + kD_1 = 0$, гдѣ k произвольное число. Уравненіе проекціи этой линіи перссѣченія на плоскость xy получится исключеніемъ z изъ обоихъ уравненій плоскостей; соотвѣтственно получаются и проекціи на плоскости xz и yz.

15. **Уголъ** φ, образуемый **двумя плоскостями**:

$$Ax + By + Cz + D = 0, \text{ и}$$
$$A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0,$$

НТБ ДНУЗТ

опредѣляется по:

$$\cos\varphi = \frac{AA_1 + BB_1 + CC_1}{\pm\sqrt{(A^2+B^2+C^2)\ (A_1^2+B_1^2+C_1^2)}}.$$

Плоскости параллельны ($\varphi = 0$), если $\frac{A}{A_1} = \frac{B}{B_1} = \frac{C}{C_1}$.

Плоскости перпендикулярны одна къ другой ($\varphi = 90^0$), если:

$$AA_1 + BB_1 + CC_1 = 0.$$

16. **Двѣ параллельныя плоскости** опредѣляются уравненіями вида:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \text{ и}$$
$$k(Ax + By + Cz) + D_1 = 0,$$

гдѣ k произвольное постоянное число.

17. Уравненія плоскостей, дѣлящихъ пополамъ углы между 2-мя данными плоскостями:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \text{ и}$$
$$A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$$

имѣютъ видъ:

$$\frac{Ax + By + Cz + D}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} \mp \frac{A_1x + B_1y + C_1z + D_1}{\sqrt{A_1^2+B_1^2+C_1^2}} = 0.$$

18. **Преобразованіе координатъ.**

Координаты точки въ старой системѣ обозначимъ черезъ x, y, z, а въ новой — черезъ x', y', z'.

α) Если координаты новаго начала f, g, h, а направленіе осей не измѣнилось, то:

$$x = f + x'; \qquad y = g + y'; \qquad z = h + z'$$

β) Оставляя положеніе начала координатъ, измѣняемъ направленіе ихъ вращеніемъ около начала координатъ. Косинусы угловъ, образуемыхъ новыми координатными осями x', y', z' со старою осью x-овъ, пусть будутъ a, b, c; соотв. со старою осью y: a', b', c'

„ „ „ z: a'', b'', c'';

тогда имѣемъ:

$$\left|\begin{array}{l} x = a\,x' + b\,y' + c\,z' \\ y = a'x' + b'y' + c'z' \\ z = a''x' + b''y' + c''z' \end{array}\right| \qquad \left|\begin{array}{l} x' = a\,x + a'\,y + a''z \\ y' = b\,x + b'\,y + b''z \\ z' = c\,x + c'\,y + c''z. \end{array}\right|$$

Между коэффиціентами a, b и c имѣютъ мѣсто слѣд. соотношенія:

$$\text{1)}\ \left|\begin{array}{l} a^2 + a'^2 + a''^2 = 1 \\ b^2 + b'^2 + b''^2 = 1 \\ c^2 + c'^2 + c''^2 = 1. \end{array}\right| \qquad \text{2)}\ \left|\begin{array}{l} ab + a'b' + a''b'' = 0 \\ ac + a'c' + a''c'' = 0 \\ bc + b'c' + b''c'' = 0. \end{array}\right|$$

$$\text{3)}\ \left|\begin{array}{l} a^2 + b^2 + c^2 = 1 \\ a'^2 + b'^2 + c'^2 = 1 \\ a''^2 + b''^2 + c''^2 = 1. \end{array}\right| \qquad \text{4)}\ \left|\begin{array}{l} aa' + bb' + cc' = 0 \\ aa'' + bb'' + cc'' = 0 \\ a'a'' + b'b'' + c'c'' = 0. \end{array}\right|$$

$$\text{5)}\ \left|\begin{array}{l} a = b'c'' - c'b'' \\ b = c'a'' - a'c'' \\ c = a'b'' - b'a''. \end{array}\right| \qquad \text{6)}\ \left|\begin{array}{l} a' = cb'' - bc'' \\ b' = ac'' - ca'' \\ c' = ba'' - ab''. \end{array}\right| \qquad \text{7)}\ \left|\begin{array}{l} a'' = bc' - cb' \\ b'' = ca' - ac' \\ c'' = ab' - ba'. \end{array}\right|$$

РТБ ДНУЗТ

γ) Полагая измѣненнымъ какъ начало координатныхъ оссй, такъ и ихъ направленіе, соединяемъ соотвѣтственно формулы α) и β).

δ) Для преобразованія прямоугольныхъ координатъ x, y, z точки въ **полярныя** r, φ, ϑ, находимъ сначала ея координаты x', y', z', отнесенныя къ прямоугольной системѣ координатъ, начало которой совпадаетъ съ полюсомъ, плоскость $x'y'$—съ экваторіальною плоскостью, а ось x'-въ съ полярною осью, отъ которой и считается уголъ φ; тогда:

$$x' = r\cos\varphi\cos\vartheta; \quad y' = r\sin\varphi\cos\vartheta; \quad z' = r\sin\vartheta.$$

Для точекъ въ плоскости $x'y'$ имѣемъ: $\vartheta = 0$.

D. Кривыя двойной кривизны.

a. Общія положенія.

1. Кривая двойной кривизны, отнесенная къ параллельной (Декартовой) системѣ координатъ, представляется двумя уравненіями вида:

$$F_1(x, y, z) = 0, \qquad F_2(x, y, z) = 0.$$

Эта кривая есть линія пересѣченія двухъ поверхностей, которыя выражаются этими уравненіями, взятыми отдѣльно.

Кривая опредѣляется также уравненіями ея проекціи на плоскости xy и xz:

$$y = \varphi_1(x); \qquad z = \varphi_2(x).$$

2. Углы α, β, γ, образуемые **касательной** въ точкѣ (x, y, z) съ координатными осями, опредѣляются по:

$$\cos\alpha = \frac{dx}{ds}; \quad \cos\beta = \frac{dy}{ds}; \quad \cos\gamma = \frac{dz}{ds};$$

дифференціалъ дуги ds:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} = dx\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2}$$

3. Уравненія **касательной** въ точкѣ (x, y, z);

$$\frac{\xi - x}{dx} = \frac{\eta - y}{dy} = \frac{\zeta - z}{dz}.$$

4. Уравненіе **нормальной плоскости**:

$$(\xi - x)\,dx + (\eta - y)\,dy + (\zeta - z)\,dz = 0.$$

5. **Плоскостью кривизны** въ точкѣ (x, y, z) наз. плоскость, проходящая черезъ точку (x, y, z) и обѣ сосѣднія (безконечно близкія) къ ней точки.

Ея уравненіе:

$$(\xi - x)\,A + (\eta - y)\,B + (\zeta - z)\,C = 0,$$

гдѣ $\quad A = dy.d^2z - dz.d^2y; \qquad B = dz.d^2x - dx.d^2z;$

$$C = dx.d^2y - dy.d^2x.$$

Если $\quad D = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} = ds\sqrt{(d^2x)^2 + (d^2y)^2 + (d^2z)^2 - (d^2s)^2}$

$$= ds^2\sqrt{\left(d\frac{dx}{ds}\right)^2 + \left(d\frac{dy}{ds}\right)^2 + \left(d\frac{dz}{ds}\right)^2},$$

НТБ ДНУЗТ

то углы, образуемые нормалью въ точкѣ (x, y, z) къ плоскости кривизны съ координатными осями, опредѣляются по:

$$\cos\lambda = \frac{A}{D}; \qquad \cos\mu = \frac{B}{D}; \qquad \cos\nu = \frac{C}{D}.$$

6. Означая уголъ между двумя сосѣдними касательными черезъ $d\tau$, имѣемъ:

$$d\tau = \frac{D}{ds^2},$$

а радіусъ кривизны, лежащій въ плоскости кривизны, или радіусъ **первой кривизны**:

$$\varrho_1 = \frac{ds}{d\tau} = \frac{ds^3}{D}.$$

Координаты соотвѣтствующаго центра кривизны (X, Y, Z) опредѣляются по:

$$X = x + \varrho_1^2 \frac{d\frac{dx}{ds}}{ds}; \quad Y = y + \varrho_1^2 \frac{d\frac{dy}{ds}}{ds}; \quad Z = z + \varrho_1^2 \frac{d\frac{dz}{ds}}{ds}.$$

7. Уголъ, образуемый двумя сосѣдними безконечно близкими плоскостями кривизны:

$$d\vartheta = \sqrt{(d\cos\lambda)^2 + (d\cos\mu)^2 + (d\cos\nu)^2} = \frac{A.d^3x + B.d^3y + C.d^3z}{D^2} ds;$$

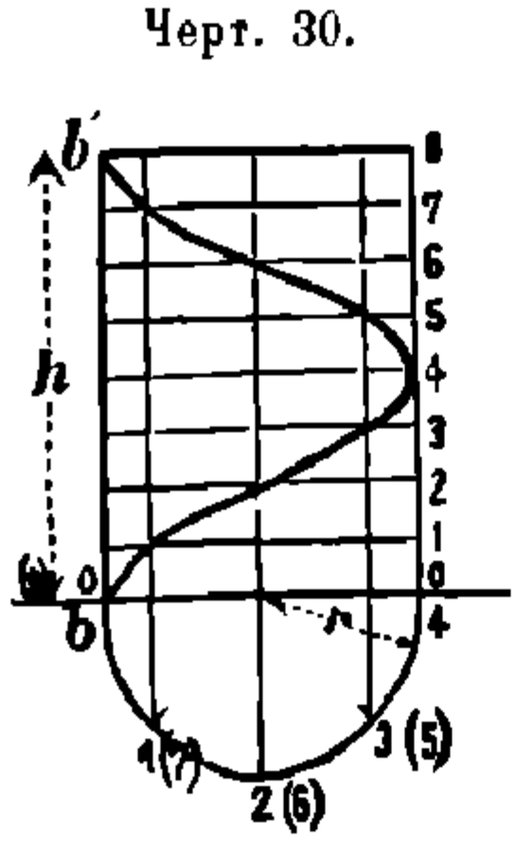
величина $\varrho_2 = \frac{ds}{d\vartheta}$ наз. радіусомъ **второй кривизны** или **радіусомъ кручения кривой**.

Кривая двойной кривизны обращается въ плоскую кривую, если для всѣхъ ея точекъ $d\vartheta = 0$, или опредѣлитель:

$$A.d^3x + B.d^3y + C.d^3z = \begin{vmatrix} dx & dy & dz \\ d^2x & d^2y & d^2z \\ d^3x & d^3y & d^3z \end{vmatrix} = 0.$$

b. Цилиндрическая винтовая линія.

Черт. 30.



1. Цилиндрической винтовой линіей наз. линія, описанная точкой, равномѣрно движущейся по окружности круга, который въ свою очередь перемѣщается равномѣрно въ направленіи $\perp$-номъ къ своей плоскости, т. е. описываетъ прямой круговой цилиндръ.

Пусть радіусъ этого цилиндра r, ходъ винта $bb' = h$ (черт. 30), тогда tg угла подъема винта $= \operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{2\pi r} = a$. Примемъ ось цилиндра за ось z-овъ и обозначимъ пересѣченіе оси x-овъ съ винтовой линіей черезъ b, а уголъ, образуемый проекціей радіуса-вектора на плоскость xy съ осью x-овъ, черезъ φ.

НТБ ДНУЗТ

Тогда **уравненія** винтовой линіи:

$$x = r\cos\varphi; \qquad y = r\sin\varphi; \qquad z = a\,r\,\varphi;$$

или:
$$x = r\cos\frac{z}{a\,r}; \qquad y = r\sin\frac{z}{a\,r}$$

2. **Уравненія касательной:**

$$-\frac{\xi - x}{\sin\varphi} = \frac{\eta - y}{\cos\varphi} = \frac{\zeta - z}{a}.$$

Касательная образуетъ съ осью z-овъ и производящими цилиндра постоянный уголъ: $\gamma = 90^0 - \alpha$.

Цилиндрическая винтовая линія обращается въ прямую, если развернуть поверхность цилиндра на плоскости.

3. **Радіусы кривизны:**

$$\varrho_1 = r\,(1 + a^2) = \frac{r}{\cos^2\alpha}\text{ (радіусъ первой кривизны)},$$

$$\varrho_2 = r\,\frac{1 + a^2}{a} = \frac{r}{\sin\alpha\,\cos\alpha}\text{ (радіусъ второй кривизны)},$$

т. е. ϱ_1 и ϱ_2 постоянны; кромѣ того, ϱ_1 всегда $\perp$ къ оси z-овъ.

4. **Длина дуги:** $s = \frac{r}{\cos\alpha}\,\varphi = r\,\varphi\,\sqrt{1 + a^2}$.

5. **Построеніе проекціи винтовой линіи** на плоскость xz (черт. 30). Дѣлимъ ходъ $h = b\,b'$ на n (здѣсь 8) равныхъ частей и на столько же частей окружность круга, представляющаго горизонтальную проекцію цилиндра (послѣднія дѣленія откладываемъ отъ b); черезъ первыя точки дѣленія проводимъ горизонтали, а черезъ вторыя — вертикали; пересѣченіе горизонтали съ соотвѣтствующей вертикалью даетъ точку, лежащую на винтовой линіи.

E. Кривыя поверхности.

a. Общія положенія.

1. Уравненіе поверхности въ общемъ случаѣ имѣетъ видъ:

$$F(x, y, z) = 0,$$

или, рѣшая уравненіе относительно z, имѣемъ:

$$z = f(x, y).$$

Для краткости положимъ:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = p, \qquad \frac{\partial z}{\partial y} = q, \qquad \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = r, \qquad \frac{\partial^2 z}{\partial x\,.\,\partial y} = s, \qquad \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = t.$$

2. Уравненіе **касательной плоскости** въ точкѣ (x, y, z) поверхности:

$$(\xi - x)\frac{\partial F}{\partial x} + (\eta - y)\frac{\partial F}{\partial y} + (\zeta - z)\frac{\partial F}{\partial z} = 0.$$

НТБ ДНУЗТ

3. **Уравненія нормали:**

$$\frac{\xi - x}{\frac{\partial F}{\partial x}} = \frac{\eta - y}{\frac{\partial F}{\partial y}} = \frac{\zeta - z}{\frac{\partial F}{\partial z}}.$$

Углы α, β и γ, образуемые нормалью съ осями x, y и z, опредѣляются по:

$$\cos\alpha = \frac{1}{W}\frac{\partial F}{\partial x}; \qquad \cos\beta = \frac{1}{W}\frac{\partial F}{\partial y}; \qquad \cos\gamma = \frac{1}{W}\frac{\partial F}{\partial z}.$$

Здѣсь:
$$W = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2}$$

4. **Элементъ кривой поверхности**, проекція котораго на плоскость xy равна $dx.dy$, опредѣляется по:

$$dM = \frac{dx\ dy\ W}{\frac{\partial F}{\partial z}}.$$

Двойнымъ интегрированіемъ этого выраженія (въ произвольныхъ или постоянныхъ предѣлахъ) получается величина опредѣленной части кривой поверхности.

5. Всякая плоскость, проходящая черезъ нормаль, пересѣкаетъ поверхность по линіи, наз. **нормальнымъ сѣченіемъ**. Пусть касательная къ нормальному сѣченію образуетъ углы λ, μ, ν съ координатными осями, тогда радіусъ кривизны сѣченія:

$$\varrho = \frac{\sqrt{1 + p^2 + q^2}}{r\cos^2\lambda + 2s\cos\lambda\cos\mu + t\cos^2\mu}.$$

6. **Теорема Менье.** Плоскость, проходящая черезъ касательную къ нормальному сѣченію и образующая съ нимъ уголъ ϑ, пересѣкаетъ поверхность по косому сѣченію, радіусъ кривизны котораго въ разсматриваемой точкѣ

$$\varrho' = \varrho\cos\vartheta.$$

7. Взаимно-перпендикулярныя пормальныя сѣченія, для которыхъ ϱ становится maximum ϱ_1 или minimum ϱ_2, наз. **главными нормальными сѣченіями.** Значенія ϱ_1 и ϱ_2 опредѣляются изъ уравненій:

$$\frac{1}{\varrho_1} + \frac{1}{\varrho_2} = \frac{(1+q^2)r - 2pqs + (1+p^2)t}{(1+p^2+q^2)^{\frac{3}{2}}},$$

$$\frac{1}{\varrho_1\varrho_2} = \frac{rt - s^2}{(1+p^2+q^2)^2}.$$

8. **Теорема Эйлера**. Для произвольнаго нормальнаго сѣченія, плоскость котораго образуетъ уголъ φ съ плоскостью кривизны ϱ_1, имѣемъ:

$$\frac{1}{\varrho} = \frac{\cos^2\varphi}{\varrho_1} + \frac{\sin^2\varphi}{\varrho_2}.$$

НТБ ДНУЗТ

9. Величина $\frac{1}{\varrho_1 \varrho_2}$ называется **мѣрою кривизны**, а выраженіе $\frac{1}{\varrho_1} + \frac{1}{\varrho_2}$ — **среднею кривизною** поверхности въ точкѣ (x, y, z).

b. Поверхности второго порядка.

1. **Общій видъ уравненія** поверхностей второго порядка:

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{23}yz + 2a_{31}zx + 2a_1x + 2a_2y + 2a_3z + a = 0.$$

2. Обозначая для краткости:

$$\begin{vmatrix} a & a_1 & a_2 & a_3 \\ a_1 & a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_2 & a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_3 & a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix} = \Gamma; \quad \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix} = \Delta; \quad \begin{vmatrix} a_{22} & a_{32} \\ a_{23} & a_{33} \end{vmatrix} = \delta_1; \quad \begin{vmatrix} a_{11} & a_{31} \\ a_{13} & a_{33} \end{vmatrix} = \delta_2$$

(причемъ $a_{ik} = a_{ki}$), получаемъ слѣдующія условія для главныхъ поверхностей, представляемыхъ общимъ уравненіемъ (въ случаѣ $a_{11} > 0$):

если $\Delta > 0$, $\delta_1 > 0$, $\Gamma < 0$ имѣемъ: эллипсоидъ.

или $\Delta < 0$ $\begin{cases} \Gamma < 0 & \text{однополый гиперболоидъ.} \\ \Gamma = 0 & \text{конусъ.} \\ \Gamma > 0 & \text{двуполый гиперболоидъ.} \end{cases}$

$\Delta = 0$ $\begin{cases} \delta_1 < 0 \text{ или } \delta_2 < 0 & \text{гиперболическій параболоидъ.} \\ \delta_1 > 0 \text{ или } \delta_2 > 0 & \text{эллиптическій параболоидъ.} \end{cases}$

3. Въ поверхностяхъ, имѣющихъ **центръ** ($\Delta \gtrless 0$), послѣдній получается какъ точка пересѣченія слѣдующихъ плоскостей:

$$a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z + a_1 = 0.$$
$$a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z + a_2 = 0.$$
$$a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z + a_3 = 0.$$

4. Принявъ центръ поверхности за начало координатъ, а ея главныя оси—за оси координатъ, получимъ слѣдующія уравненія поверхностей, имѣющихъ центръ:

эллипсоида: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1;$

однополаго гиперболоида: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1;$

двуполаго гиперболоида: $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1.$

Здѣсь a, b, c означаютъ полуоси главныхъ сѣченій; въ первомъ случаѣ онѣ всѣ дѣйствительны; во второмъ c, а въ третьемъ b и c означаютъ мнимыя полуоси главныхъ гиперболическихъ сѣченій.

5. **Конусъ.** Всякое однородное уравненіе второй степени вида:

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz = 0$$

представляетъ **коническую поверхность.**

НТБ ДНУЗТ

Если направляющая конуса есть эллипсъ съ полуосями a и b, плоскость котораго перпендикулярна къ оси z-овъ и удалена отъ начала координатъ на разстояніе h (вершина конуса совпадаетъ съ началомъ), то уравненіе конической поверхности:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{h^2} = 0.$$

Если направляющая конуса есть окружность радіуса a, то въ предыдущемъ уравненіи надо положить $b = a$. См. также **b**. 1. Стр. 102.

6. **Шаръ.** Уравненіе **шаровой поверхности** (начало координатъ въ центрѣ шара):

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2.$$

Если же ξ, ζ, η означаютъ координаты центра шаровой поверхности, то ея уравненіе:

$$(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2 = r^2.$$

Всякое уравненіе вида:

$$x^2 + y^2 + z^2 + Ax + By + Cz + D = 0$$

представляетъ шаровую поверхность и

$$\xi = -\tfrac{1}{2}A; \quad \eta = -\tfrac{1}{2}B; \quad \zeta = -\tfrac{1}{2}C;$$
$$r = \tfrac{1}{2}\sqrt{A^2 + B^2 + C^2 - 4D}.$$

Поверхности второго порядка безъ центра.

7. **Параболоиды.** Уравненіе **параболоида** въ простѣйшемъ видѣ:

$$\frac{x^2}{2p} \pm \frac{y^2}{2q} = z.$$

Верхній знакъ относится къ эллиптическому параболоиду; p и q—параметры главныхъ параболическихъ сѣченій. Въ гиперболическомъ параболоидѣ p есть параметръ главнаго параболическаго сѣченія, $q = p\,\mathrm{tg}^2\varphi$, $\varphi =$ половинѣ угла между асимптотическими плоскостями.

8. **Цилиндръ.** Уравненіе **цилиндрической поверхности**, $\perp$-ой къ одной изъ координатныхъ плоскостей, опредѣляется уравненіемъ кривой пересѣченія этой поверхности съ этой плоскостью.

Если линія пересѣченія цилиндра съ плоскостью xy есть эллипсъ или гипербола, полуоси которыхъ a и b, а производящія цилиндра образуютъ углы α, β, γ съ координатными осями, то уравненіе цилиндрической поверхности:

$$\frac{\left(x - z\frac{\cos\alpha}{\cos\gamma}\right)^2}{a^2} \pm \frac{\left(y - z\frac{\cos\beta}{\cos\gamma}\right)^2}{b^2} = 1.$$

Знакъ $+$ для эллиптическаго, знакъ $-$ для гиперболическаго цилиндра.

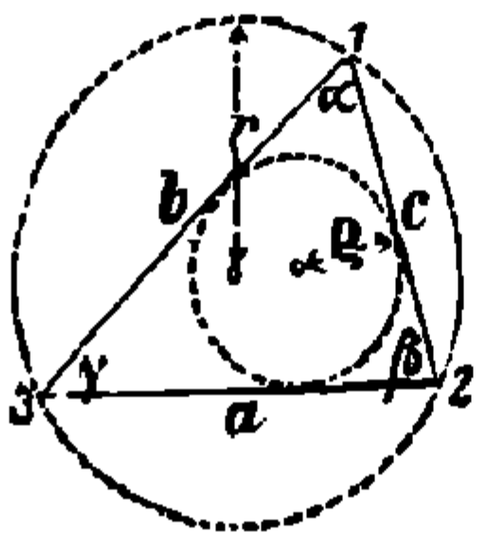
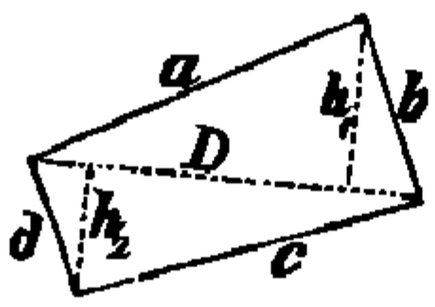
Уравненіе параболическаго цилиндра:

$$\frac{z^2}{c^2} - \frac{2y}{p} - \frac{2x}{q} = 0.$$

НТБ ДНУЗТ

VII. ПЛОЩАДИ, ОБЪЕМЫ и ПОВЕРХНОСТИ ТѢЛЪ.

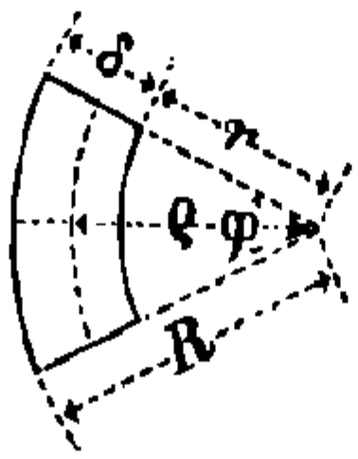
A. Площади плоскихъ тѣлъ.

Фигура.	Обозначеніе размѣровъ.	Площадь F.	
1. Треугольникъ. (См. стр. 64).	Черт. 31.  h высота къ сторонѣ a. $s = {}^1/_2 (a + b + c)$. m_1, m_2, m_3 среднія линіи, $s_0 = {}^1/_2 (m_1 + m_2 + m_3)$, $x_1\, y_1,\ x_2\, y_2,\ x_3\, y_3$ координаты вершинъ относительной произвольной системы прямоугольныхъ координатныхъ осей.	$F = {}^1/_2\, a\, h$ $= \sqrt{s\,(s-a)\,(s-b)\,(s-c)}$ $= {}^1/_2\, a\, b \sin\gamma$ $= \dfrac{a^2 \sin\beta \sin\gamma}{2 \quad \sin\alpha}$ $= 2r^2 \sin\alpha \sin\beta \sin\gamma$ $= \varrho^2 \operatorname{ctg} {}^1/_2\alpha \operatorname{ctg} {}^1/_2\beta \operatorname{ctg} {}^1/_2\gamma$ $= \varrho\, s = \dfrac{a\,b\,c}{4\,r}$ $= {}^4/_3 \sqrt{s_0 (s_0 - m_1)(s_0 - m_2)(s_0 - m_3)}$ $= \pm {}^1/_2 \begin{vmatrix} x_1, & y_1, & 1 \\ x_2, & y_2, & 1 \\ x_3, & y_3, & 1 \end{vmatrix}$ $= \pm {}^1/_2 \left\{ \begin{matrix} x_1 y_2 - x_2 y_1 \\ + x_2 y_3 \quad x_3 y_2 \\ + x_3 y_1 - x_1 y_3 \end{matrix} \right\}.$	
	Начало координатъ совпадаетъ съ вершиною 3: $(x_3 = 0,\ y_3 = 0)$.	$F = \pm {}^1/_2 \begin{vmatrix} x_1 y_1 \\ x_2 y_2 \end{vmatrix}$ $= \pm {}^1/_2 (x_1 y_2 - x_2 y_1)$.	
Прямоугольный треугольникъ. (См. стр. 65).	a, b катеты. c гипотенуза. α уголъ, противулежащій сторонѣ a.	$F = {}^1/_2\, a\, b$ $= {}^1/_2\, a^2 \operatorname{ctg}\alpha$ $= {}^1/_2\, b^2 \operatorname{tg}\alpha$ $= {}^1/_4\, c^2 \sin 2\alpha$.	$a^2 + b^2 = c^2$.
2. Четыреугольникъ. D и D_1—діагонали, φ—уголъ между ними.	Черт. 32.  m — длина линіи, соединяющей средины діагоналей.	$F = \dfrac{h_1 + h_2}{2} D = \dfrac{D\, D_1}{2} \sin\varphi$	$a^2 + b^2 + c^2 + d^2 = D^2 + D_1^2 + 4m^2$

НТБ ДНУЗТ

Фигура.	Обозначеніе размѣровъ.	Площадь F.
Четыреугольникъ, вписанный въ кругъ.	a, b, c, d — 4 стороны. $s = {}^1/_2(a+b+c+d)$.	$F = \sqrt{(s-a)(s-b)(s-c)(c-d)}$. $D\,D_1 = a\,c + b\,d$.
Трапеція.	a, b — параллельныя стороны, h — высота.	$F = \frac{a+b}{2}\,h = \frac{D\,D_1 \sin\varphi}{2}$.
Параллелограммъ.	a, b — стороны. h — разстояніе между сторонами b, γ — уголъ параллелограмма.	$F = b\,h = a\,b \sin\gamma$ $= {}^1/_2\,D\,D_1 \sin\varphi$. $2(a^2+b^2) = D^2 + D_1^2$.
Прямоугольникъ.	a, b — стороны.	$F = a\,b = {}^1/_2\,D^2 \sin\varphi$.
Ромбъ.	a сторона, γ уголъ } ромба.	$F = a^2 \sin\gamma = {}^1/_2\,D\,D_1$.
3. Многоугольникъ.	x_1y_1, x_2y_2, x_3y_3 .... x_ny_n координаты n вершинъ относительно произвольной системы прямоугольныхъ координатныхъ осей. [Сумма внутреннихъ угловъ равна $(n-2).180^0$].	$F = {}^1/_2\{(x_2y_1 - x_1y_2) + (x_3y_2 - x_2y_3) + x_1y_3 - x_3y_1) + + x_ny_{n-1} - x_{n-1}y_n) + (x_1y_n - x_ny_1)\}$. F можетъ быть опредѣлена также путемъ раздѣленія многоугольника діагоналями на треугольники.
Правильный многоугольникъ. (См. табл. стр. 35).	r радіусъ вписаннаго круга, R радіусъ описаннаго круга, $a = 2\sqrt{R^2 - r^2}$ сторона, n число сторонъ, $\varphi = 180^0 : n$, U периметръ многоугольника.	$F = {}^1/_4\,n\,a^2 \operatorname{ctg}\varphi$ $= {}^1/_2\,n\,R^2 \sin 2\varphi$ $= n\,r^2 \operatorname{tg}\varphi$. $U = n\,a = 2\,n\,R \sin\varphi$. $= 2\,n\,r \operatorname{tg}\varphi$. Уголъ многоугольника $= 180^0 - 2\,\varphi$.
4. Кругъ. (Таблицы для F и U см. стр. 1—21).	r радіусъ, d діаметръ, U окружность.	$F = \pi r^2 = {}^1/_4\,\pi d^2 = {}^1/_4\,U\,d =$ $= 0{,}785\,398\,163\,4\,d^2$. $U = \pi d$.

НТБ ДНУЗТ

Фигура.	Обозначеніе размѣровъ.	Площадь F.
Круговое кольцо. (Для F можно пользоваться таб. стр. 1—21).	R наружній, r внутренній } радіусъ, D наружній, d внутренній } діаметръ, ϱ средній радіусъ, δ ширина кольца.	$F = \pi(R^2 - r^2)$ $= {}^1/_4 \pi (D^2 - d^2)$ $= {}^1/_4 \pi D^2 - {}^1/_4 \pi d^2$ $= 2\pi\varrho\delta.$
Круговой секторъ. (Для F можно пользоваться таб. стр. 1—21).	r радіусъ, b длина дуги, φ^0 центральный уголъ въ градусахъ, соотвѣтствующій дугѣ b, φ дуга, соотвѣтствующая радіусу $= 1$.	$F = {}^1/_2 br$ $= \frac{\varphi^0}{360}\pi r^2$ $= {}^1/_2 \varphi r^2.$ $\varphi = \frac{\varphi^0\pi}{180}.$ $b = \frac{\varphi^0\pi}{180} r.$
Круговой сегментъ. Таб. стр. 36 и 37).	r радіусъ, φ^0 центральный уголъ въ градусахъ.	$F = {}^1/_2 r^2 \left(\frac{\varphi^0\pi}{180} - \sin\varphi\right)$
Часть кругового кольца.	Черт. 33. 	$F = \frac{\varphi^0\pi}{360}(R^2 - r^2)$ $= \frac{\varphi^0\pi}{180}\varrho\,\delta.$ $= \varphi\,\varrho\,\delta.$

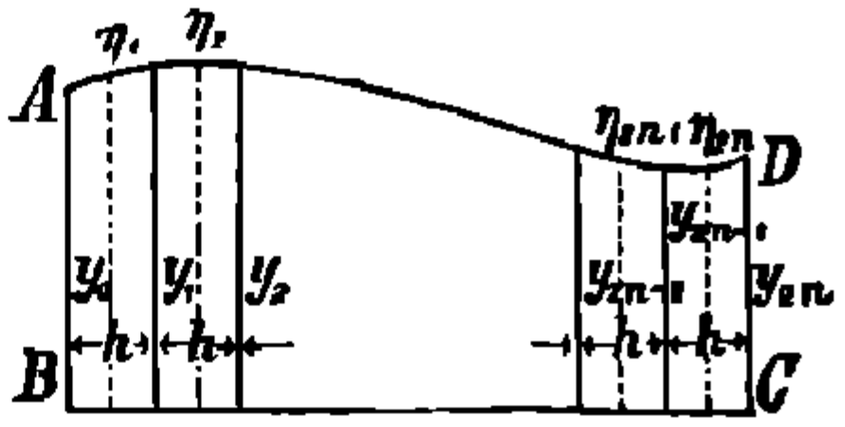
5. Коническія сѣченія. Эллипсъ и эллиптическій сегментъ см. стр. 107. Гиперболическій сегментъ см. стр. 107. Параболическій сегментъ см. стр. 110.

Площади другихъ кривыхъ см. стр. 113—121.

6. Произвольная площадь.

α) Пусть площадь ограничена съ трехъ сторонъ прямыми линіями, изъ которыхъ $AB = y_0$ и $DC = y_{2n}$ (см. черт. 34) перпендикулярны къ BC. Дѣлимъ BC на **четное** число $(2n)$ равныхъ частей h, въ точкахъ дѣленія возставляемъ ординаты $y_1, y_2 \ldots y_{m-1}$. Обозначимъ среднія высоты полученныхъ такимъ образомъ элементовъ площади черезъ $\eta_1, \eta_2 \ldots \eta_{2n}$. Тогда площадь фигуры $ABCD$ приблизительно опредѣлится по одной изъ нижеслѣдующихъ формулъ, расположенныхъ въ порядкѣ увеличивающейся точности:

Черт. 34.



НТБ ДНУЗТ

1. $F = h\,(^1/_2\,y_0 + y_1 + y_2 + \quad + y_{2n-2} + y_{2n-1} + {}^1/_2\,y_{2n})$.
2. $F = h\,\Sigma\,(\eta)$.
3. $F = {}^1/_3\,h\,(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \ldots + 2y_{2n-2} + 4y_{2n-1} + y_{2n})$.
4. $F = {}^3/_8\,h\,(y_0 + 3y_1 + 3y_2 + 2y_3 + 3y_4 + 3y_5 + 2y_6 + \\ + 2y_{m-3} + 3y_{m-2} + 3y_{m-1} + y_m)$.
5. $F = h\,\Sigma\,[\eta + {}^1/_{12}\,(y_0 - \eta_1) + {}^1/_{12}\,(y_{2n} - \eta_{2n})]$ *)
6. $F = h\,\Sigma\,[\eta + {}^1/_{72}\,(8y_0 + \eta_2 - 9\eta_1) + {}^1/_{72}\,(8y_{2n} + \eta_{2n-1} - 9\eta_{2n})]$ **).

Въ формулѣ 4 число ординатъ $m + 1 = 3n + 1$, т. е. число m равныхъ частей h дѣлится на 3.

По формулѣ 3, такъ наз. **правилу Симпсона**, только тогда получаются точные результаты, когда ордината y есть цѣлая функція не выше третьей степени отъ разстоянія ея до нѣкоторой произвольной точки; тогда слѣдуетъ только измѣрить или вычислить среднюю ординату y_m между y_0 и y_{2n}, и если H означаетъ всю высоту BC, то находимъ:

$$F = {}^1/_6\,H\,(y_0 + 4y_m + y_{2n}).$$

β) Если имѣются 5 ординатъ y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, удаленныхъ другъ отъ друга на разстояніи h и опредѣленныхъ помощью измѣренія или вычисленія, то:

$$F = {}^2/_{45}\,h\,[7\,(y_0 + y_4) + 32\,(y_1 + y_3) + 12\,y_2].$$

Эта формула вполнѣ точна, когда y есть цѣлая функція не выше четвертой степени отъ его разстоянія до нѣкоторой произвольной точки.

γ) Остальныя приблизительныя формулы приведены на стр. 82 и 83, гдѣ интегралъ $\int_a^b f(x)\,dx$ представляетъ площадь фигуры $ABCD$. прямая BC есть ось x-овъ, уравненіе кривой $AD: y = f(x)$, а a и b абсциссы, соотвѣтствующія AB и CD.

δ) **Способъ Чебышева** (очень точенъ) см. ч. II, отд. судостроеніе, разсчетъ водоизмѣщенія.

B. Объемы и поверхности тѣлъ.

Вышеприведенныя правила примѣняются также и къ опредѣленію **объема тѣла**, ограниченнаго съ двухъ сторонъ **параллельными плоскостями**, если подъ $y_0 \ldots y_{2n}$ будемъ подразумѣвать площади параллельныхъ сѣченій.

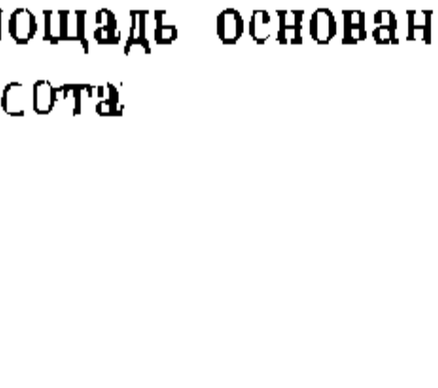
---

*) По Попселе.
**) По Франке. Zeitschr. d. Arch- u. Ing. Vereins zu Hannover. 1875, стр. 177.

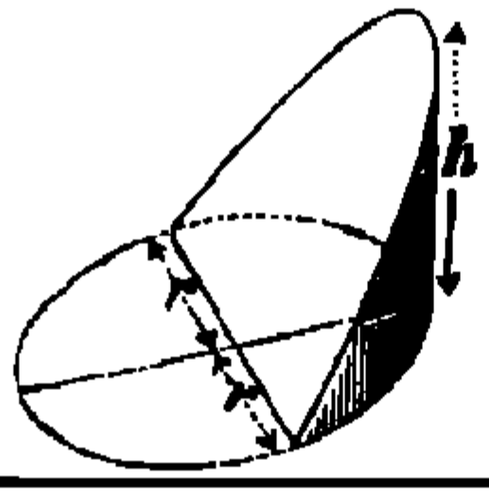
НТБ ДНУЗТ

Тѣло.	Обозначеніе размѣровъ.	V — объемъ. O — поверхность. M — боковая поверхность.
1. Призма.	F площадь основанія, h высота.	$V = Fh.$
Трехгранная призма, усѣченная не параллельно основанію.	N — сѣченіе, перпендикулярное ребрамъ. a, b, c длины трехъ параллельныхъ реберъ.	$V = {}^1/_3 (a + b + c) N.$

Усѣченная не параллельно основанію n-гранная призма (и цилиндръ). Если l—длина линіи, соединяющей центры тяжести основаній, N—сѣченіе призмы $\perp$ къ l, то $V = Nl.$

Прямоугольный параллелепипедъ.	a, b, c длины трехъ реберъ, d діагональ.	$V = abc.$ $O = 2(ab + ac + bc).$ $d^2 = a^2 + b^2 + c^2.$
Кубъ.	a ребро. d діагональ.	$V = a^3 \qquad O = 6a^2.$ $d^2 = 3a^2.$
2. Пирамида.	F площадь основанія. h высота.	$V = {}^1/_3 Fh.$
Трехгранная пирамида.	$x_1\ y_1\ z_1,\ x_2\ y_2\ z_2, x_3\ y_3\ z_3$ координаты трехъ вершинъ; начало координатъ совпадаетъ съ четвертой вершиной.	$V = {}^1/_6 \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}$
Усѣченная пирамида.	F, f площади основаній, h разстояніе между основаніями.	$V = {}^1/_3 h(F + f + \sqrt{Ff}).$
3. Обелискъ. (Черт. 35).	Черт. 35. 	$V = {}^1/_6 h[(2a + a_1)b + (2a_1 + a)b_1]$ $= {}^1/_6 h[ab + (a + a_1)(b + b_1) + a_1 b_1]$
4. Клинъ. (Черт. 36).	Черт. 36.	$V = {}^1/_6 (2a + a_1) bh.$
5. Цилиндръ.	F площадь основанія, h высота	$V = Fh.$

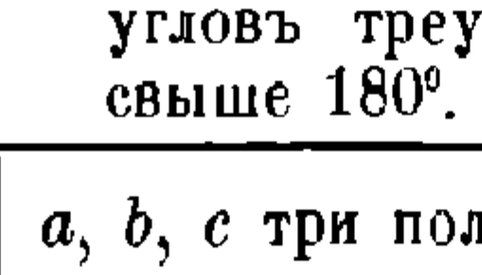
НТБ ДНУЗТ

Тѣло.	Обозначеніе размѣровъ.	V — объемъ. O — поверхность. M — боковая поверхность.
Круговой цилиндръ.	r радіусъ основанія, h высота.	$V = \pi r^2 h.$ $M = 2 \pi r h.$ $O = 2 \pi r (r + h).$
Цилиндръ, усѣченный не параллельно основанію.	h_1 наиболѣе короткая производящая цилиндра, h_2 наиболѣе длинная производ. цилиндра, r радіусъ основанія.	$V = \pi r^2 \frac{h_1 + h_2}{2}.$ $M = \pi r (h_1 + h_2).$
Полый цилиндръ (труба).	R наружній радіусъ, r внутрени. радіусъ, h высота, $s = R - r =$ толщина. $\varrho = {}^1/_2 (R + r) =$ средній радіусъ.	$V = \pi h (R^2 - r^2)$ $= \pi h s (2 R - s)$ $= \pi h s (2 r + s)$ $= 2 \pi h s \varrho.$
Цилиндрическая подкова *). (Черт. 37).	Черт. 37. 	$V = {}^2/_3 r^2 h.$ $M = 2 r h.$ Сѣченіе проходятъ черезъ центръ основанія; слѣд., основаніе подковы — полукругъ, т. е. $a = b = r$ (см. выноску). Слѣдуетъ замѣтить, что въ эти формулы π не входитъ.
6. Прямой круглый конусъ.	r радіусъ основанія, h высота, s производящая.	$V = {}^1/_3 \pi r^2 h.$ $M = \pi r \sqrt{r^2 + h^2} = \pi r s.$ $s = \sqrt{(r^2 + h^2}.$
Усѣченный конусъ.	R и r радіусы основаній, h высота, s производящая.	$V = {}^1/_3 \pi h (R^2 + Rr + r^2).$ $M = \pi s (R + r).$ $s = \sqrt{(R - r)^2 + h^2}.$
7. Шаръ. (Для V служитъ табл. стр. 37, для O таб. стр. 1—21).	r радіусъ $= \sqrt[3]{\frac{3 V}{4 \pi}} = 0{,}620351 \sqrt[3]{V}.$ $d = 2 r =$ діаметръ.	$V = {}^4/_3 \pi r^3 = 4{,}188790205\, r$ $= {}^1/_6 \pi d^3 = 0{,}523598776\, d^3$ $O = 4 \pi r^2 = \pi d^2$ $= 4 \times$ площадь большого круга.

*) Если основаніе подковы больше или меньше полукруга, $2a$ — ея прямая сторона, b — длина перпендикуляра, опущеннаго изъ основанія h на $2a$, 2φ — центральный уголъ основанія подковы, то вообще:

$$V = \frac{h}{3b}\left[a (3r^2 - a^2) + 3 r^2 (b - r) \frac{\varphi \pi}{180}\right]; \qquad M = \frac{2 r h}{b}\left[(b - r) \frac{\varphi \pi}{180} + a\right]$$

НТБ ДНУЗТ

Тѣло.	Обозначеніе размѣровъ.	V — объемъ. O — поверхность. M — боковая поверхность.
Полый шаръ. (Табл. стр. 37).	R наружній радіусъ, r внутренній радіусъ. D и d діаметры.	$V = {}^4/_3\,\pi\,(R^3 - r^3)$ $= {}^1/_6\,\pi\,(D^3 - d^3)$.
Шаровой сегментъ.	h высота сегмента. r радіусъ шара. a радіусъ основанія.	$V = {}^1/_6\,\pi h\,(3a^2 + h^2)$. $= {}^1/_3\,\pi h^2\,(3r - h)$. $M = 2\pi r h = \pi\,(a^2 + h^2)$. $a^2 = h\,(2r - h)$.
Шаровой поясъ.	h высота пояса, r радіусъ шара, a, b радіусы основаній пояса ($a > b$).	$V = {}^1/_6\,\pi h\,(3a^2 + 3b^2 + h^2)$. $M = 2\pi r h$. $r^2 = a^2 + \left(\frac{a^2 - b^2 - h^2}{2h}\right)^2$
Шаровой секторъ. (Черт. 38).	Черт. 38.	$V = {}^2/_3\,\pi r^2 h$ $= 2{,}094\,395\,102\,4\,r^2 h$. $O = \pi r\,(2h + a)$.
Сферическій двухугольникъ.	φ^0 уголъ между ограничивающими большими кругами.	$M = \frac{\varphi^0}{90}\,\pi r^2$ $= 0{,}034\,906\,6\,\varphi^0 r^2$.
Сферическій треугольникъ.	ε^0 сферическій избытокъ, т.-е. избытокъ суммы угловъ треугольника свыше 180^0.	$M = \frac{\varepsilon^0}{180}\,\pi r^2 = 0{,}017\,453\,3\,\varepsilon^0 r^2$.
8. Эллипсоидъ	a, b, c три полуоси.	$V = {}^4/_3\,\pi abc$.
Эллипсоидъ вращенія.	1) если $2a$ ось вращенія: 2) „ $2b$ „ „	$V = {}^4/_3\,\pi a b^2$. $V = {}^4/_3\,\pi a^2 b$.
9. Параболоидъ вращенія.	r радіусъ основанія, h высота.	$V = {}^1/_2\,\pi r^2 h = 1{,}570796\,r^2 h =$ $=$ половинѣ кругового цилиндра для r и h.
Усѣченный параболоидъ.	R, r радіусы основаній, h высота.	$V = {}^1/_2\,\pi\,(R^2 + r^2)\,h =$ средняя площадь $\times$ на высоту.
10. Цилиндрическое кольцо. (Черт. 39).	Черт. 39.  $d = 2r$.	$V = 2\,\pi^2 R r^2 = 19{,}739\,R r^2 =$ $= {}^1/_4\,\pi^2 D d^2 = 2{,}4674\,D d^2$ $O = 4\,\pi^2 R r = 39{,}478\,R r =$ $= \pi^2 D d = 9{,}8696\,D d$.
11. Чанъ или кадка.	Основанія представляютъ произвольные эллипсы съ полуосями a, b и a_1, b_1. h высота.	$V = {}^1/_6\,\pi h\,[2\,(ab + a_1 b_1)$ $+ ab_1 + a_1 b]$.

НТБ ДНУЗТ

Тѣло.	Обозначеніе размѣровъ.	V — объемъ. O — поверхность. M — боковая поверхность.
12. Бочка.	D діаметръ средняго сѣченія, d діаметръ доньевъ, h высота.	$V = {}^1/_{12}\,\pi h\,(2\,D^2 + d^2)$ приблизительно для круговой клепки. $V = {}^1/_{15}\,\pi h\,(2\,D^2 + D\,d + {}^3/_4\,d^2)$ точно для параболической клепки.
13. Цилиндрическій сводъ.	s полупролетъ, r радіусъ внутренней направляющей свода, δ толщина свода, h высота свода, l длина свода.	$V = \dfrac{\varphi^0\pi}{360}\,(2\,r\,\delta + \delta^2)\,l.$ $\left(\operatorname{tg}\dfrac{\varphi}{2} = \dfrac{s}{r - h}\right).$
14. Крестовый сводъ надъ прямоугольникомъ $2\,S \times 2\,s$.	s, r, δ, h, $2\,S$ (вмѣсто l), φ обозначенія, какъ и въ 13, для одного цилиндрическ. свода. S, R, Δ, h, $2\,s$, ψ то же для другого цилиндрическаго свода.	$V = \dfrac{\varphi^0\pi}{360}\,(2\,r\,\delta + \delta^2)\,S + \dfrac{\psi^0\pi}{360}\,(2\,R\,\Delta + \Delta^2)\,s.$ $\left(\operatorname{tg}\dfrac{\varphi}{2} = \dfrac{s}{r-h};\ \operatorname{tg}\dfrac{\psi}{2} = \dfrac{S}{R-h}\right)$

15. Объемы прямого круглаго конуса, параболоида вращенія, шара и круглаго цилиндра при одинаковомъ $r = {}^1/_2\,h$ относятся какъ 2:3:4:6. Объемъ шара=0,523 599 объема описаннаго куба.

16. Если отъ шарового пояса (стр. 137) отнять усѣченный конусъ, радіусы основаній котораго a и b, высота h, образующая s, то объемъ оставшагося кольца $V = {}^1/_6\,\pi h s^2$.

17. Призмоидъ, т.-е. тѣло, ограниченное двумя параллельными плоскостями и произвольнымъ числомъ боковыхъ (треугольниками, трапеціями, параллелограммами), вычисляется по правилу Симпсона (стр. 134): $V = {}^1/_6\,H\,(F_0 + 4\,F_m + F_{2n})$.

Примѣры: 1. Если у **обелиска** высотою h (см. стр. 135) основанія представляютъ трапеція, среднія линіи которыхъ m и m_1, а высоты c и c_1, то имѣемъ:

$$V = {}^1/_6\,h\,[(2\,m + m_1)\,c + (2\,m_1 + m)\,c_1] = {}^1/_6\,h\,[m\,c + (m + m_1)\,(c + c_1) + m_1\,c_1].$$

2. **Насыпь подъ дорогу.** Если h высота насыпи, b ширина ея вверху, 1 n наклонъ полотна, 1 : m уклонъ откосовъ, то имѣемъ:

$$V = {}^1/_6\,h^2\,(n - m)\,[3\,b + 2\,h\,m\,(1 - m : n)].$$

Напр., для $n = 45$ и $m = 1{,}5$: $V = 21{,}75\,h^2\,(b + 0{,}9667\,h)$.

18. Правила Гюльдена (Паппуша) *).

1. Если s длина кривой, которая вращается около оси, находящейся въ одной съ нею плоскости, и

---

*) См. также Chr. Nehls, Ueber den Flächen- und Rauminhalt der durch Bewegung von Kurven und Flächen erzeugten Flächen- und Raumgrössen, Archiv der Mathematik und Physik, 2. Reihe, томъ XIII, 1894.

НТБ ДНУЗТ

x_0 разстояніе центра тяжести этой кривой до оси вращенія,
то **поверхность** полученнаго такимъ образомъ **тѣла вращенія** будетъ:

$$M = 2\pi x_0 s = \text{пути, проходимому центромъ тяжести} \times \text{длину кривой.}$$

2. Если F площадь плоской фигуры, которая вращается около оси, находящейся въ плоскости этой фигуры,
x_0 разстояніе центра тяжести этой фигуры до оси вращенія,
то **объемъ** полученнаго такимъ образомъ **тѣла вращенія** будетъ:

$$V = 2\pi x_0 F = \text{пути, проходимому центромъ тяжести} \times \text{площадь фигуры.}$$

Въ обоихъ случаяхъ вращающаяся фигура должна находиться съ одной стороны оси.

3. Если имѣемъ двѣ параллельныя оси вращенія, разстояніе между которыми $= a$, то, обозначая черезъ M_1 и V_1 — поверхность и объемъ, отнесенные къ одной оси, и черезъ M_2 и V_2 — тѣ же величины для другой оси, имѣемъ:

$$M_1 = 2\pi a s \pm M_2; \qquad V_1 = 2\pi a F \pm V_2.$$

Здѣсь знакъ —, если s или F находятся между параллельными осями; въ противномъ случаѣ знакъ $+$.

4. Если вообще $y = f(x)$ уравненіе меридіональной линіи (ось x — ось вращенія); M — часть поверхности, заключенная между 2-мя плоскостями, проведенными въ разстояніи x_1 и x_2 отъ начала координатъ нормально къ оси x-овъ, и V — объемъ, заключенный между тѣми же плоскостями и поверхностью тѣла вращенія, то:

$$M = 2\pi \int_{x_1}^{x_2} y\,.\,ds; \qquad V = 2\pi \int_{x_1}^{x_2} y^2\,.\,dx.$$

$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ есть дифференціалъ длины дуги меридіональной кривой.

5. Если s или F суть алгебраическія суммы длинъ дугъ s_1, s_2, s_3 и т. д. или площадей F_1, F_2, F_3. ., и разстоянія центровъ тяжести ихъ отъ оси вращенія x_{01}, x_{02}, x_{03}. извѣстны, то:

$$M = 2\pi (s_1 x_{01} + s_2 x_{02} + s_3 x_{03} + \quad .) \text{ и}$$
$$V = 2\pi (F_1 x_{01} + F_2 x_{02} + F_3 x_{03} + \quad)$$

6. Для части тѣла вращенія слѣдуетъ значенія M и V умножить на $\varphi^0 : 360$, если φ^0 есть уголъ поворота въ градусахъ (см. напр. **13**., стр. 138).

7. Вышеприведенныя правила могутъ быть примѣняемы вообще къ какому угодно движенію центра тяжести, лишь бы площадь фигуры была перпендикулярна къ направленію движенія.

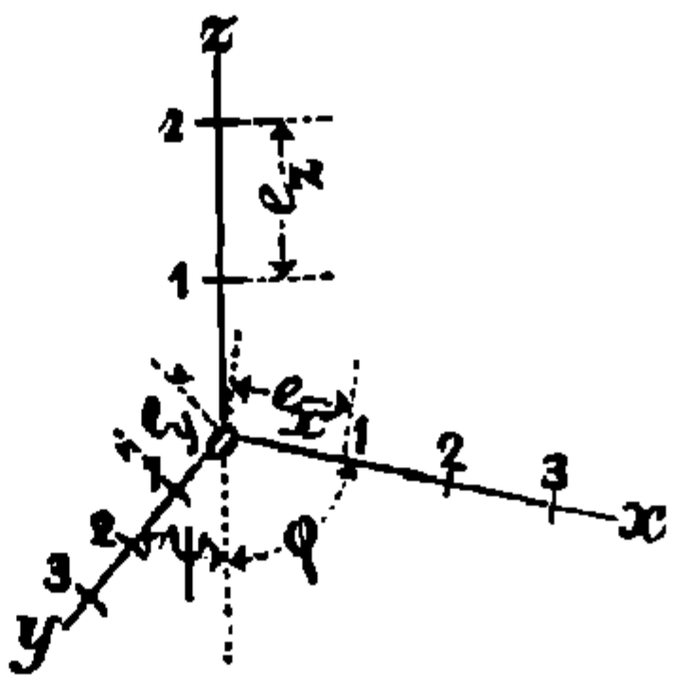
НТБ ДНУЗТ

VIII. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ПЕРСПЕКТИВА.

1. Для того, чтобы возможно яснѣе представить себѣ форму какого-нибудь тѣла, а также соотношеніе всѣхъ его размѣровъ, пользуются очень часто т. и. параллельною проекціей, которая хотя и даетъ изображенія не вполнѣ похожія на предметъ въ натурѣ, но само изображеніе предмета выполняется гораздо легче, чѣмъ при центральной проекціи. Выполненіе изображенія достигается всего легче способомъ **аксонометрическихъ проекцій.** Выбираютъ систему трехъ взаимно-перпендикулярныхъ осей, къ которымъ и относятъ данное тѣло; на каждой изъ осей принимаютъ извѣстный масштабъ, проектируютъ оси вмѣстѣ съ выбранными масштабами на бумагу и всѣ разстоянія, которыя у даннаго тѣла параллельны одной изъ осей, наносятъ на чертежъ параллельно проекціи этой оси и въ выбранномъ для этой оси масштабѣ. Ось z-овъ выбирается вертикально.

2. При косой проекціи направленія осей и единицы длины для масштабовъ могутъ быть выбираемы произвольно, лишь бы не болѣе какъ двѣ изъ осей имѣли одно и то же направленіе, и не болѣе какъ одинъ изъ масштабовъ на оси былъ равенъ нулю (Законъ Польке).

Черт. 40.



Наиболѣе простые случаи (черт. 40);

1) $e_x = e_z = 1$; $e_y = 1, {}^1/_2$ и ${}^1/_3$;
$\varphi = 90^0$; $\psi = 45^0, 60^0$
(кавалерійская перспектива).

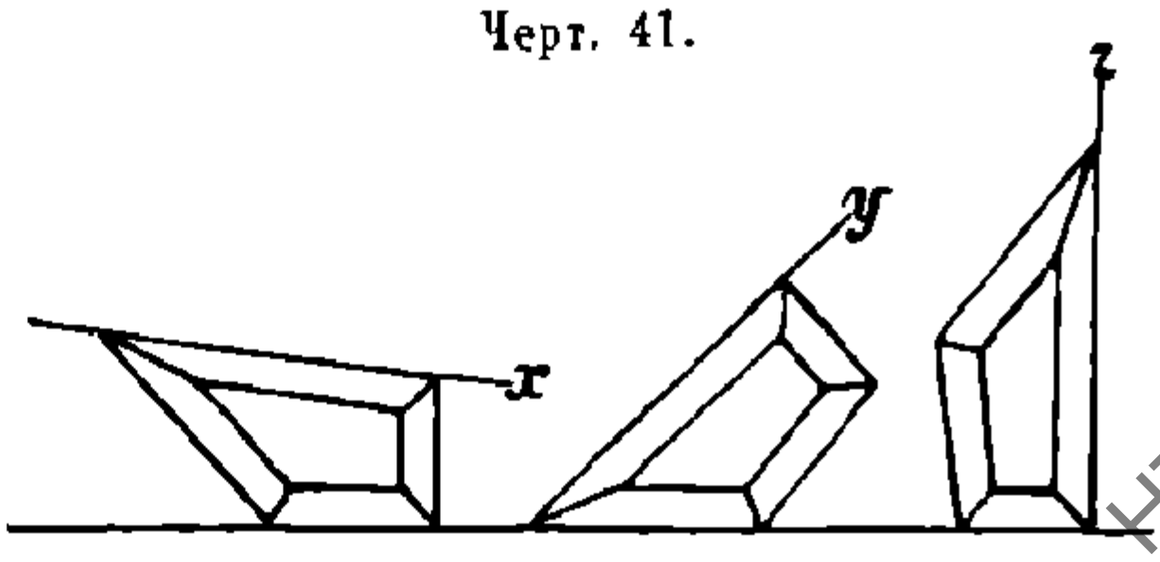
2) $e_x = e_y = e_z = 1$; $\varphi + \psi = 90^0$
(военная перспектива).

3. Если тѣло ограничено не одиѣми прямыми линіями и плоскими фигурами, а кругами въ различныхъ положеніяхъ, круговыми цилиндрами, конусами, шарами и, вообще, произвольными тѣлами вращенія, то предпочитаютъ **вертикальную проекцію**. Въ этой проекціи величина масштабовъ, въ которыхъ откладываются различныя измѣренія тѣла, находится въ зависимости отъ направленія осей, и, наоборотъ,—направленіе осей зависитъ отъ выбранныхъ масштабовъ. Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены наиболѣе употребительныя соотношенія *). Обозначенія:

---

*) Для обыкновенныхъ случаевъ рекомендуется проекція $1 : {}^1/_2 : 1$, наиболѣе простая изъ проекцій, близкихъ къ изометрической. Послѣдняя даетъ некрасивыя изображенія. При черченіи значительно выгадывается во времени, если прямыя параллельныя осямъ проекцій чертить посредствомъ четыреугольняка, употребленіе котораго въ 3-хъ случахъ показано на чертежѣ 41.

Черт. 41.



НТБ ДНУЗТ

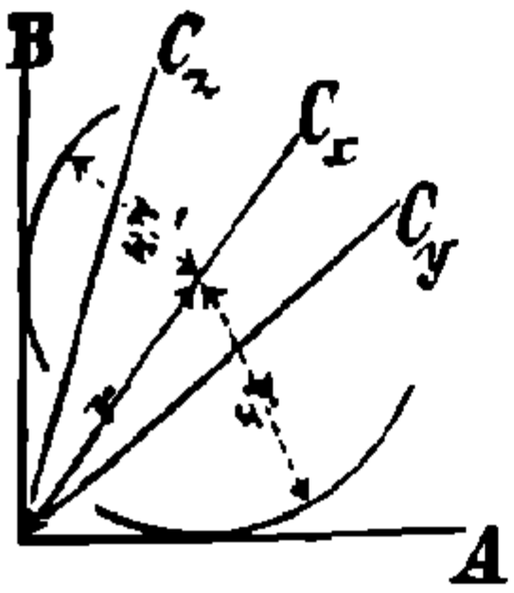
e единица длины дѣйствительнаго масштаба чертежа,
e_x, e_y, e_z единицы длины масштабовъ по отдѣльнымъ осямъ,
φ и ψ острые углы, образуемые осями x и соотв. y съ осью z-овъ.

Родъ проекціи.	$e_x : e_y : e_z$	$e_z : e$	ctg φ (приблизительно)	ctg ψ (приблизительно)
Изометрическая проекція.	1 1 : 1	0,8165	$\varphi = \psi = 60^0$	
Диметрическая проекція.	1 $^1/_2$: 1	0,9428	1 : 8	7 : 8
	1 : $^1/_3$: 1	0,9733	1 18	17 : 18
	1 : $^1/_4$: 1	0,9847	1 : 32	31 : 32
Триметрическая проекція.	$^5/_6$: $^2/_3$: 1	0,9670	1 : 5	1 : 3
	$^9/_{10}$: $^1/_2$: 1	0,9853	1 11	4 : 11

Послѣдняя графа служитъ для нанесенія направленія осей проекціи.

4. Пусть r_x, r_y, r_z будутъ отрѣзки, которые, будучи измѣрены въ соотвѣтственныхъ масштабахъ x, y, z, даютъ одну и ту же натуральную длину r (такъ что $r_z = r\,(e_x : e)$ и т. д.). Длина этихъ отрѣзковъ можетъ быть найдена и безъ употребленія масштабовъ, посредствомъ слѣдующаго (служащаго и для другихъ цѣлей, см. 5) способа уменьшенія (черт. 42). Лучи C_x, C_y, C_z проведены къ A подъ углами, синусы которыхъ имѣютъ значенія $e_x : e$, $e_y : e$, $e_z : e$.

Черт. 42.

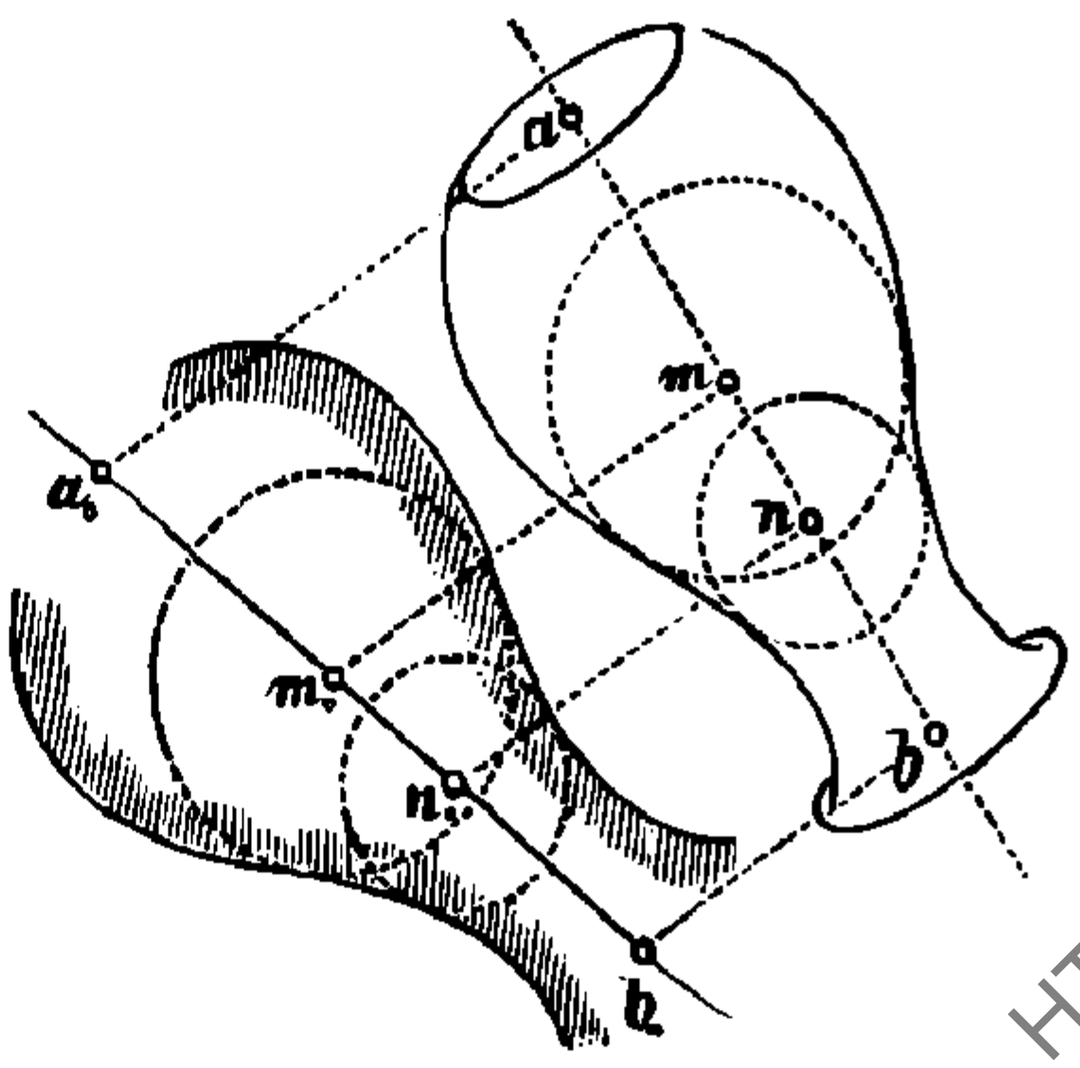


5. Круги, параллельные координатнымъ плоскостямъ (черт. 43). Кругъ, параллельный плоскости yz, чертится въ видѣ эллипса, центръ котораго представляетъ изображеніе центра круга, и котораго большая полуось равна дѣйствительной величинѣ радіуса круга r и перпендикулярна оси x-овъ, а малая полуось имѣетъ значеніе (r_x см. **4.**):

$$r'_x = \sqrt{r^2 - r_x^2}.$$

Черт. 43.

Черт. 44.



НТБ ДНУЗТ

То же относится и до другихъ параллельныхъ плоскостей xz и xy. Опредѣленіе величинъ отрѣзковъ r'_x, r'_y, r'_z производится съ помощью черт. 42. Для проекціи $1:{}^1/_2:1$ имѣемъ $r'_x = r'_z = {}^1/_3\, r$.

6. Изображеніе **шара** имѣетъ форму круга, центръ котораго соотвѣтствуетъ центру шара и радіусъ котораго равенъ радіусу шара въ натурѣ.

Кажущаяся толщина **цилиндровъ** съ круговымъ сѣченіемъ въ какомъ угодно положеніи равна дѣйствительной толщинѣ.

7. Поверхности вращенія въ какомъ угодно положеніи. Чертятъ профиль (черт. 44) въ дѣйствительномъ масштабѣ чертежа въ такомъ положеніи, что если a_0 и b_0 представляютъ 2 произвольныя точки оси вращенія, a и b изображеніе этихъ точекъ, то aa_0 должна быть параллельна bb_0. Затѣмъ изъ любыхъ точекъ m_0, n_0 оси описываютъ круги, касательные къ профили, и тѣми же радіусами описываютъ круги изъ соотвѣтствующихъ точекъ m, n, полученныхъ послѣ проведенія параллелей къ aa_0 изъ m_0, n_0... Обертывающая этихъ круговъ и есть проекція заданной поверхности.

Примѣчаніе. Построенія 5 до 7 относятся только до прямоугольныхъ проекцій.

НТБ ДНУЗТ

ВТОРОЙ ОТДѢЛЪ.

МЕХАНИКА.

I. ГЕОМЕТРИЧЕСКІЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНІЯ.

A. Движеніе точки.

a. Прямолинейное движеніе.

1. Скорость. Движеніе точки называется **равномѣрнымъ**, если въ одинаковые промежутки времени точка перемѣщается на одинаковыя разстоянія. Величину

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\text{длины пути}}{\text{соотвѣтствующее время}}$$

называютъ скоростью движенія.

Въ другомъ случаѣ движеніе назыв. **неравномѣрнымъ**. Для рости v во время t имѣемъ выраженіе:

$$v = \frac{ds}{dt}.$$

Отсюда слѣдуетъ, что путь $s - s_0$ во время t будетъ:

$$s - s_0 = \int_0^t v.dt,$$

гдѣ s_0 означаетъ разстояніе точки въ началѣ движенія, т. - е. при $t = 0$, а s — то же въ моментъ t, отъ произвольной постоянной точки прямой.

2. Ускореніе. Движеніе точки называется **равномѣрно-ускореннымъ** или **равномѣрно замедленнымъ**, если въ одинаковые промежутки времени скорость увеличивается или соотв. уменьшается на одинаковую величину. Измѣненіе скорости въ единицу времени (1 секунду) называется ускореніемъ и соотв. замедленіемъ (послѣднее наз. отрицательнымъ ускореніемъ).

$$p = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\text{измѣненію скорости}}{\text{соотвѣтствующее время}}.$$

Скорость при этомъ $v = v_0 + pt$

а путь: $s = s_0 + \int_0^t v.dt = s_0 + v_0 t + {}^1/_2 p\, t^2.$

НТБ ДНУЗТ

Таблица соотношеній между s, v, p и t.

Дано:	Требуется найти: s	v	p	t
$s = f(t)$	$s = f(t)$	$f'(t) = \frac{ds}{dt}$	$f''(t) = \frac{d^2s}{dt^2}$	t
$v = f(t)$	$s_0 + \int_0^t f(t)\,dt = s_0 + \int_0^t v.\,dt$	$v = f(t)$	$f'(t) = \frac{dv}{dt}$	t
$p = f(t)$	$s_0 = \int_0^t v.\,dt$ (v найти предварительно).	$v_0 + \int_0^t f(t)\,dt = v_0 + \int_0^t p.\,dt$	$p = f(t)$	t
$p = f(s)$		$\sqrt{v_0^2 + 2\int_{s_0}^{s} f(s)\,ds} = \sqrt{v_0^2 + 2\int_{s_0}^{s} p.\,ds}$	$p = f(s)$	$\int_{s_0}^{s} \frac{ds}{v}$ (v найти предварительно).
$v = f(s)$		$v = f(s)$	$f(s).f'(s) = v\frac{dv}{ds}$	$\int_{s_0}^{s} \frac{ds}{f(s)} = \int_{s_0}^{s} \frac{ds}{v}$
$p = f(v)$	$s_0 + \int_{v_0}^{v} \frac{v}{f(v)}dv = s_0 + \int_{v_0}^{v} \frac{v}{p}dv$	v	$p = f(v)$	$\int_{v_0}^{v} \frac{dv}{f(v)} = \int_{v_0}^{v} \frac{dv}{p}$

НТБ ДНУЗТ

Въ остальныхъ случаяхъ **неравномѣрно-ускореннаго** и неравномѣрно-замедленнаго движенія будемъ имѣть:

$$\text{ускореніе } p = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}.$$

Отсюда скорость: $$v = v_0 + \int_0^t p.dt,$$

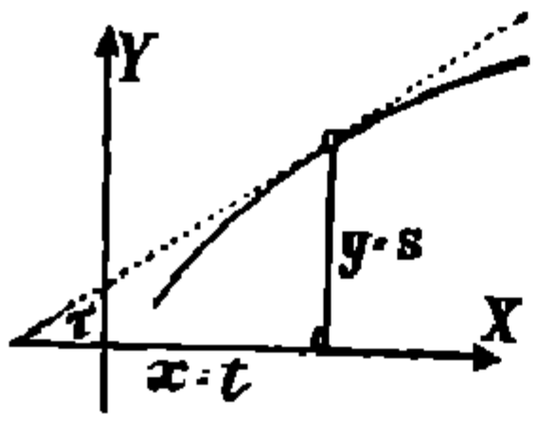
гдѣ v_0 скорость во время $t = 0$.

Если для прямолинейнаго движенія точки изъ четырехъ величинъ s, v, p, t одна дана какъ функція другой, то остальныя двѣ находятся при помощи уравненій, приведенныхъ въ таблицѣ стр. 144.

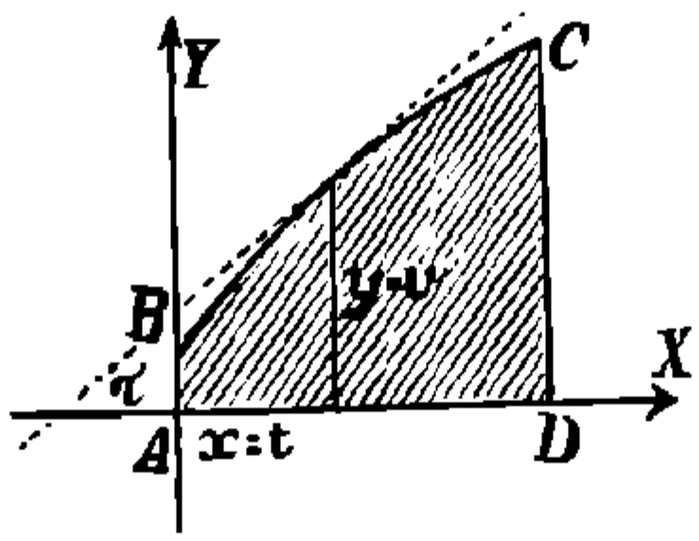
3. Графическое построеніе.

1. Откладывая (черт. 45) время t какъ абсциссы, а соотвѣтственные пути s какъ ординаты, найдемъ, что $v = \frac{ds}{dt} = \operatorname{tg}\tau$ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше наклонъ касательной въ соотвѣтствующей точкѣ кривой. Для равномѣрнаго движенія эта кривая превращается въ прямую $s = s_0 + vt$ (графики движенія желѣзнодорожныхъ поѣздовъ).

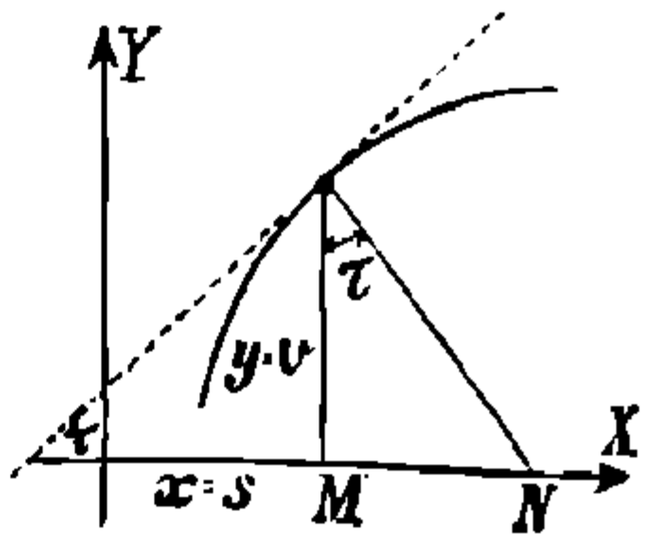
Черт. 45.



Черт. 46.



Черт. 47.



2. Если (черт. 46) откладывать время t какъ абсциссы, а скорости v какъ ординаты, то ускореніе $p = \operatorname{tg}\tau$ и путь $s = \int v\,.\,dt =$ площади $ABCD$. Для равномѣрно-ускореннаго движенія кривая BC превращается въ прямую, а для равномѣрнаго движенія прямая эта дѣлается параллельною оси x-овъ.

3. Откладывая (черт. 47) s какъ абсциссы, а v какъ ординаты, найдемъ, что ускореніе $p =$ поднормали MN.

НТБ ДНУЗТ

Таблица высоты h, соотвѣтствующей скорости (паденія или напора) въ m для конечныхъ скоростей v отъ 0 до 1000 m/Sec.

$$h = v^2 \quad 2\,g; \qquad g = 9{,}81\ \mathrm{m/sec^2}.$$

v	h	v	h	v	h	v	h	v	h
0	0,00000	40	81,5494	80	326,198	285	4139,91	645	21204,1
1	0,05097	41	85,6779	81	334,404	295	4435,52	655	21866,7
2	0,20387	42	89,9083	82	342,712	300	4587,16	665	22539,5
3	0,45872	43	94,2406	83	351,121	305	4741,34	675	23222,5
4	0,81549	44	98,6748	84	359,633	315	5057,34	685	23915,7
5	1,27421	45	103,211	85	368,247	325	5383,54	695	24619,0
6	1,83486	46	107,849	86	376,962	335	5719,93	700	24974,5
7	2,49745	47	112,589	87	385,780	345	6066,51	705	25332,6
8	3,26198	48	117,431	88	394,699	355	6423,29	715	26056,3
9	4,12844	49	122,375	89	403,721	365	6790,26	725	26790,3
10	5,09684	50	127,421	90	412,844	375	7167,43	735	27534,4
11	6,16718	51	132,669	91	422,069	385	7554,79	745	28288,7
12	7,33945	52	137,819	92	431,397	395	7952,34	755	29053,3
13	8,61366	53	143,170	93	440,826	400	8154,94	765	29828,0
14	9,98981	54	148,624	94	450,357	405	8360,09	775	30612,9
15	11,4679	55	154,179	95	459,990	415	8778,03	785	31408,0
16	13,0479	56	159,837	96	469,725	425	9206,17	795	32213,3
17	14,7299	57	165,596	97	479,562	435	9644,50	800	32619,8
18	16,5138	58	171,458	98	489,501	445	10093,0	805	33028,8
19	18,3996	59	177,421	99	499,541	455	10551,7	815	33854,5
20	20,3874	60	183,486	100	509,684	465	11020,6	825	34690,4
21	22,4771	61	189,653	105	561,927	475	11499,7	835	35536,4
22	24,6687	62	195,923	115	674,057	485	11989,0	845	36392,7
23	26,9623	63	202,294	125	796,381	495	12488,5	855	37259,2
24	29,3578	64	208,767	135	928,899	500	12742,1	865	38135,8
25	31,8552	65	215,341	145	1071,61	505	12998,2	875	39022,7
26	34,4546	66	222,018	155	1224,52	515	13518,1	885	39919,7
27	37,1560	67	228,797	165	1387,61	525	14048,2	895	40827,0
28	39,9592	68	235,678	175	1560,91	535	14588,4	900	41284,4
29	42,8644	69	242,661	185	1744,39	545	15138,9	905	41744,4
30	45,8716	70	249,745	195	1938,07	555	15699,5	915	42672,0
31	48,9807	71	256,932	200	2038,74	565	16270,4	925	43609,8
32	52,1917	72	264,220	205	2141,95	575	16851,4	935	44557,8
33	55,5046	73	271,611	215	2356,01	585	17442,7	945	45516,1
34	58,9195	74	279,103	225	2574,34	595	18044,1	955	46484,5
35	62,4363	75	286,697	235	2814,73	600	18348,6	965	47463,1
36	66,0551	76	294,393	245	3059,38	605	18655,3	975	48451,8
37	69,7757	77	302,192	255	3314,22	615	19277,5	985	49450,8
38	73,5984	78	310,092	265	3579,26	625	19909,5	995	50460,0
39	77,5229	79	318,094	275	3854,48	635	20551,7	1000	50968,4

НТБ ДНУЗТ

Таблица конечныхъ скоростей v въ m въ сек. для высоты соотвѣтствующей скорости (паденія или напора) h отъ 1 до 1000 m.

$$v = \sqrt{2\,g\,h}; \qquad g = 9{,}81 \text{ m/sec}^2.$$

h	v	h	v	h	v	h	v	h	v
1	4,42945	41	28,3623	81	39,8650	210	64,1888	610	109,399
2	6,26418	42	28,7061	82	40,1103	220	65,6993	620	110,292
3	7,67202	43	29,0458	83	40,3542	230	67,1759	630	111,435
4	8,85889	44	29,3816	84	40,5032	240	68,6207	640	112,057
5	9,90454	45	29,7136	85	40,8375	250	70,0357	650	112,929
6	10,8499	46	30,0420	86	41,0770	260	71,4227	660	113,795
7	11,7192	47	30,3668	87	41,3151	270	72,7832	670	114,653
8	12,5284	48	30,6881	88	41,5519	280	74,1188	680	115,506
9	13,2883	49	31,0061	89	41,7873	290	75,4308	690	116,352
10	14,0071	50	31,3209	90	42,0214	300	76,7202	700	117,192
11	14,6908	51	31,6326	91	42,2542	310	77,9884	710	118,026
12	15,3440	52	31,9412	92	42,4858	320	79,2364	720	118,855
13	15,9706	53	32,2469	93	42,7160	330	80,4649	730	119,677
14	16,5730	54	32,5497	94	42,9451	340	81,6750	740	120,494
15	17,1553	55	32,8496	95	43,1729	350	82,8673	750	121,305
16	17,7178	56	33,1469	96	43,3995	360	84,0429	760	122,111
17	18,2630	57	33,4416	97	43,6250	370	85,2021	770	122,912
18	18,7925	58	33,7337	98	43,8493	380	86,3458	780	123,708
19	19,3075	59	34,0232	99	44,0724	390	87,4746	790	124,498
20	19,8091	60	34.3105	100	44,2945	400	88,5889	800	125,284
21	20,2983	61	34,5951	105	45,3883	410	89,6895	810	126,064
22	20,7759	62	34,8775	110	46,4564	420	90,7767	820	126,840
23	21,2428	63	35,1577	115	47,5005	430	91,8510	830	127,611
24	21,6998	64	35,4356	120	48,5224	440	92,9129	840	128,378
25	22,1472	65	35,7113	125	49,5227	450	93,9627	850	129,140
26	22,5858	66	35,9850	130	50,5037	460	95,0010	860	129,897
27	23,0161	67	36,2566	135	51,4655	470	96,0281	870	130,650
28	23,4384	68	36,5262	140	52,4099	480	97,0443	880	131,399
29	23,8535	69	36,7938	145	53,3376	490	98,0500	890	132,143
30	24,2611	70	37,0594	150	54,2492	500	99,0454	900	132,883
31	24,6621	71	37,3232	155	55,1462	510	100,031	910	133,620
32	25,0567	72	37,5851	160	56,0284	520	101,007	920	134,352
33	25,4452	73	37,8452	165	56,8973	530	101,974	930	135,080
34	25,8279	74	38,1035	170	57,7529	540	102,931	940	135,804
35	26,2050	75	38,3601	175	58,5961	550	103,880	950	136,525
36	26,5767	76	38,6150	180	59,4272	560	104,820	960	137,241
37	26,9433	77	38,8682	185	60,2470	570	105,752	970	137,954
38	27,3049	78	39,1198	190	61,0555	580	106,675	980	138,664
39	27.6619	79	39,3698	195	61,8539	590	107,591	990	139,369
40	28,0143	80	39,6182	200	62,6418	600	108,499	1000	140,071

НТБ ДНУЗТ

4. Свободное паденіе въ безвоздушномъ пространствѣ.

См. ниже: паденіе съ принятіемъ въ разсчетъ сопротивленія воздуха.

1. Для небольшихъ высотъ паденія имѣемъ ускореніе свободно-падающаго тѣла въ m/sec²:

$$g = 9{,}806\,056 - 0{,}025\,028 \cos 2\varphi - 0{,}000\,003\,h,$$

гдѣ φ географическая широта мѣста и h—высота мѣста надъ уровнемъ моря *). Для широты $\varphi = 50^0$ и высоты надъ уровнемъ моря $h = 0$ будемъ имѣть:
$g = \mathbf{9{,}81\ m/sec^2}$ **) (= 31,25 прусск. фут./sec² = 32,18 англ. фут./sec²).

На уровнѣ моря у полюсовъ имѣемъ $\varphi = 90^0$, $g_p = 9{,}831$ m, а у экватора $\varphi = 0$, $g_a = 9{,}781$ m; для широты $\varphi = 45^0$ будемъ имѣть $g_m = 9{,}806$ m, и слѣд.: $g_p - g_a = {}^1/_{196}\, g_m$.

2. Если паденіе тѣла начинается съ начальною скоростью $v_0 = 0$, то имѣемъ (равномѣрно-ускоренное движеніе):

$$v = g\,t = \sqrt{2\,g\,h}; \qquad h = \frac{g\,t^2}{2} = \frac{v^2}{2\,g}; \qquad t = \frac{v}{g} = \sqrt{\frac{2\,h}{g}}.$$

(h высота паденія, v скорость во время t).

При помощи **таблицъ стр. 146 и 147** можно, по данному h, найти соотвѣтствующее v, и наоборотъ. Напр., для v=0,02 m въ секунду h=0,000 020 387 m (изъ v=2 m); для v=8,7 m въ секунду h=3,857 80 m (изъ v=87 m). Точно также для h=0,13 m v=1,597 06 m въ сек. (изъ h=13 m); для h=2,70 m имѣемъ v=7,278 32 m въ сек. (изъ h = 270 m) и т. д.

3. Если тѣло брошено вертикально вверхъ, со скоростью v_0, то имѣемъ (равномѣрно-замедленное движеніе):

$$\text{высота подъема } h = \frac{v_0^2}{2\,g}, \qquad v = v_0 - g\,t, \qquad s = v_0\,t - g\,\frac{t^2}{2},$$

гдѣ v и s скорость и путь во время t.

Въ одной и той же точкѣ пути тѣло при паденіи и при движеніи вертикально вверхъ имѣетъ одинаковыя, но противоположно направленныя скорости.

b. Криволинейное движеніе.

1. Проекція движенія. Если изъ какой-либо движущейся точки A, которая во время t имѣетъ координаты x, y, z и скорость v, опустить перпедикуляры на координатныя оси, то движенія основаній этихъ перпендикуляровъ называются проекціями движенія или

---

*) Дальнѣйшія формулы для g см. J. D. Everett, Illustrations of the C. G. S.-system of units, 4 изд., стр. 22; Лондонъ, 1891. (Нѣмецкій переводъ P. Chappuis и D. Kreichgauer, Лейпцигъ, 1888).

**) Значеніе алгебраическихъ выраженій, содержащихъ g, см. стр. 40.

НТБ ДНУЗТ

проектированными движеніями точки A. Скорости послѣднихъ равны:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{ds}{dt}\cos\alpha_x = v\cos\alpha_x; \quad v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{ds}{dt}\cos\alpha_y = x\cos\alpha_y;$$

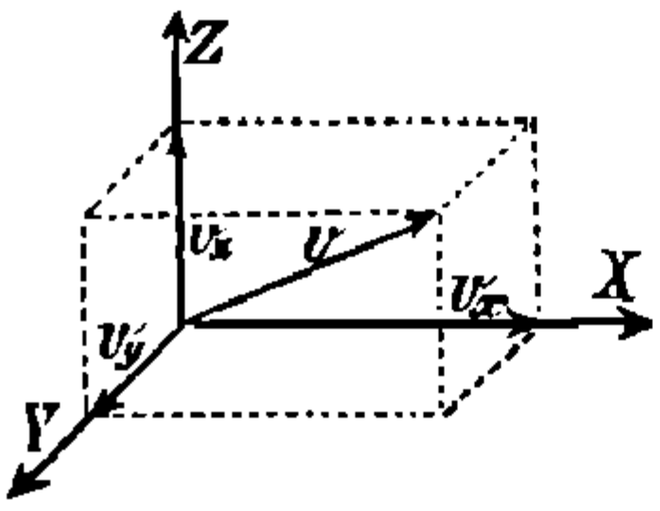
$$v_z = \frac{dz}{dt} = \frac{ds}{dt}\cos\alpha_z = v\cos\alpha_z.$$

Величина и направленіе скорости x получаются изъ соотношеній:

$$v = \sqrt{v^2_x + v^2_y + v^2_z},$$

$$\cos\alpha_x = \frac{v_x}{v}, \quad \cos\alpha_y = \frac{v_y}{v}, \quad \cos\alpha_z = \frac{v_z}{v}$$

Черт, 48.



Въ этомъ заключается законъ параллелепипеда скоростей (черт. 48).

Обратно v можетъ быть разложено по тремъ взаимно-перпендикулярнымъ осямъ слѣдующимъ образомъ:

$$v_x = v\cos\alpha_x, \qquad v_y = v\cos\alpha_y, \qquad v_z = v\cos\alpha_z.$$

Для ускореній проекцій движенія имѣемъ подобнымъ-же образомъ:

$$p_x = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = p\cos\beta_x, \quad p_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = p\cos\beta_y, \quad p_z = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = p\cos\beta_z.$$

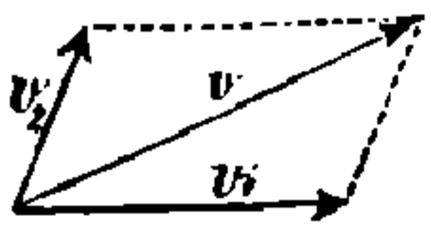
и отсюда

$$p = \sqrt{p^2_x + p^2_y + p^2_z},$$

$$\cos\beta_x = \frac{p_x}{p}; \qquad \cos\beta_y = \frac{p_y}{p} \qquad \cos\beta_z = \frac{p_z}{p}$$

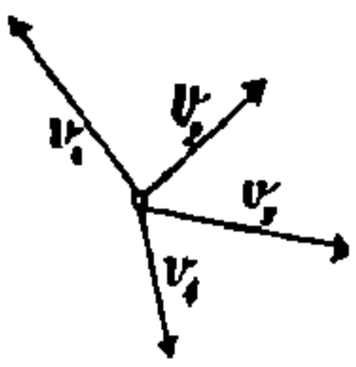
2. Параллелограммъ и многоугольникъ скоростей и ускореній. Если одна и та же точка имѣетъ нѣсколько скоростей v_1, v_2, v_3 и соотв. нѣсколько ускореній p_1, p_2, p_3 ., то ихъ можно замѣнить одной (равнодѣйствующей) скоростью v и соотв. равнодѣйствующимъ ускореніемъ p. Равнодѣйствующая эта для двухъ скоростей или ускореній по величинѣ и направленію равна діагонали параллелограмма, построеннаго на заданныхъ скоростяхъ или ускореніяхъ (черт. 49).

Черт. 49.

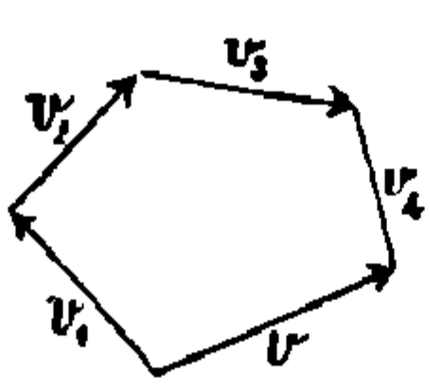


Для трехъ скоростей или ускореній равнодѣйствующая по величинѣ и направленію совпадаетъ съ діагональю параллелепипеда, построеннаго на данныхъ скоростяхъ или ускоренінхъ; для многихъ скоростей или ускореній равнодѣйствующая представляетъ замыкающій бокъ многоугольника (въ пространствѣ), стороны котораго по величинѣ и направленію представляютъ отдѣльныя заданныя скорости или ускоренія (черт. 50 и 51).

Черт. 50.



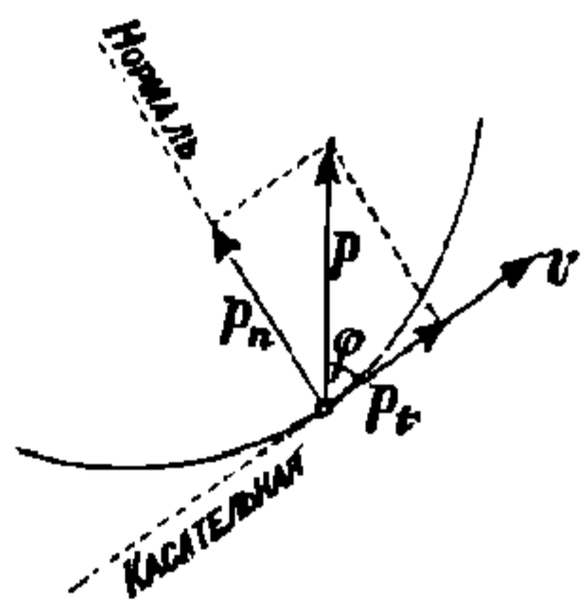
Черт. 51.



НТБ ДНУЗТ

3. Касательное и нормальное ускореніе.

Черт. 52.



Скорость $v = \frac{ds}{dt}$ совпадаетъ съ направленіемъ касательной къ кривой, по которой происходитъ движеніе точки; **полное ускореніе** p, напротивъ того, говоря вообще, образуетъ уголъ съ направленіемъ касательной (черт. 52). Разлагая p по касательной и по главной нормали на p_t и p_n, найдемъ, если ϱ — радіусъ кривизны пути:

Касательное ускореніе $p_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$.

Нормальное или **центростремительное ускореніе** $p_n = \frac{v^2}{\varrho}$.

Отсюда опредѣляется полное ускореніе:

$$p = \sqrt{p_t^2 + p_n^2};$$

для угла φ между v и p будемъ имѣть:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{p_n}{p_t} = \frac{\frac{v^2}{\varrho}}{\frac{dv}{dt}}$$

Примѣръ. Если точка движется по кругу радіуса r равномѣрно со скоростью v, то нормальное ускореніе, направленное къ центру круга, или центростремительное ускореніе $p_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$, гдѣ ω — угловая скорость, равная $v : r$.

4. Годографъ движенія. Если отъ нѣкоторой точки въ пространствѣ откладывать всѣ скорости движенія точки по ихъ величинѣ и направленію, то концы отрѣзковъ образуютъ кривую, которая называется **годографомъ движенія**. Годографъ представляетъ законъ измѣненія скоростей, а касательныя въ этой кривой параллельны полнымъ ускореніямъ.

B. Движеніе твердыхъ тѣлъ.

a. Элементарныя перемѣщенія.

Каждое безконечно малое движеніе тѣла называется элементарнымъ перемѣщеніемъ. Наиболѣе простыя элементарныя перемѣщенія, къ которымъ приводятся всѣ остальныя перемѣщенія, представляютъ:

(Продолженіе на стр. 152).

НТБ ДНУЗТ

Угловыя скорости ω для $n = 0$ до 509 оборотовъ въ мин. *)

(См. стр. 152).

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,0000	0,1047	0,2094	0,3142	0,4189	0,5236	0,6283	0,7330	0,8378	0,9425
10	1,0472	1,1519	1,2566	1,3614	1,4661	1,5708	1,6755	1,7802	1,8850	1,9897
20	2,0944	2,1991	2,3038	2,4086	2,5133	2,6180	2,7227	2,8274	2,9322	3,0369
30	3,1416	3,2463	3,3510	3,4558	3,5605	3,6652	3,7699	3,8746	3,9794	4,0841
40	4,1888	4,2935	4,3982	4,5029	4,6077	4,7124	4,8171	4,9218	5,0265	5,1313
50	5,2360	5,3407	5,4454	5,5501	5,6549	5,7596	5,8643	5,9690	6,0737	6,1785
60	6,2832	6,3879	6,4926	6,5973	6,7021	6,8068	6,9115	7,0162	7,1209	7,2257
70	7,3304	7,4351	7,5398	7,6445	7,7493	7,8540	7,9587	8,0634	8,1681	8,2729
80	8,3776	8,4823	8,5870	8,6917	8,7965	8,9012	9,0059	9,1106	9,2153	9,3201
90	9,4248	9,5295	9,6342	9,7389	9,8437	9,9484	10,053	10,158	10,263	10,367
100	10,472	10,577	10,681	10,786	10,891	10,996	11,100	11,205	11,310	11,414
110	11,519	11,624	11,729	11,833	11,938	12,043	12,147	12,252	12,357	12,462
120	12,566	12,671	12,776	12,881	12,985	13,090	13,195	13,299	13,404	13,509
130	13,614	13,718	13,823	13,928	14,032	14,137	14,242	14,347	14,451	14,556
140	14,661	14,765	14,870	14,975	15,080	15,184	15,289	15,394	15,499	15,603
150	15,708	15,813	15,917	16,022	16,127	16,232	16,336	16,441	16,546	16,650
160	16,755	16,860	16,965	17,069	17,174	17,279	17,383	17,488	17,593	17,698
170	17,802	17,907	18,012	18,117	18,221	18,326	18,431	18,535	18,640	18,745
180	18,850	18,954	19,059	19,164	19,268	19,373	19,478	19,583	19,687	19,792
190	19,897	20,001	20,106	20,211	20,316	20,420	20,525	20,630	20,735	20,839
200	20,944	21,049	21,153	21,258	21,363	21,468	21,572	21,677	21,782	21,886
210	21,991	22,096	22,201	22,305	22,410	22,515	22,619	22,724	22,829	22,934
220	23,038	23,143	23,248	23,353	23,457	23,562	23,667	23,771	23,876	23,981
230	24,086	24,190	24,295	24,400	24,504	24,609	24,714	24,819	24,923	25,028
240	25,133	25,237	25,342	25,447	25,552	25,656	25,761	25,866	25,970	26,075
250	26,180	26,285	26,389	26,494	26,599	26,704	26,808	26,913	27,018	27,122
260	27,227	27,332	27,437	27,541	27,646	27,751	27,855	27,960	28,065	28,170
270	28,274	28,379	28,484	28,588	28,693	28,798	28,903	29,007	29,112	29,217
280	29,322	29,426	29,531	29,636	29,740	29,845	29,950	30,055	30,159	30,264
290	30,369	30,473	30,578	30,683	30,788	30,892	30,997	31,102	31,206	31,311
300	31,416	31,521	31,625	31,730	31,835	31,940	32,044	32,149	32,254	32,358
310	32,463	32,568	32,673	32,777	32,882	32,987	33,091	33,196	33,301	33,406
320	33,510	33,615	33,720	33,824	33,929	34,034	34,139	34,243	34,348	34,453
330	34,558	34,662	34,767	34,872	34,976	35,081	35,186	35,291	35,395	35,500
340	35,605	35,709	35,814	35,919	36,024	36,128	36,233	36,338	36,442	36,547
350	36,652	36,757	36,861	36,966	37,071	37,176	37,280	37,385	37,490	37,594
360	37,699	37,804	37,909	38,013	38,118	38,223	38,327	38,432	38,537	38,642
370	38,746	38,851	38,956	39,060	39,165	39,270	39,375	39,479	39,584	39,689
380	39,794	39,898	40,003	40,108	40,212	40,317	40,422	40,527	40,631	40,736
390	40,841	40,945	41,050	41,155	41,260	41,364	41,469	41,574	41,678	41,783
400	41,888	41,993	42,097	42,202	42,307	42,412	42,516	42,621	42,726	42,830
410	42,935	43,040	43,145	43,249	43,354	43,459	43,563	43,668	43,773	43,878
420	43,982	44,087	44,192	44,296	44,401	44,506	44,611	44,715	44,820	44,925
430	45,029	45,134	45,239	45,344	45,448	45,553	45,658	45,763	45,867	45,972
440	46,077	46,181	46,286	46,391	46,496	46,600	46,705	46,810	46,914	47,019
450	47,124	47,229	47,333	47,438	47,543	47,647	47,752	47,857	47,962	48,066
460	48,171	48,276	48,381	48,485	48,590	48,695	48,799	48,904	49,009	49,114
470	49,218	49,323	49,428	49,532	49,637	49,742	49,847	49,951	50,056	50,161
480	50,265	50,370	50,475	50,580	50,684	50,789	50,894	50,999	51,103	51,208
490	51,313	51,417	51,522	51,627	51,732	51,836	51,941	52,046	52,150	52,255
500	52,360	52,465	52,569	52,674	52,779	52,883	52,988	53,093	53,198	53,302

*) Напр.: для $n = 70$ имѣемъ $\omega = 7,3304$; для $n = 368$ $\omega = 38,537$.

НТБ ДНУЗТ

1. Элементарное поступательное движеніе (или **сдвиженіе**), при которомъ двѣ пересѣкающіяся прямыя даннаго тѣла перемѣщаются параллельно самимъ себѣ. Всѣ точки тѣла имѣютъ при этомъ перемѣщеніи скорости и ускоренія одинаковыя по величинѣ и направленію и при конечномъ перемѣщеніи проходятъ пути, вполнѣ совпадающіе.

2. Элементарное вращеніе. При этомъ перемѣщеніи одна изъ прямыхъ линій тѣла—такъ наз. **ось вращенія**—остается мгновенно неподвижной, и всѣ остальныя точки тѣла мгновенно перемѣщаются по кругамъ, плоскости которыхъ нормальны къ оси вращенія. Нормали къ путямъ, проходимымъ всѣми точками тѣла, пересѣкаютъ ось вращенія подъ прямыми углами. Если $d\varphi$ безконечно малый уголъ вращенія тѣла во время dt, то:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$ представляетъ **угловую скорость**

вращенія во время t, и

$$\epsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$ **угловое ускореніе.**

Для какой-либо точки тѣла, отстоящей на r отъ оси вращенія, будемъ имѣть:

скорость $v = r\omega$.

Если ось вращенія находится въ теченіе конечнаго времени въ покоѣ, то пути, описываемые точками тѣла, будутъ круги, центры которыхъ находятся на оси вращенія.

$$\text{Касательное ускореніе } p_t = \frac{dv}{dt} = r\frac{d\omega}{dt} = r\epsilon,$$

$$\text{нормальное ускореніе } p_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2.$$

Если ϵ постоянно, то тѣло вращается около своей оси равномѣрно-ускоренно или равномѣрно-замедленно. Если $\epsilon = 0$, то ω постоянно, т. е. тѣло вращается равномѣрно. Если въ послѣднемъ случаѣ n означаетъ число оборотовъ въ минуту, то имѣемъ:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 0{,}104\,719\,76\,n = \frac{v}{r}; \quad n = \frac{60\,\omega}{2\pi} = 9{,}549\,296\,59\,\omega = \frac{60\,v}{2\pi r};$$

$$v = \frac{2\pi r n}{60} = 0{,}104\,719\,76\,r\,n = r\omega.$$

Значеніе ω для даннаго n см. табл. стр. 151.

3. Если тѣло, кромѣ элементарнаго вращенія, получаетъ одновременно элементарное поступательное сдвиженіе по направленію оси вращенія, то тѣло производитъ **элементарное винтовое перемѣщеніе.** Если ω угловая скорость вращенія, v_0 скорость поступательнаго сдвиженія, то точка, отстоящая на r отъ оси вращенія, будетъ имѣть общую скорость:

$$v = \sqrt{(r\omega)^2 + v_0^2}.$$

НТБ ДНУЗТ

Уголъ подъема α винтовой линіи, которую описываетъ точка при этомъ перемѣщеніи, опредѣляется изъ:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v_0}{r\omega}.$$

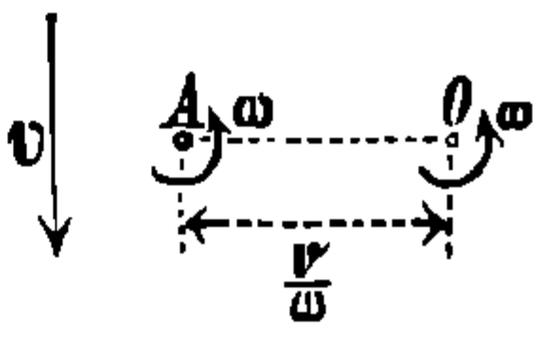
Всякое наиболѣе общее элементарное перемѣщеніе твердаго тѣла есть элементарное винтовое перемѣщеніе.

b. Сложеніе и разложеніе вращеній и сдвиженій.

1. При **сложеніи двухъ сдвиженій тѣла** получаемъ повое сдвиженіе; его скорость есть равнодѣйствующая скоростей слагаемыхъ движеній и находится посредствомъ параллелограмма скоростей. Скорости, вообще, могутъ быть разлагаемы и слагаемы по закону параллелограмма и многоугольника скоростей (см. стр. 149).

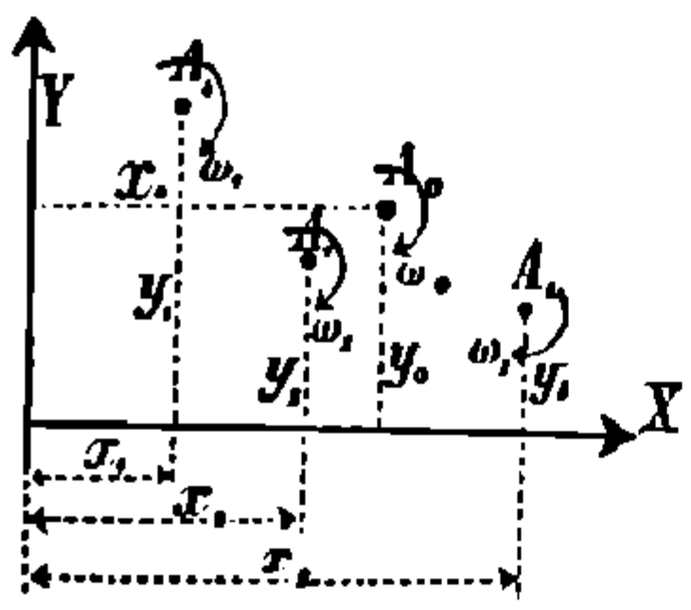
2. При **сложеніи вращенія** около оси A съ угловою скоростью ω и **сдвиженія** по **направленію перпендикулярному оси вращенія** со скоростью v (черт. 53) получимъ вращеніе около оси O, параллельной A и отстоящей отъ нея на $v:\omega$, лежащей съ A въ одной плоскости, нормальной къ v. Угловая скорость равнодѣйствующаго вращенія равна скорости ω и одинаково съ нею направлена.

Черт. 53.



При сложеніи какого угодно поступательнаго движенія съ движеніемъ вращательнымъ получимъ винтовое перемѣщеніе около оси, параллельной оси вращенія.

Черт. 54.



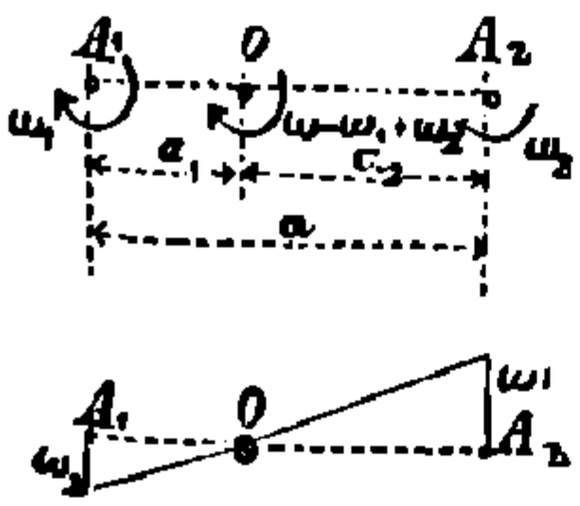
3. Вращенія около параллельныхъ осей. Пусть будетъ дано положеніе осей посредствомъ координатъ x_1 y_1, x_2, y_2... точекъ ихъ пересѣченія A_1, A_1... съ нѣкоторою плоскостью (черт. 54). Равнодѣйствующее вращеніе происходитъ съ угловою скоростью $\omega_0 = \Sigma\omega$ около параллельной оси A_0, положеніе которой опредѣляется уравненіями:

$$x_0 = \frac{\Sigma x\omega}{\Sigma\omega}; \qquad y_0 = \frac{\Sigma y\omega}{\Sigma\omega}.$$

При двухъ одинаково направленныхъ вращеніяхъ (черт. 55) съ угловыми скоростями ω_1 и ω_2 около осей A_1 и A_2, равнодѣйствующая ось вращенія O, около которой происходитъ равнодѣйствующее вращеніе съ угловою скоростью $\omega = \omega_1 + \omega_2$, находится въ плоскости, проходящей черезъ A_1 и A_2. Для разстояній a_1 и a_2 имѣемъ уравненія:

$$a_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1+\omega_2}a; \qquad a_2 = \frac{\omega_1}{\omega_1+\omega_2}a.$$

Черт. 55.

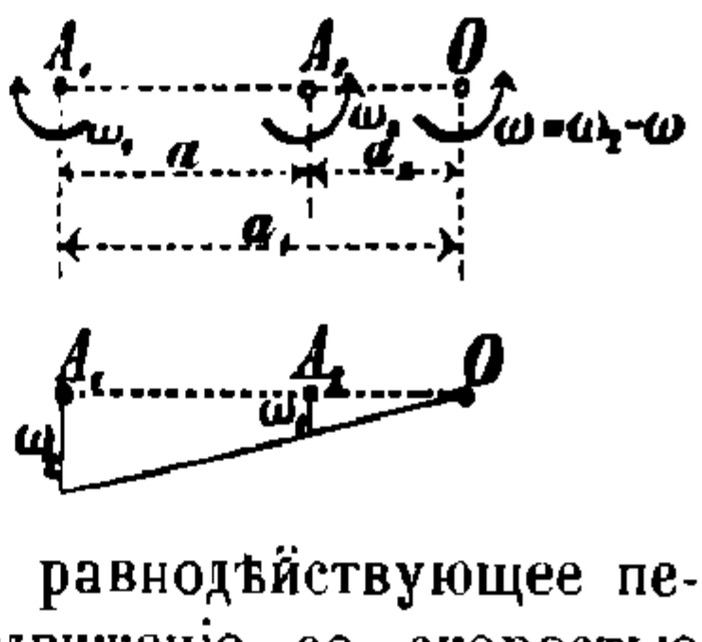


Графическое опредѣленіе O см. черт. 55.

НТБ ДНУЗТ

При двухъ вращеніяхъ направленныхъ въ разныя стороны (черт. 56), равнодѣйствующая ось O, около которой происходитъ вращеніе съ угловой скоростью $\omega = \omega_2 - \omega_1$, находится внѣ $A_1 A_2$, со стороны большей угловой скорости, и разстоянія a_1 и a_2 опредѣляются изъ:

Черт. 56.

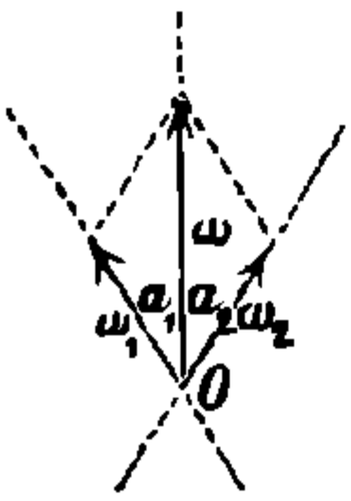


$$a_1 = \frac{\omega_2}{\omega_2 - \omega_1} a; \qquad a_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2 - \omega_1} a.$$

Графическое опредѣленіе O см. черт. 56.

Если въ послѣднемъ случаѣ $\omega_1 = \omega_2$, то равнодѣйствующее перемѣщеніе представляетъ параллельное сдвиженіе со скоростью $v = a\omega_1 = a\omega_2$, перпендикулярное къ плоскости осей.

Черт. 57.



4. Вращенія около пересѣкающихся осей. Вращеніе около осей, пересѣкающихся въ одной точкѣ, приводится къ вращенію около равнодѣйствующей оси вращенія, которая опредѣлится, если угловыя скорости вращенія ω_1, ω_2 откладывать отъ точки O пересѣченія осей такъ, чтобы вращенія происходили (если смотрѣть по направленію къ O) по направленію движенія часовой стрѣлки; эти отрѣзки ω_1, ω_2 слагаются, какъ силы или скорости, по правилу параллелограмма или многоугольника угловыхъ скоростей (черт. 57).

5. Сложеніе двухъ вращеній около перекрещивающихся осей A_1 и A_2 (подъ угломъ α) съ угловыми скоростями ω_1 и ω_2 даетъ винтовое движеніе, у котораго направленіе оси и угловая скорость опредѣляются по параллелограмму угловыхъ скоростей (черт. 57).

Равнодѣйствующая ось пересѣкаетъ общій перпендикуляръ къ обѣимъ заданнымъ осямъ вращенія, длина котораго $= e$, въ точкѣ, отстоящей отъ осей A_1 и A_2 на разстояніяхъ:

$$e_1 = \frac{\omega_2(\omega_2 + \omega_1 \cos\alpha)}{\omega^2} e \qquad e_2 = \frac{\omega_1(\omega_1 + \omega_2 \cos\alpha)}{\omega^2} e$$

Скорость сдвиженія v_0 равна:

$$v_0 = \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega} e \sin\alpha, \quad \text{гдѣ} \quad \omega = \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2 + 2\,\omega_1\,\omega_2 \cos\alpha}$$

c. Движеніе въ плоскости (кинематическая геометрія).

1. Соотношенія для движенія жесткой плоскости.

α. Объясненія и основные законы.

Если тѣло перемѣщается такъ, что всѣ точки его описываютъ пути, параллельные неподвижной плоскости, то такое движеніе наз. **плоскимъ движеніемъ**. Движеніе тѣла въ этомъ случаѣ вполнѣ опредѣлено, когда извѣстно движеніе плоскости, неизмѣнно связанной съ даннымъ тѣломъ, относительно неподвижной плоскости, съ нею совпадающей.

НТБ ДНУЗТ

Каждая точка перемѣщающейся плоскости описываетъ путь, наз. **путемъ точки**, каждая кривая (**обертывающая**) перемѣщающейся плоскости при движеніи обертываетъ другую кривую на неподвижной плоскости—**обертываемый путь.**

Мгновенная точка соприкосновенія обертывающей кривой и обертываемаго пути наз. **точкой скольженія**, ихъ общая нормаль—**нормалью соприкосновенія.**

Мгновенное движеніе жесткой плоскости состоитъ изъ элементарнаго вращенія около одной точки—**мгновенной точки вращенія** или **полюса.**

Черезъ полюсъ проходятъ нормали всѣхъ путей, описываемыхъ точками, равно какъ и нормали въ точкахъ соприкосновенія всѣхъ обертывающихъ паръ путей. Мгновенное направленіе перемѣщенія всѣхъ точекъ будетъ поэтому нормально къ направленію прямыхъ, соединяющихъ точку съ полюсомъ.

Полюсъ вполнѣ опредѣляется заданіемъ двухъ обертывающихъ паръ путей или двухъ путей, описываемыхъ точками, какъ точка пересѣченіи двухъ нормалей соприкосновенія или нормалей къ двумъ путямъ точекъ.

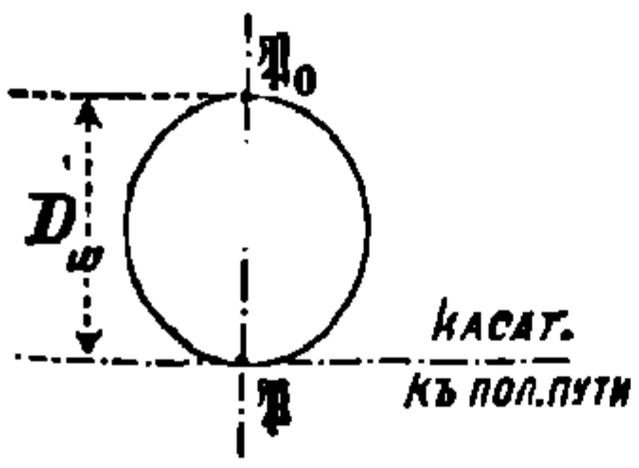
Точки неподвижной плоскости, въ которыя послѣдовательно попадаетъ полюсъ, образуютъ **неподвижный полюсный путь.** Точки движущейся плоскости, въ которыя послѣдовательно попадаетъ полюсъ, образуютъ **движущійся полюсный путь.**

Оба пути въ каждое мгновеніе соприкасаются между собою въ полюсѣ и катятся другъ по другу (почему называются также рулетами). Для каждаго рода плоскаго движенія существуетъ только одна пара полюсныхъ путей.

Относительное движеніе неподвижной плоскости относительно движущейся или обратное движеніе имѣетъ тѣ же полюсные пути, причемъ, однако, неподвижный полюсный путь дѣлается движущимся и движущійся неподвижнымъ. Для каждой пары обертывающихъ кривыхъ обертывающая кривая дѣлается обертываемымъ путемъ; и, наоборотъ, обертываемый путь—обертывающей кривой.

Соотношенія кривизны.

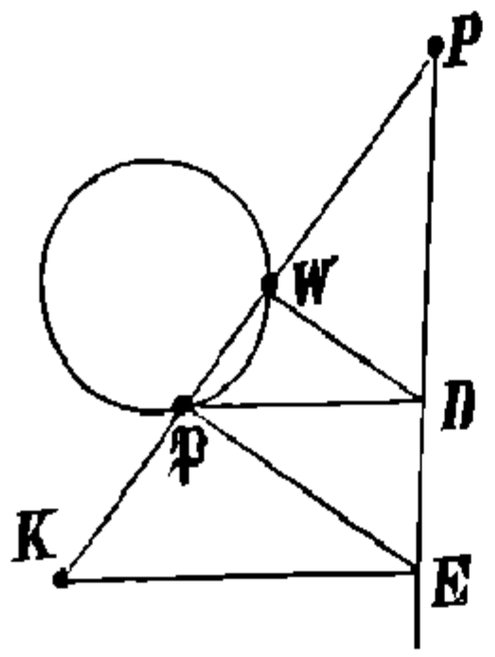
Черт. 58.



Тѣ точки движущейся плоскости, которыя мгновенно находятся въ точкахъ перегиба W ихъ пути, находятся на окружности круга діаметра D_w, наз. **кругомъ перегиба**; послѣдній касается касательной полюснаго пути въ полюсѣ $\mathfrak{W}$. Нормаль къ полюсному пути пересѣкается съ кругомъ перегиба въ точкѣ $\mathfrak{W}_0$— **полюсѣ перегиба**, черезъ который проходятъ всѣ касательныя перегиба (черт. 58).

НТБ ДНУЗТ

Черт. 59.



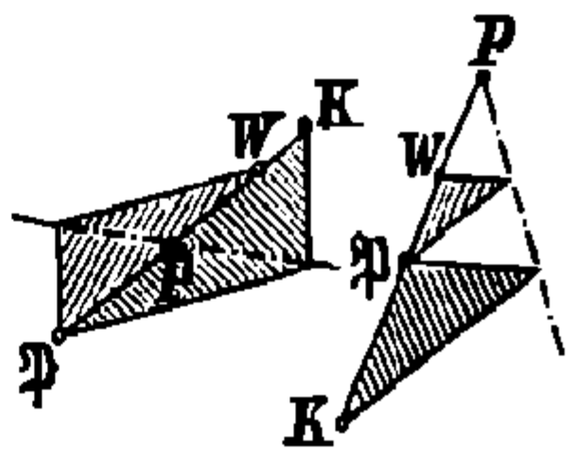
Посредствомъ круга перегиба легко **опредѣлить графически центръ кривизны** K для нѣкоторой точки P—кривой ея движенія слѣдующимъ образ. *) (черт. 59): $\mathfrak{P}$—полюсъ, W—точка перегиба на нормали $\mathfrak{P}P$. Проведемъ черезъ полюсъ $\mathfrak{P}$ и точку P двѣ произвольныя прямыя, которыя пересѣкаются въ точкѣ D, проведемъ WD и черезъ полюсъ $\mathfrak{P}$ къ ней параллельную; послѣдняя пересѣкаетъ PD въ точкѣ E. Проведемъ, наконецъ, черезъ E параллельную къ $\mathfrak{P}D$; послѣдняя пересѣкаетъ нормаль въ центрѣ кривизны K. (Это построеніе примѣняется для каждаго положенія W относительно P и $\mathfrak{P}$).

То же построеніе служитъ также и для того, чтобы найти точку P, когда даны W и центръ кривизны K, а также для отысканія точки перегиба W, когда дана точка P и соотвѣтствующій центръ кривизны K.

Пересѣченіе двухъ нормалей даетъ полюсъ $\mathfrak{P}$; при помощи вышеприведеннаго построенія можемъ найти на обоихъ нормальныхъ лучахъ двѣ точки перегиба W_1 и W_2; черезъ эти точки и черезъ полюсъ $\mathfrak{P}$ проходитъ кругъ перегиба. (Построеніе видно на черт. 62).

Примѣчаніе. Примѣняя это построеніе, необходимо обращать вниманіе на нижеслѣдующее: Способъ заключается (черт. 60) въ построеніи двухъ подобныхъ треугольниковъ надъ $\mathfrak{P}K$ и $\mathfrak{P}W$ (въ полюсѣ $\mathfrak{P}$ оба треугольника встрѣчаются); обѣ вершины лежатъ на одной прямой, проходящей черезъ точку P. Если дано P, то прямую для вершинъ проводимъ черезъ P и чертимъ два подобныхъ треугольника, которые опредѣляютъ, при извѣстномъ W, положеніе K, или, при извѣстномъ K, находимъ W. Если P ищется, то чертимъ два подобныхъ треугольника, тогда прямая, проходящая черезъ обѣ вершины, пересѣчетъ нормальный лучъ въ точкѣ P.

Черт. 60.



При обратномъ движеніи точка P представляетъ центръ кривизны пути точки, который (путь) будетъ описывать центръ кривизны K. Поэтому, центръ кривизны и соотвѣтствующую ему точку называютъ **сопряженными точками**.

Для каждой пары **обертывающихъ путей** примѣняется законъ, по которому ихъ центры кривизны представляютъ сопряженныя точки, т.-е. вышеприведенное построеніе примѣняется также для обертывающихъ путей, если вмѣсто точки P будетъ взятъ центръ кривизны обертывающей кривой. (Положеніе центра кривизны обертывающей кривой не зависитъ отъ положенія точки

*) Zeitschrift für Mathematik und Physik. T. 29, стр. 310.

НТБ ДНУЗТ

скольженія на нормальномъ лучѣ). Равнымъ образомъ, **центры кривизны полюсныхъ путей** представляютъ сопряженныя точки.

Если (черт. 61):

R и R_1 радіусы кривизны обоихъ полюсныхъ путей,

r разстояніе точки P отъ полюса $\mathfrak{P}$,

r_1 " " центра кривизны K отъ полюса $\mathfrak{P}$.

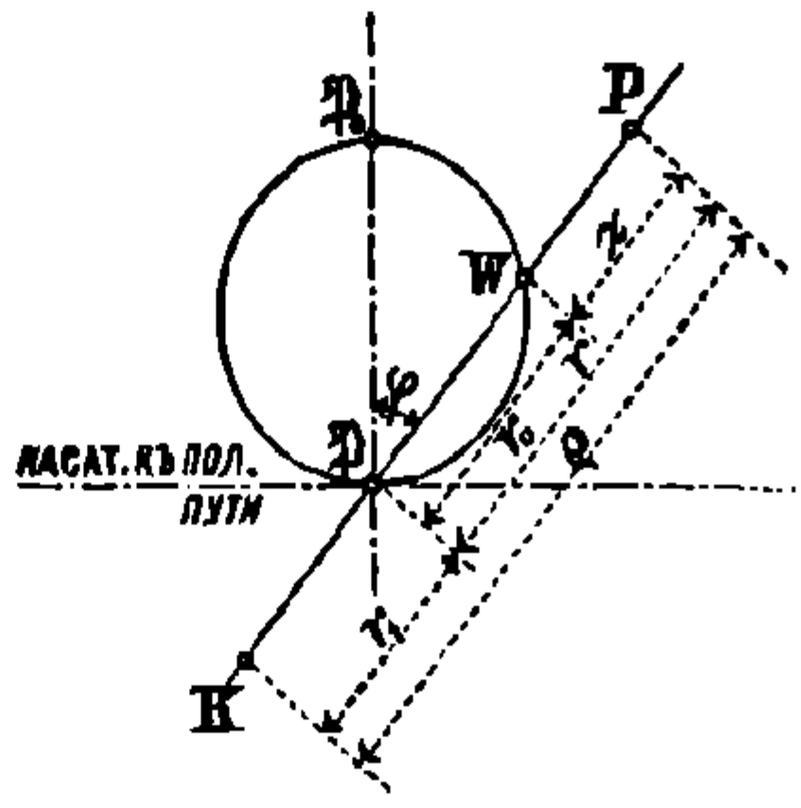
z разстояніе точки P отъ точки перегиба W,

φ уголъ между нормальнымъ лучемъ и нормалью къ полюсному пути,

$D_w = \mathfrak{P}\mathfrak{P}_0$ діаметръ круга перегиба,

то имѣемъ слѣдующій

Черт. 61.



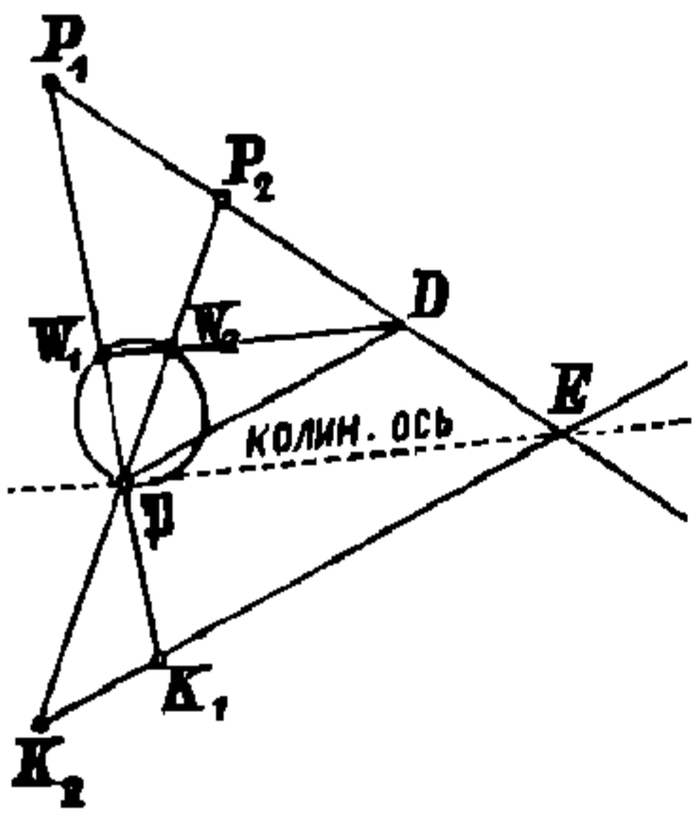
законъ Эйлера (Савари):

$$\left(\frac{1}{r} \pm \frac{1}{r_1}\right)\cos\varphi = \frac{1}{R} \pm \frac{1}{R_1} = \pm\frac{1}{D_w} \qquad \rho z = r^2.$$

Первое уравненіе (между R, R_1 и D_w) даетъ возможность вычислить D_w, т.-е. отыскать полюсъ перегиба $\mathfrak{P}_0$, когда даны полюсные пути; этимъ же достигается построеніе круга перегиба.

Когда даны два полюсныхъ пути или два обертывающихъ пути, то, пользуясь построеніемъ черт. 59, найдемъ кругъ перегиба слѣд. образомъ (черт. 62). Пусть P_1 и P_2 двѣ точки, описывающія соотвѣтственные пути точекъ, или центры кривизны обертывающихъ кривыхъ, K_1 и K_2 центры кривизны путей точекъ или обертывающихъ путей. Проведемъ P_1P_2 и K_1K_2. Пересѣченіе ихъ въ E. Проводимъ $\mathfrak{P}D \parallel K_1E$ и черезъ D параллельную къ $\mathfrak{P}E$. Послѣдняя пересѣкаетъ P_1K_1 и P_2K_2 въ точкахъ перегиба W_1 и W_2. Кругъ перегиба проходитъ тогда черезъ $\mathfrak{P}$, W_1 и W_2.

Черт. 62.



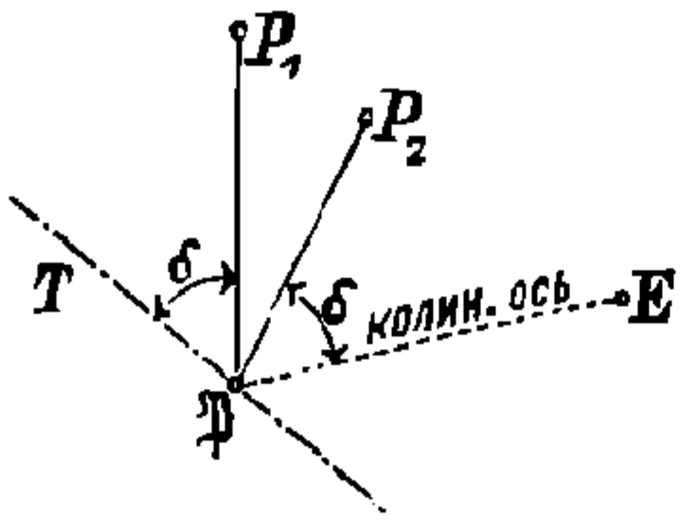
Кругъ перегиба обратнаго движенія называется **кругомъ возврата**. Онъ сопрягается съ кругомъ перегиба и расположенъ симметрично относительно касательной къ полюсному пути. Обертывающіе пути, центры кривизны которыхъ находятся на кругѣ возврата, имѣютъ мгновенное соприкосновеніе съ обертывающими кривыми въ точкахъ перегиба. Въ **возвратномъ полюсѣ**, т.-е. той точкѣ круга возврата, которая находится противъ полюса (на діаметрѣ), пересѣкаются всѣ прямыя движущейся плоскости, которыя касаются своихъ обертывающихъ путей въ точкахъ возврата (остріяхъ); послѣднія лежатъ на кругѣ возврата.

НТБ ДНУЗТ

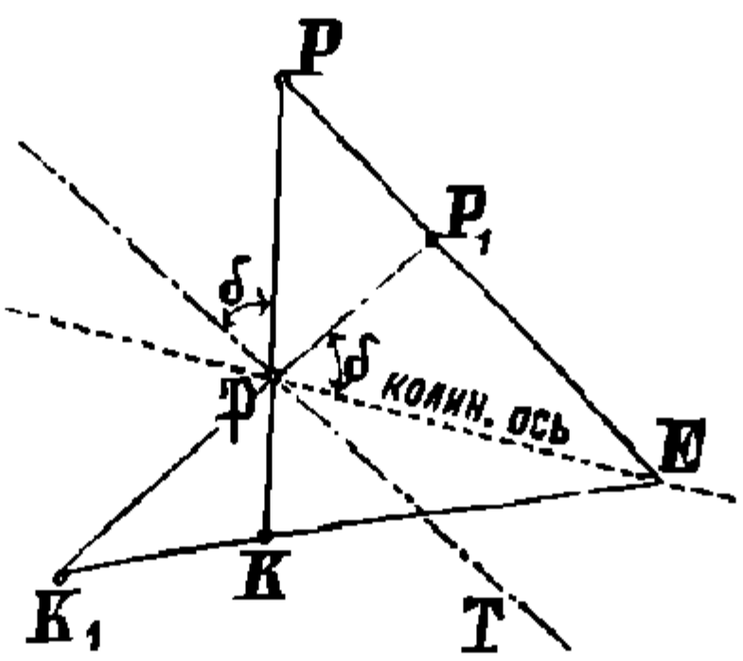
γ. Построеніе Бобильера.

Прямая $\mathfrak{B}E$ (черт. 62) называется коллинаціонною осью. Нормальный лучъ $\mathfrak{B}P_2$ (черт. 63) образуетъ съ этой осью такой же уголъ δ, какъ и второй лучъ $\mathfrak{B}P_1$ съ касательною $\mathfrak{B}T$ къ по-

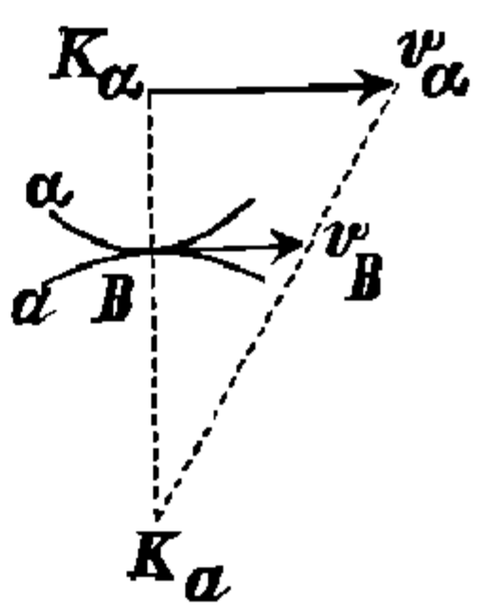
Черт. 63.



Черт. 64.



Черт. 65.



люсному пути. На этомъ основано построеніе Бобильера для опредѣленія центра кривизны K для любой точки P (черт. 64).

Дана касательная $\mathfrak{B}T$ къ полюсному пути, точка P_1 и соотвѣтствующій центръ кривизны K_1. Откладываемъ $\sphericalangle \delta = \sphericalangle T\mathfrak{B}P$ отъ прямой $P_1\mathfrak{B}$, проводимъ PP_1 и соединяемъ E съ K_1, тогда EK_1 пересѣкаетъ $P\mathfrak{B}$ въ точкѣ K.

2. Соотношенія скоростей жесткой плоскости.

Скорость v каждой точки P направлена перпендикулярно къ нормальному лучу $\mathfrak{B}P = r$ и равна:

$$v = r\omega,$$

гдѣ ω мгновенная угловая скорость плоскости.

Для точки, совпадающей съ полюсомъ $\mathfrak{B}$, имѣемъ $v = 0$.

Если K_α и K_a (черт. 65) центры кривизны пары обертывающихъ кривыхъ (α, a) и x_a скорость точки K_α, то прямая $v_\alpha K_a$ отсѣкаетъ на общей касательной обѣихъ кривыхъ отрѣзокъ Bv_B, который представляетъ скорость v_B точки соприкосновенія B, т. наз. **перемѣнную скорость.**

Перемѣнная скорость u, съ которой перемѣщается полюсъ по неподвижному полюсному пути,—равна и такъ же направлена, какъ и скорость полюса перегиба $\mathfrak{B}_0$:

$$u = \omega D_w. \qquad (D_w \text{ — діаметръ круга перегиба}).$$

Конечныя точки вертикальныхъ скоростей (т.-е. скоростей, повернутыхъ на 90°) образуютъ систему точекъ, подобную и такъ же расположенную, какъ и система точекъ, лежащихъ въ плоскости, и имѣютъ въ полюсѣ $\mathfrak{B}$ подобную точку (напр., для прямой—параллельную прямую).

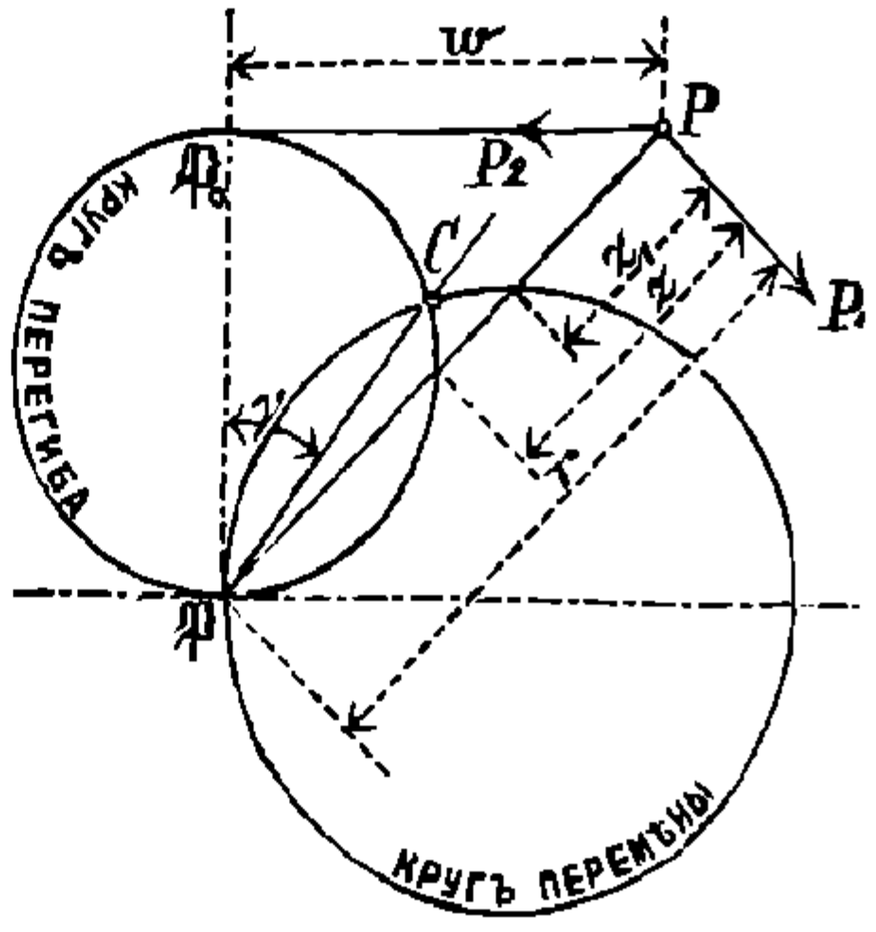
НТБ ДНУЗТ

3. Соотношенія ускореній жесткой плоскости.

α. Кругъ перегиба и кругъ перемѣны. Полюсъ ускоренія.

Точки круга перегиба не пріобрѣтаютъ нормальнаго ускоренія. Тѣ точки, для которыхъ касательное ускореніе равно нулю, находятся на другомъ кругѣ, такъ назыв. **кругѣ перемѣны** (черт. 66), центръ котораго находится на касательной къ полюсному пути, и діаметръ котораго $= \frac{u\omega}{\varepsilon} = \omega^2 D_w$,

Черт. 66.



гдѣ $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ = угловое ускореніе.

Для точки пересѣченія C обѣихъ окружностей — такъ наз. **полюса ускоренія** (не для полюса)— общее ускореніе равно нулю.

Полюсъ ускоренія находится въ пересѣченіи круга перегиба съ тѣмъ нормальнымъ лучемъ, который образуетъ съ нормалью къ полюсному пути уголъ γ, для котораго $\operatorname{tg}\gamma = \varepsilon \quad \omega^2$

β. Общее ускореніе p какой-нибудь точки системы P

находится (черт. 66):

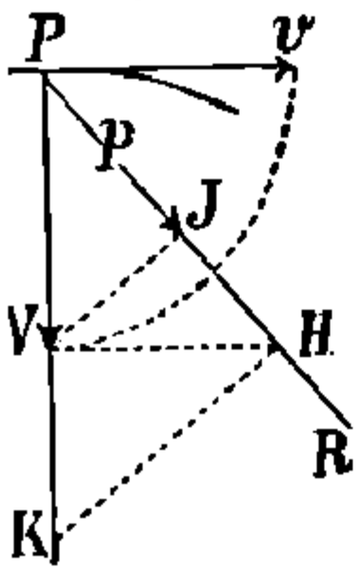
1) какъ равнодѣйствующее нормальнаго ускоренія $p_n = z\omega^2$ и — касательнаго ускоренія $p_t = z_1\varepsilon = z_1\frac{d\omega}{dt}$,

гдѣ z и z_1 означаютъ разстоянія точки P отъ круга перегиба и круга перемѣны; или

2) какъ равнодѣйствующее ускоренія $p_1 = r\varepsilon$, нормальнаго къ нормальному лучу, и ускоренія $p_2 = w\omega^2$, направленнаго къ полюсу перегиба $\mathfrak{P}_0$, гдѣ w разстояніе точки P отъ $\mathfrak{P}_0$ (полюсъ $\mathfrak{P}$ пріобрѣтаетъ поэтому ускореніе $D_w\omega^2$, направленное къ $\mathfrak{P}_0$); или

3) какъ величина, пропорціональная разстоянію точки P отъ полюса ускоренія C и образующая съ PC уголъ γ (для $\operatorname{tg}\gamma = \varepsilon : \omega^2$); на разстояніи $= 1$ отъ C точка пріобрѣтаетъ ускореніе $\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$.

Черт. 67.



Конечныя точки ускореній точекъ, принадлежащихъ **прямой**, находятся на прямой.

4. Если даны v — дѣйствительная, а PV — вертикальная скорость точки P (черт. 67), K — центръ кривизны пути точки P и PR — направленіе полнаго ускоренія p точки P, (напр., посредствомъ годографа, см. стр. 150), то величину p получимъ, проведя VH перпендикулярно къ PV и VJ параллельно KH; тогда: $PJ = p$.

НТБ ДНУЗТ

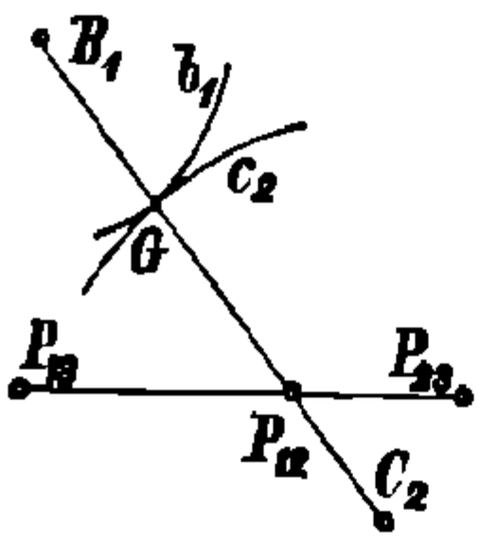
4. Относительное движеніе трехъ совпадающихъ плоскостей.

Три полюса относительныхъ движеній трехъ совпадающихъ плоскостей лежатъ на одной прямой. Если даны полюсы P_{13} и P_{23} и угловыя скорости ω_{13} и ω_{23} относительныхъ движеній плоскостей E_1 и E_2 относительно плоскости E_3, то полюсъ относительнаго движенія плоскости E_2 относительно E_1 получается какъ равнодѣйствующая ось при сложеніи вращеній около параллельныхъ осей (см. **3.**, стр. 152). Длины прямыхъ, соединяющихъ полюсы, получаются изъ:

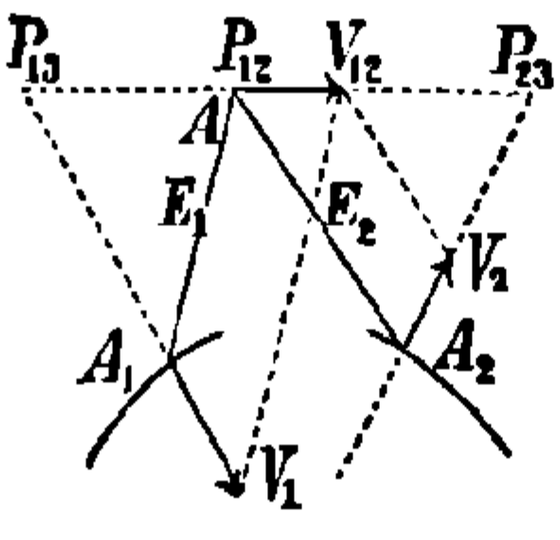
$$P_{12}P_{13} = \frac{\omega_{23}}{\omega_{12}}a \quad \text{и} \quad P_{12}P_{23} = \frac{\omega_{13}}{\omega_{12}}a,$$

гдѣ $\omega_{12} = \omega_{13} \pm \omega_{23}$ угловая скорость относительнаго движенія E_2 относительно E_1. — Если два изъ трехъ полюсовъ лежатъ въ безконечности, то и третій находится тамъ же. Въ такомъ случаѣ относительныя движенія плоскостей будутъ поступательными.

Черт. 68.



Черт. 69.



Если зависимость движеній E_1 и E_2 обусловлена парою обертывающихъ кривыхъ b_1 и c_2 (черт. 68), то полюсъ P_{12} находится въ пересѣченіи нормали въ точкѣ касанія этихъ кривыхъ съ прямой, соединяющей полюсы $P_{13}P_{23}$.

Если плоскости E_1 и E_2 сочленены шарнирно въ точкѣ A (черт. 69), то эта точка представляетъ полюсъ P_{12}. Концевая точка V_{12} нормальной скорости $P_{12}V_{12}$ точки P_{12} получается по вертикальной скорости A_1V_1 точки A_1 плоскости E_1, соотв. A_2V_2 точки A_2 плоскости E_2, если провести V_1V_{12} параллельно A_1A и V_2V_{12} параллельно A_2A. Тогда полюсъ P_{13} лежитъ въ пересѣченіи A_1V_1 съ $P_{12}V_{12}$ и полюсъ P_{23} въ пересѣченіи A_2V_2 съ $P_{12}V_{12}$.

5. Относительное движеніе n совпадающихъ плоскостей

— вообще вполнѣ опредѣляется посредствомъ

$$h = 3\ n - 4$$

совершенно произвольныхъ паръ обертывающихъ кривыхъ, въ предположеніи, что въ каждой изъ n плоскостей расположены, по крайней мѣрѣ, три обертывающихъ кривыхъ. Число всѣхъ полюсовъ составляетъ при этомъ $p = {}^1/_2 n\,(n-1)$.

НТБ ДНУЗТ

II. СТАТИКА ТВЕРДЫХЪ ТѢЛЪ.

A. Силы и пары силъ.

a. Основные законы.

Если подъ **дѣйствіемъ силы** на твердое тѣло подразумѣвать работу (опредѣленіе см. III, динамика твердыхъ тѣлъ), производимую этой силой при элементарномъ перемѣщеніи этого тѣла, то:

1. Дѣйствіе силы P опредѣляется ея величиной и направленіемъ, а также положеніемъ ея точки приложенія. Сила, поэтому, графически представляется отрѣзкомъ прямой (прямая извѣстной длины и направленія).

2. Дѣйствіе силы не мѣняется, если точка приложенія ея будетъ перемѣщена по направленію силы.

3. Сила R, которая имѣетъ такую величину, направленіе и точку приложенія, что она замѣняетъ собою дѣйствіе нѣкотораго числа силъ P_1, P_2, P_3, , называется **равнодѣйствующей силъ** P_1, P_2, P_3 ; послѣднія называются **составляющими.**

4. Совокупность силъ P_1, P_2 находится въ равновѣсіи, когда ихъ дѣйствіе равно нулю.

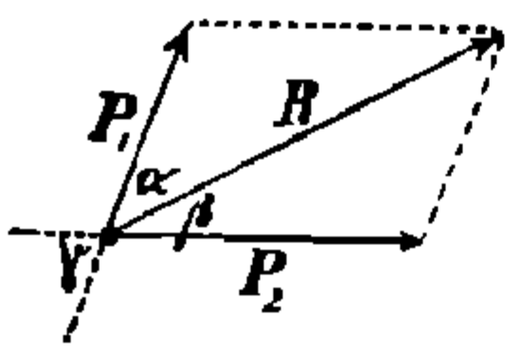
b. Силы, приложенныя въ одной точкѣ.

1. Равнодѣйствующая R двухъ силъ P_1 и P_2, приложенныхъ въ одной точкѣ, по величинѣ и направленію равна діагонали параллелограмма, построеннаго на данныхъ силахъ P_1 и P_2.

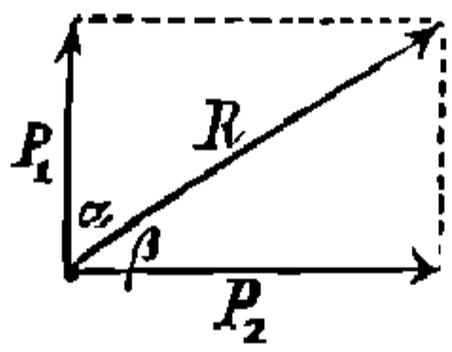
(Параллелограммъ силъ).

Вообще, для угла параллелограмма $\gamma = \alpha + \beta$ имѣемъ (черт. 70):

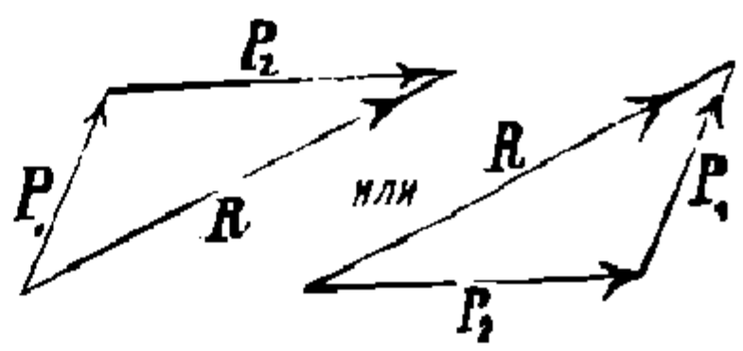
Черт. 70.



Черт. 71.



Черт.



$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2 P_1 P_2 \cos \gamma};$$

$$\sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma = P_2 : P_1 : R.$$

Для $\gamma = \alpha + \beta = 90^0$ (черт. 71) имѣемъ:

$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2}, \qquad \cos \alpha = \frac{P_1}{R}, \qquad \cos \beta = \frac{P_2}{R} \qquad \operatorname{tg} \beta = \frac{P_1}{P_2}.$$

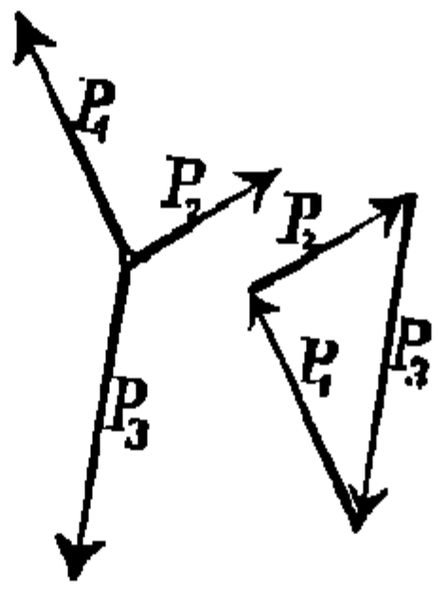
Графически находимъ R посредствомъ треугольника силъ (черт. 72): P_1 и P_2 откладываются по величинѣ и направленію равными даннымъ силамъ; замыкающая сторона представляетъ равнодѣйствующую R по величинѣ и направленію.

НТБ ДНУЗТ

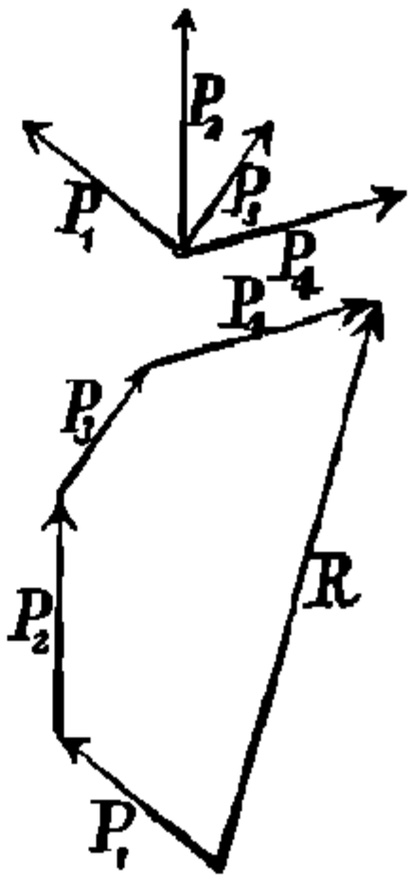
Обратно—каждая сила R можетъ быть разложена на двѣ составляющія P_1 и P_2, которыя лежатъ въ плоскости, проходящей черезъ R и имѣютъ произвольно выбранныя направленія. Для этого надо на R построить треугольникъ, проводя черезъ концы R параллели заданнымъ направленіямъ. Двѣ новыя стороны этого треугольника даютъ двѣ составляющія P_1 и P_2.

Три силы P_1, P_2, P_3 только тогда находятся въ равновѣсіи, когда онѣ находятся въ одной плоскости, пересѣкаются въ одной точкѣ и образуютъ замкнутый треугольникъ (черт. 73).

Черт. 73.



Черт. 74.



2. Равнодѣйствующая R многихъ силъ $P_1, P_2, P_3 \ldots$, приложенныхъ въ одной точкѣ, по величинѣ и направленію представляетъ замыкающій бокъ многоугольника, у котораго стороны представляютъ силы $P_1, P_2, P_3 \ldots$ по величинѣ и направленію. (Многоугольникъ силъ (черт. 74).

(Вообще, примѣняется также и для силъ въ пространствѣ, приложенныхъ въ одной точкѣ).

Если всѣ силы лежатъ на одной прямой, то равнодѣйствующая R есть алгебраическая сумма силъ $P_1, P_2, P_3 \ldots$.

Если нѣсколько силъ, дѣйствующихъ на одну точку, находятся въ равновѣсіи, то онѣ образуютъ замкнутый многоугольникъ.

Равнодѣйствующая опредѣляется аналитически слѣдующимъ образомъ. Каждую силу $P_1, P_2, P_3 \ldots P_n$ разлагаютъ по направленіямъ трехъ взаимно-перпендикулярныхъ координатныхъ осей на:

$$X_i = P_i \cos \alpha_i, \qquad Y_i = P_i \cos \beta_i, \qquad Z_i = P_i \cos \gamma_i;$$

(гдѣ $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ углы, образуемые силою P_i съ осями x-овъ, y-овъ и z-овъ и т. д.), составляютъ алгебраическія суммы всѣхъ X_i, Y_i, Z_i:

$$X = X_1 + X_2 + \quad + X_n = \Sigma(X_i), \quad Y = \Sigma(Y_i), \quad Z = \Sigma(Z_i),$$
$$(i = 1, 2, 3 \ldots n)$$

и находятъ равнодѣйствующую:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}.$$

Для угловъ α, β, γ, которые образуетъ R съ осями координатъ, имѣемъ:

$$\cos \alpha = \frac{X}{R}, \qquad \cos \beta = \frac{Y}{R}, \qquad \cos \gamma = \frac{Z}{R}.$$

Если всѣ силы лежатъ въ одной плоскости, то въ вышеприведенныхъ формулахъ слѣдуетъ положить $Z = 0$.

Если силы **въ равновѣсіи**, то изъ $R = 0$ слѣдуетъ:

$$\Sigma(X_i) = 0, \qquad \Sigma(Y_i) = 0, \qquad \Sigma(Z_i) = 0.$$

НТБ ДНУЗТ

c. Силы въ одной плоскости.

1. Объясненія:

1. Та прямая на плоскости, съ которой совпадаетъ данная сила, называется **линіей дѣйствія силы.**

Подъ **моментомъ силы** P относительно точки O подразумѣваютъ произведеніе силы P на разстояніе a (плечо) точки O до линіи дѣйствія силы P:

Моментъ $M = Pa$.

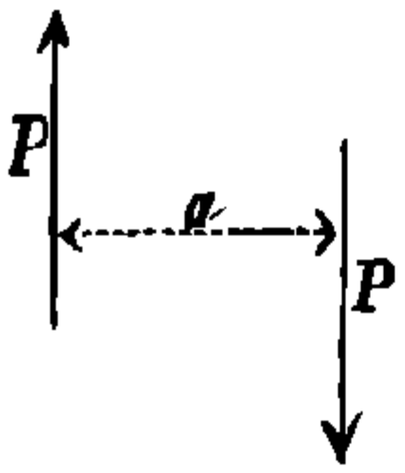
Моменты будутъ положительны или отрицательны въ зависимости отъ того будутъ-ли силы, если смотрѣть съ одной и той же стороны плоскости, вращать по направленію часовой стрѣлки или въ направленіи противоположномъ.

Если X и Y—составляющія силы P, а x и y—координаты точки приложенія силы P, то моментъ относительно начала координатъ

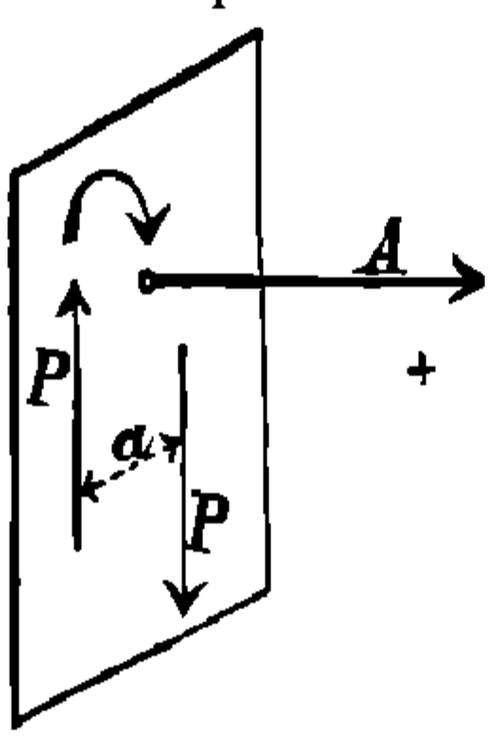
$$M = Pa = Yx - Xy.$$

2. Двѣ параллельныя силы одинаковой величины P, но противоположнаго направленія, наз. **парою силъ** (вращающая пара). Пара силъ не имѣетъ равнодѣйствующей, и дѣйствіе ея выражается во вращательномъ движеніи.

Черт. 75.



Черт. 76.



Произведеніе Pa, силы на разстояніе между силами (плечо пары), назыв. (статическимъ) **моментомъ пары** (черт. 75).

Этотъ моментъ положителенъ или отрицателенъ въ зависимости отъ того, вращаетъ ли пара плоскость по направленію часовой стрѣлки, или по направленію противоположному. Моментъ пары одинаковъ для всѣхъ точекъ плоскости, почему пара можетъ быть произвольно перемѣщаема въ этой плоскости.

Если моментъ пары отложимъ на прямой, перпендикулярной къ плоскости пары, то отрѣзокъ этотъ $A = Pa$ называется **осью пары** силъ. Оси откладываются при этомъ въ такомъ направленіи, что, если смотрѣть на конецъ оси, то пара должна вращать по направленію часовой стрѣлки, т.-е. имѣть положительный моментъ (черт. 76).

2. Сложеніе силъ:

1. Произвольное число силъ, дѣйствующихъ въ одной плоскости, могутъ быть въ общемъ замѣнены одною равнодѣйствующею силою R. Для каждой точки плоскости алгебраическая сумма моментовъ всѣхъ силъ, т. наз. **равнодѣйствующій** (результирующій) **моментъ** равенъ моменту равнодѣйствующей. Величину и напра-

НТБ ДНУЗТ

вленіе R опредѣляютъ какъ и для силъ, приложенныхъ въ одной точкѣ (см. **2.**, стр. 162); положеніе R опредѣляется по величинѣ и знаку равнодѣйствующаго (результирующаго) момента (см. **е. 2.**, стр. 167).

2. Если равнодѣйствующая $R = 0$, то равнодѣйствующій моментъ имѣетъ для всѣхъ точекъ плоскости одинаковое значеніе; система силъ можетъ быть въ этомъ случаѣ замѣнена **равнодѣйствующей** (результирующей) **парой силъ.**

3. Если, кромѣ того, равнодѣйствующій моментъ относительно любой точки равенъ нулю, то силы системы находятся въ равновѣсіи.

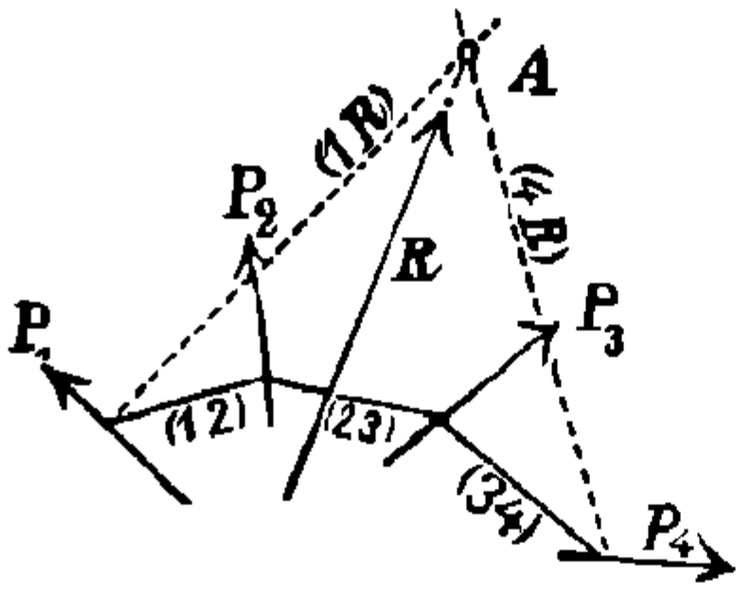
4. **Равнодѣйствующая параллельныхъ силъ** равна алгебраической суммѣ составляющихъ силъ. Положеніе этой равнодѣйствующей получается по равнодѣйствующему моменту для любой точки плоскости.

3. Графическое опредѣленіе равнодѣйствующей и равнодѣйствующаго момента.

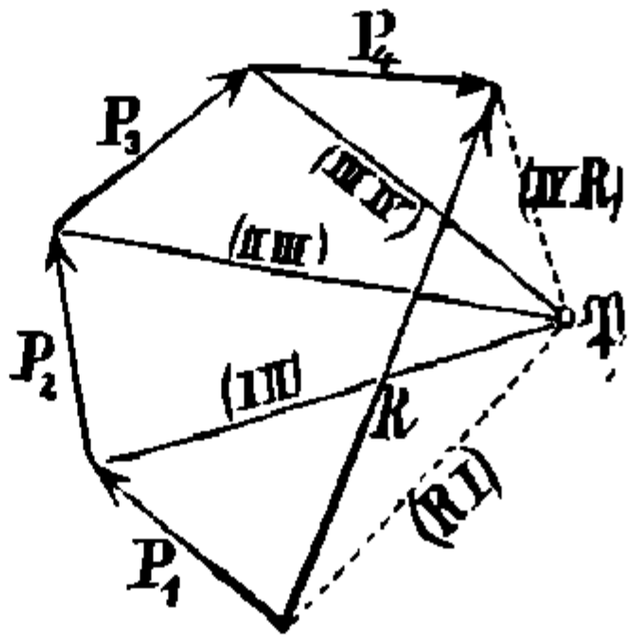
1. **Равнодѣйствующая R многихъ силъ** $P_1, P_2, P_3 \ldots$ (черт. 77) находится по величинѣ и направленію какъ указано въ **2.**, стр. **162**, какъ замыкающій бокъ многоугольника силъ (черт. 78).

Положеніе силы R находится всего удобнѣе при помощи веревочнаго многоугольника слѣдующимъ образомъ (черт. 77): напр., для четырехъ силъ P_1, P_2, P_3, P_4 выбираемъ на многоугольникѣ силъ произвольный полюсъ $\mathfrak{P}$ (черт. 78) и, проведя между P_1 и P_2 лучъ I II къ полюсу $\mathfrak{P}$, чертимъ (черт. 77) ему параллельную прямую (12) между тѣми же силами P_1 и P_2, затѣмъ проводимъ (23) параллельно лучу II III, (34) параллельно лучу III IV, наконецъ (1 R) параллельно I R до пересѣченія съ (4 R), параллелью (IV R). Прямая, проведенная черезъ точку A пересѣченія параллельно R, даетъ искомое положеніе равнодѣйствующей R (линію дѣйствія силы).

Черт. 77.



Черт. 78.



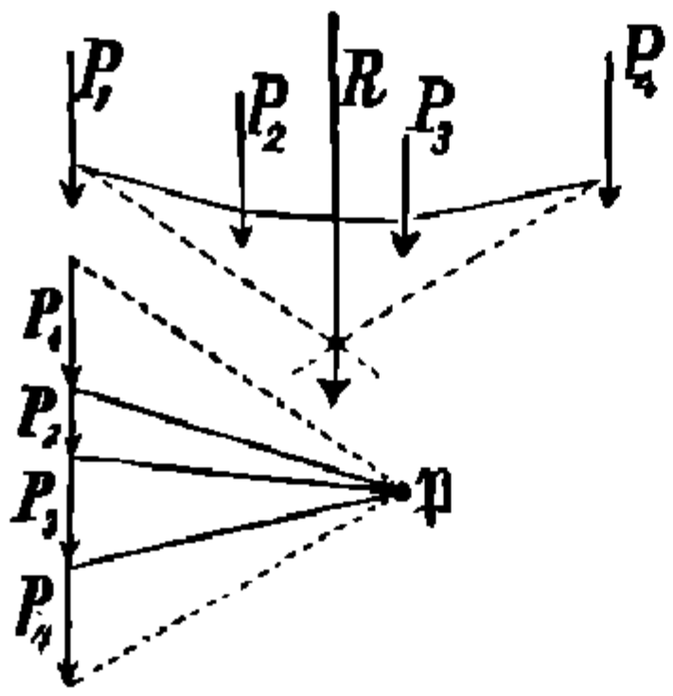
Положеніе **равнодѣйствующей параллельныхъ силъ** находимъ по вышеуказанному, какъ видно на черт. 79.

НТБ ДНУЗТ

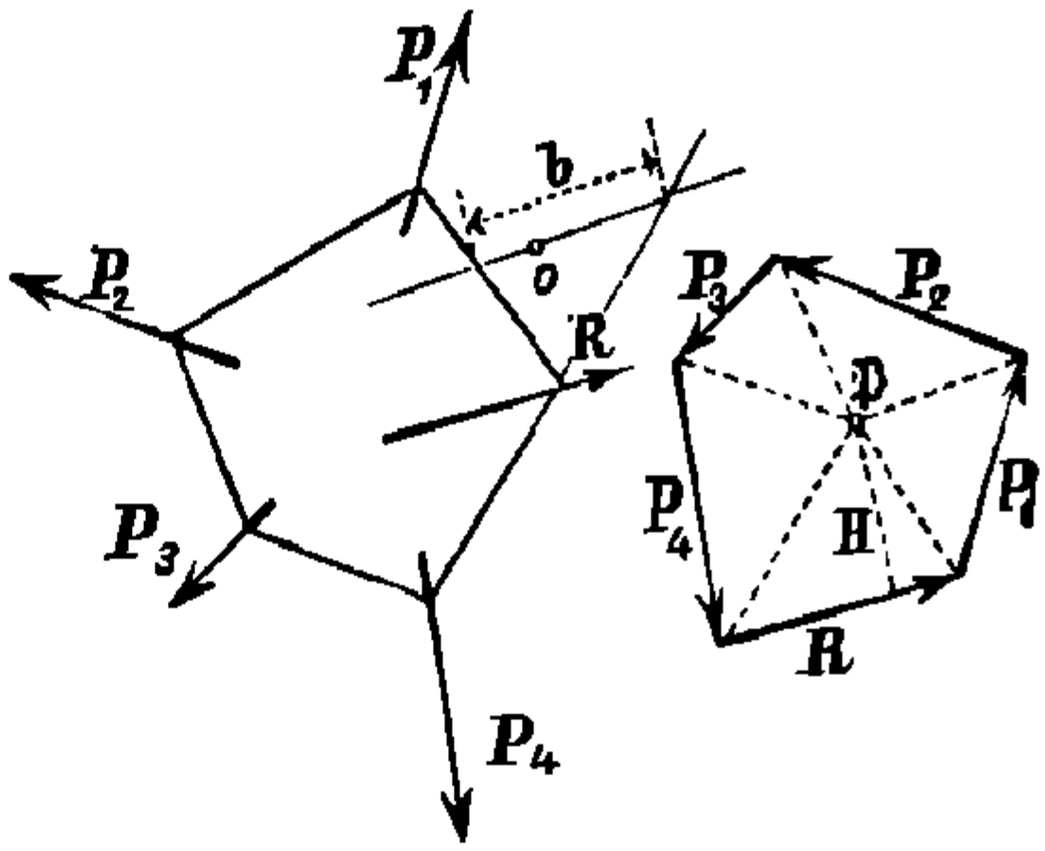
2. Графическое построеніе статическихъ моментовъ.

Если всѣ силы лежатъ въ одной плоскости и требуется найти

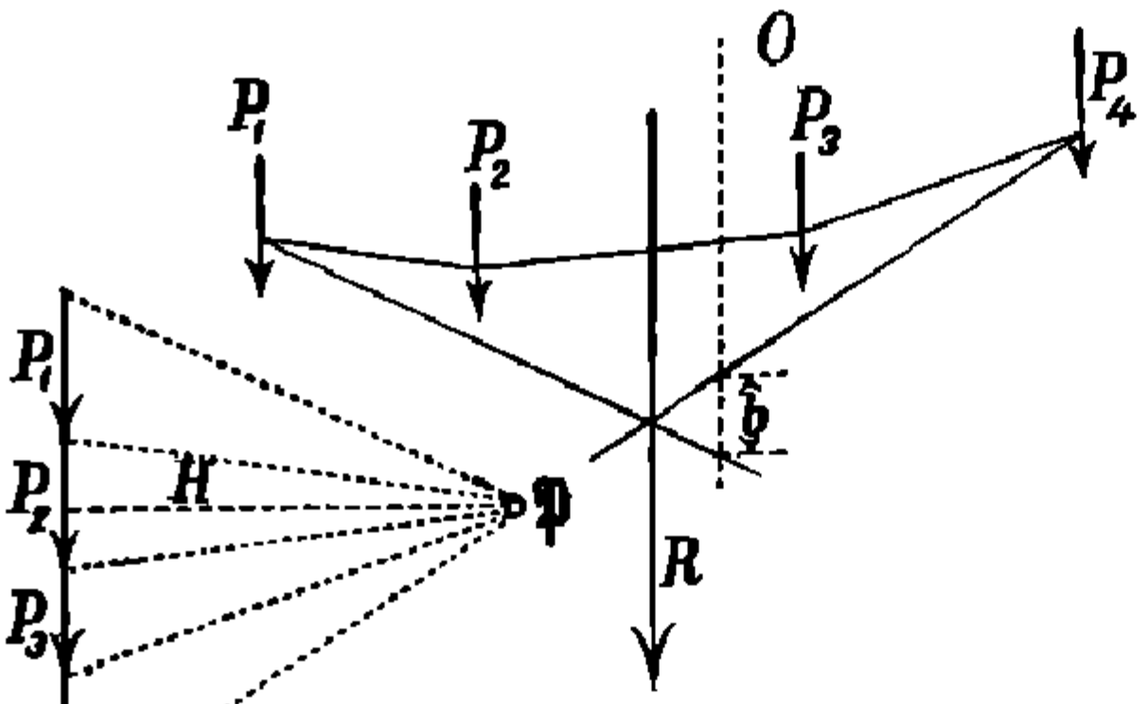
Черт. 79.



Черт. 80.



Черт. 81.



статическій моментъ равнодѣйствующей силъ P_1, P_2, P_3, P_4 относительно точки O (черт. 80), то чертимъ многоугольникъ силъ и веревочный многоугольникъ относительно полюса $\mathfrak{P}$ и черезъ точку O проводимъ параллельную къ равнодѣйствующей R; двѣ крайнія стороны веревочнаго многоугольника (параллельныя лучамъ, идущимъ въ промежутки $P_1 R$ и $P_4 R$), отсѣкаютъ на этой прямой отрѣзокъ b, и если разстояніе полюса $\mathfrak{P}$ до равнодѣйствующей R или полюсное разстояніе есть H, то статическій **моментъ** будетъ:

$$M = bH,$$

т.-е. моментъ равнодѣйствующей какого угодно числа силъ равенъ произведенію полюснаго разстоянія на отрѣзокъ, который отсѣкается на прямой, проходящей черезъ точку O и параллельной равнодѣйствующей, тѣми сторонами веревочнаго многоугольника, черезъ пересѣченія которыхъ проходитъ равнодѣйствующая этихъ силъ.

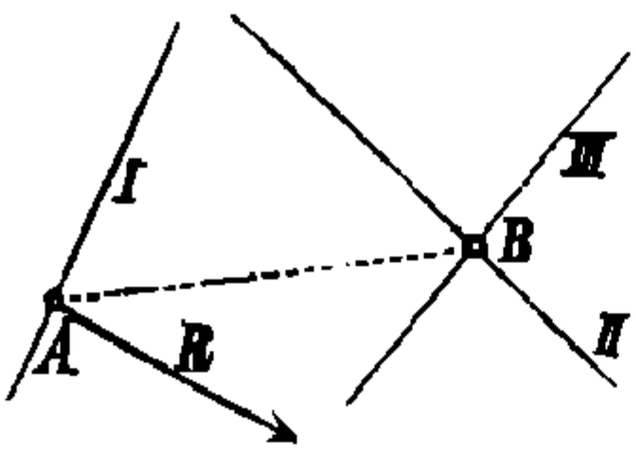
Для параллельныхъ силъ величина H постоянна. На черт. 81, напр., моментъ силы R относительно точки O равенъ $M = bH$.

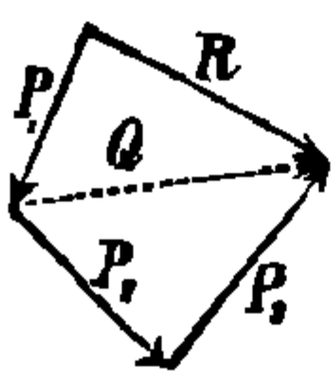
3. Нѣсколько силъ, лежащихъ въ одной плоскости, находятся въ равновѣсіи, когда силы эти образуютъ замкнутый многоугольникъ силъ, а направленія этихъ силъ таковы, что между направленіями дѣйствія этихъ силъ можно построить замкнутый веревочный многоугольникъ.

НТБ ДНУЗТ

4. Сила R можетъ быть разложена на три составляющія, которыя лежатъ съ R въ одной плоскости, и которыхъ направленія не пересѣкаются въ одной точкѣ (черт. 82). Даны R и направленія I, II, III. Опредѣляемъ пересѣченіе R съ I въ A, пересѣченіе II и III въ B и проводимъ AB. Разлагаемъ R по I и AB на силы P_1 и Q, (черт. 83) и затѣмъ разлагаемъ Q по II и III на P_2 и P_3. (Способъ Кульмана).

Черт. 82 и 83.





Способъ Риттера для рѣшенія той же задачи (см. часть II, отдѣлъ XV, строительная механика) состоитъ въ примѣненіи уравненія моментовъ для трехъ точекъ пересѣченія направленій силъ: помощью этого способа находится величина и направленіе каждой изъ трехъ составляющихъ.

d. Пары силъ.

1. Замѣна одной пары силъ другою.

1. Каждая пара силъ можетъ быть перемѣщена въ своей плоскости или въ плоскости, ей параллельной, или, что то же, ось пары можетъ быть перемѣщаема параллельно самой себѣ.

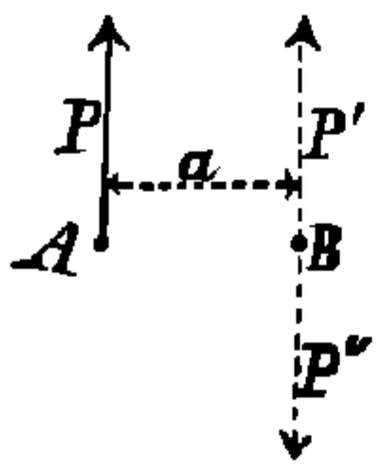
2. Двѣ пары силъ оказываютъ одинаковое дѣйствіе, когда при одномъ и томъ же направленіи вращенія и при параллельности плоскостей онѣ имѣютъ одинъ и тотъ же моментъ (т. е. когда ихъ оси равны и одинаково направлены).

Если направленія вращенія различны, то обѣ пары находятся въ равновѣсіи, когда при одинаковой величинѣ момента ихъ плоскости параллельны.

2. Пары силъ въ параллельныхъ плоскостяхъ даютъ равнодѣйствующую пару, моментъ которой равенъ алгебраической суммѣ моментовъ отдѣльныхъ паръ, и плоскость которой параллельна плоскости отдѣльныхъ составляющихъ паръ.

3. Пары силъ въ произвольныхъ плоскостяхъ могутъ быть слагаемы при помощи ихъ осей, какъ силы, дѣйствующія на одну точку (см. стр. 161); при этомъ оси паръ должны быть перемѣщаемы параллельно самимъ себѣ до пересѣченія всѣхъ осей въ одной точкѣ. Равнодѣйствующая ось представляетъ замыкающую сторону многоугольника, составленнаго изъ составляющихъ осей. (Многоугольникъ осей). (Аналитическое опредѣленіе см. **2.**, стр. 162).

Черт. 84.



4. Параллельное перемѣщеніе силы. Сила P можетъ изъ своей точки приложенія въ A быть перенесена параллельно самой себѣ въ B (черт. 84), если въ B приложить двѣ силы, равныя P, по противоположно направленныя. Силу P тогда можно замѣнить силой P', приложенной въ B, ей равной и одинаково съ ней направленной, и парой силъ PP'', моментъ которой $= Pa$.

НТБ ДНУЗТ

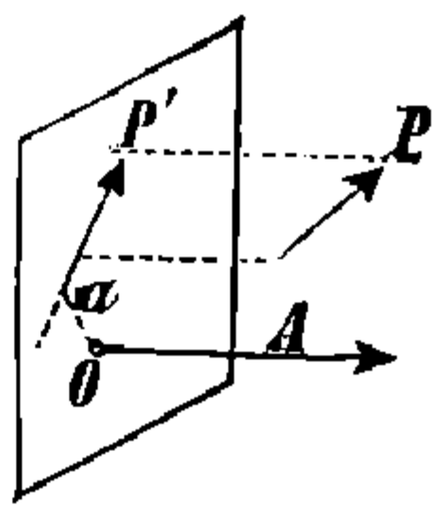
Обратно — можно каждую силу P и пару силъ, лежащія въ одной плоскости, замѣнить одной равнодѣйствующей силой, получаемой соотвѣтственнымъ перемѣщеніемъ пары въ этой плоскости.

Пара силъ и сила, дѣйствующая пормально къ плоскости пары, **не могутъ быть** соединены.

e. Силы, приложенныя къ твердому тѣлу.

1. Моментъ силы P, отнесенный къ прямой A (черт. 85), есть произведеніе изъ проекціи P' силы P на плоскость, перпендикулярную къ этой прямой, на разстояніе a отъ точки пересѣченія O данной прямой A съ этой плоскостью до проекціи P' данной силы (a = кратчайшему разстоянію силы до прямой). Моменты берутся съ положительнымъ или отрицательнымъ знакомъ, смотря по тому, будетъ ли для наблюдателя, стоящаго со стороны положительнаго направленія заданной оси, сила P' производить вращеніе около точки O по направленію часовой стрѣлки или по направленію противоположному.

Черт. 85.

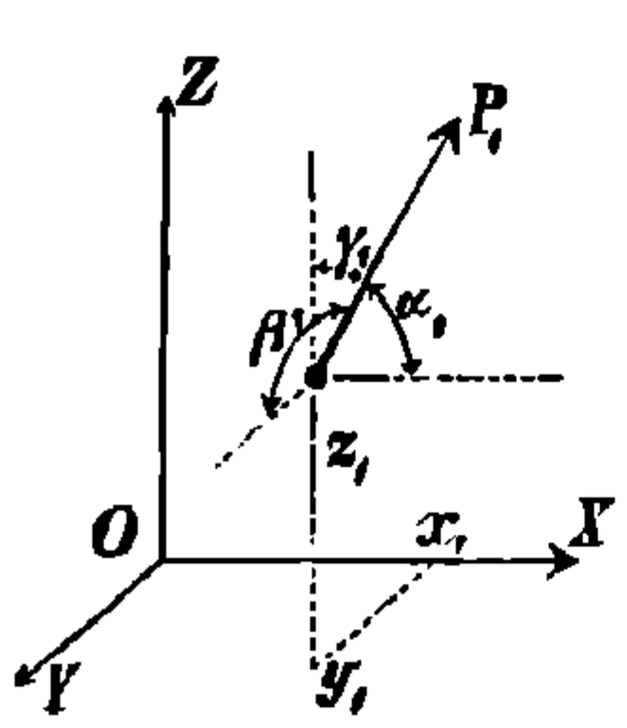


Равнодѣйствующій моментъ силъ относительно какой-либо прямой равенъ алгебраической суммѣ моментовъ отдѣльныхъ составляющихъ относительно той же прямой.

2. Сложеніе силъ. Нѣсколько силъ, дѣйствующихъ на тѣло, могутъ быть приведены къ одной силѣ, приложенной въ любой точкѣ тѣла, и къ одной парѣ. Всѣ силы могутъ быть перенесены въ O и здѣсь, по стр. 164, приведены къ одной равнодѣйствующей. Пары силъ, которыя получатся при перемѣщеніи силъ данной системы параллельно самимъ себѣ, согласно **d. 4.**, стр. 166, приводятъ по **d. 3.**, къ одной равнодѣйствующей парѣ. Величина и направленіе равнодѣйствующей силы R не зависитъ отъ выбора точки O.

Разлагая пару силъ на двѣ пары: одну — въ плоскости, нормальной къ R, а другую въ плоскости, проходящей черезъ R найдемъ, что моментъ первой пары постояненъ, а моментъ второй пары, при перемѣщеніи R параллельно самой себѣ, можетъ быть сдѣланъ равнымъ нулю. Моментъ равнодѣйствующей пары (ось которой совпадаетъ съ R) будетъ тогда наименьшій, а прямая, которая параллельна R, называется центральною осью. Если система силъ приводится къ одной равнодѣйствующей силѣ и къ одной парѣ, то послѣднія могутъ быть замѣнены двумя силами.

Черт. 86.



Аналитически величина равнодѣйствующей силы R и пара силъ опредѣляются слѣдующимъ образомъ (черт. 86):

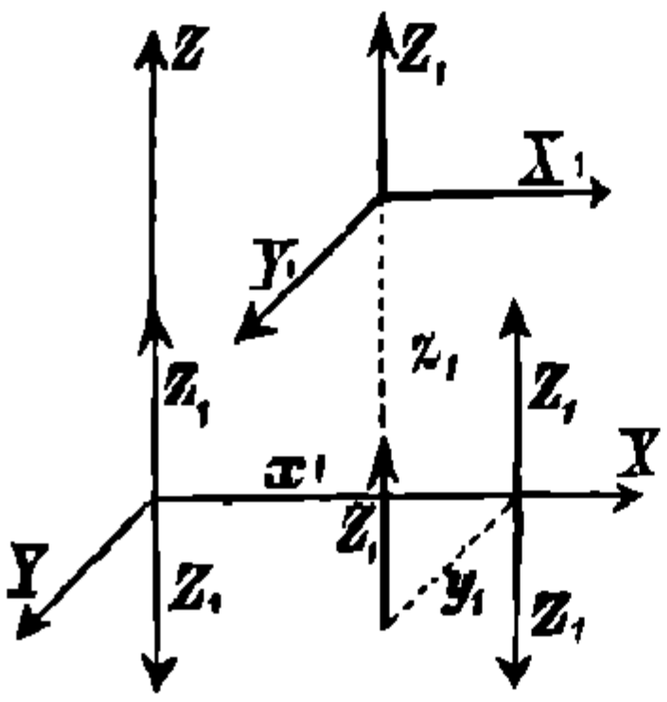
Проведемъ черезъ O прямогоугольную систему координатныхъ осей и разложимъ каждую силу P_1, P_2, P_3 по направленію этихъ осей на X_1 ||

НТБ ДНУЗТ

$= P_1 \cos\alpha_1$, $Y_1 = P_1 \cos\beta_1$, $Z_1 = P_1 \cos\gamma_1$., перемѣщаемъ X_1 параллельно оси z-овъ до плоскости xy и затѣмъ въ этой плоскости параллельно до оси x-овъ; такъ же точно перемѣщаемъ Y_1 до плоскости yz и въ послѣдней до оси y-овъ и соотвѣтственно Z_1 до плоскости xz и въ этой плоскости до оси z-овъ; такимъ же образомъ поступаемъ съ силами P_2, P_3, P_4 .... Составляющія по тремъ осямъ даютъ тогда равнодѣйствующія:

$$X = \Sigma(X_i) = \Sigma(P_i \cos\alpha_i); \qquad Y = \Sigma(Y_i) = \Sigma(P_i \cos\beta_i);$$
$$Z = \Sigma(Z_i) = \Sigma(P_i \cos\gamma_i). \qquad (i = 1, 2, 3 \quad .)$$

Черт. 87.



Пары силъ, которыя получаются при параллельномъ перемѣщеніи силъ по осямъ, даютъ моменты, вращающіе около оси x-овъ, y-овъ и z-овъ (черт. 87):

$$\left.\begin{aligned} L &= \Sigma(y_i Z_i - z_i Y_i); \\ M &= \Sigma(z_i X_i - x_i Z_i); \\ N &= \Sigma(x_i Y_i - y_i X_i); \end{aligned}\right\} (i = 1, 2, 3 \ldots).$$

Три силы X, Y и Z даютъ равнодѣйствующую:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2},$$

которая съ координатными осями образуетъ углы α, β, γ:

$$\cos\alpha = \frac{X}{R}, \qquad \cos\beta = \frac{Y}{R}, \qquad \cos\gamma = \frac{Z}{R}.$$

Три пары силъ даютъ равнодѣйствующую пару:

$$G = \sqrt{L^2 + M^2 + N^2},$$

ось которой образуетъ съ координатными осями углы λ, μ, ν:

$$\cos\lambda = \frac{L}{G}, \qquad \cos\mu = \frac{M}{G}, \qquad \cos\nu = \frac{N}{G}.$$

Силы приводятся только къ одной равнодѣйствующей силѣ (т. е. $G = 0$), когда:

$$X L + Y M + Z N = 0;$$

только къ одной равнодѣйствующей парѣ ($R = 0$), когда:

$$X = 0; \qquad Y = 0; \qquad Z = 0.$$

Для системы силъ, лежащей въ плоскости xy, имѣемъ:

$$L = 0; \qquad M = 0; \qquad Z = 0 \quad \text{и} \quad G = N.$$

3. Равновѣсіе силъ въ пространствѣ.

Тѣло находится подъ вліяніемъ произвольныхъ силъ P_1, P_2, P_3.. .въ равновѣсіи въ томъ случаѣ, когда нѣтъ ни равнодѣйствующей силы, ни равнодѣйствующей пары, т. е. когда, принимая въ разсчетъ вышеприведенное, имѣемъ слѣдующія шесть условій равновѣсія силъ, приложенныхъ къ твердому, свободно движущемуся, тѣлу:

$$\Sigma(X_i) = 0; \qquad \Sigma(Y_i) = 0; \qquad \Sigma(Z_i) = 0;$$
$$\Sigma(y_i Z_i - z_i Y_i) = 0; \quad \Sigma(z_i X_i - x_i Z_i) = 0; \quad \Sigma(x_i Y_i - y_i X_i) = 0.$$

РТБ ДНУЗТ

Для силъ въ одной плоскости, напр., въ плоскости xy, необходимыя и достаточныя условія будутъ:

$$\Sigma(X_i) = 0; \qquad \Sigma(Y_i) = 0; \qquad \Sigma(x_i Y_i - y_i X_i) = 0.$$

B. Равновѣсіе силъ въ подпертыхъ твердыхъ тѣлахъ.

a. Сопротивленія неподвижныхъ опоръ.

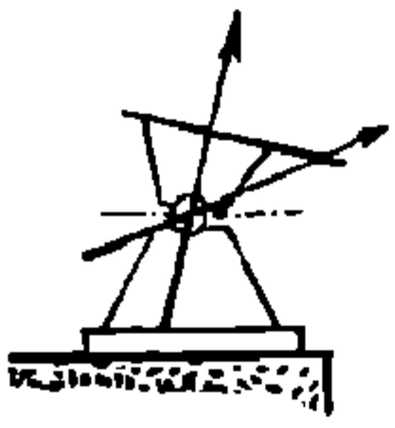
1. Сопротивленія неподвижныхъ опоръ (давленія на опоры, реакціи), которыя при изслѣдованіи условій равновѣсія разсматриваются какъ внѣшнія силы (по 7., стр. 171), обыкновенно являются какъ силы неизвѣстныя. Если условія равновѣсія достаточны для опредѣленія искомыхъ сопротивленій опоръ, то система называется **статически опредѣленною**, въ противномъ случаѣ—**статически неопредѣленною**; въ послѣднемъ случаѣ сопротивленія опоръ могутъ быть опредѣлены лишь при помощи условій, которыя находятся на основаніи упругой деформаціи тѣла.

Способъ расположенія опорныхъ частей опредѣляетъ:

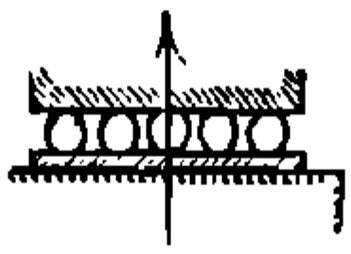
1) только точку приложенія сопротивленія опоры (а не направленіе этого сопротивленія); въ этомъ случаѣ ищется величина и направленіе изъ соотвѣтствующихъ двухъ условій:

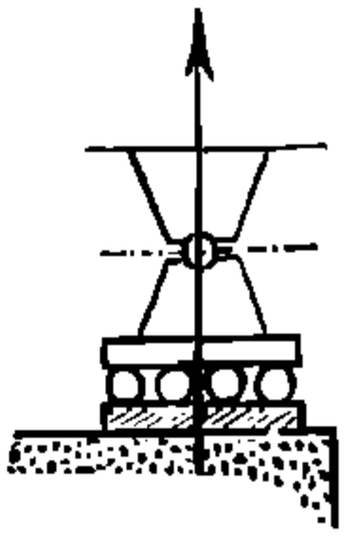
Примѣръ. Вращающаяся опора (черт. 88). Черт. 90.

Черт. 88.



Черт. 89.





2) только направленіе сопротивленія опоры (а не точку его приложенія); ищется точка приложенія и величина изъ соотвѣтственныхъ двухъ условій.

Примѣръ. Опора на каткахъ (черт. 89).

3) точку приложенія и направленіе; ищется величина по одному условію.

Примѣръ. Вращающаяся опора на каткахъ (черт. 90).

4) или, наконецъ, ни точки приложенія, ни величины, ни направленія не дано, ищутся всѣ три величины соотв. тремъ условіямъ.

2. Одна неподвижная опора. Условіе равновѣсія соблюдено, когда равнодѣйствующая всѣхъ внѣшнихъ силъ проходитъ черезъ неподвижную точку опоры. Это возможно только при устройствѣ опоры, какъ въ 1). Сопротивленіе опоры равно равнодѣйствующей и имѣетъ обратное направленіе. Равновѣсіе называется **устойчивымъ** или **неустойчивымъ**, смотря по тому, будетъ ли пара силъ, которая дѣйствуетъ на тѣло, выведенное изъ первоначаль-

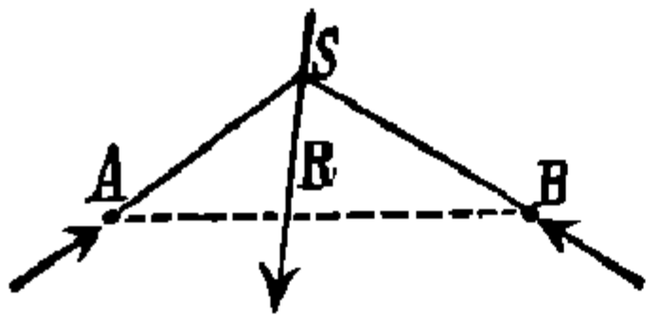
ГПБ ДНУЗТ

наго положенія, стремиться возвратить это тѣло обратно въ положеніе равновѣсія или еще болѣе выводить его изъ этого положенія. Равновѣсіе называется **безразличнымъ**, если новое положеніе тѣла есть также положеніе равновѣсія.

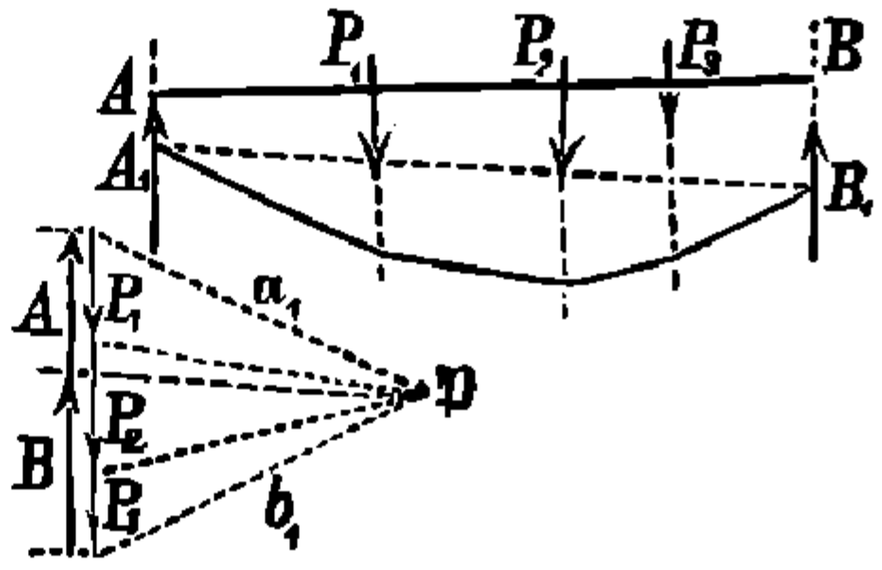
3. Двѣ неподвижныя опоры для плоскости. Равновѣсіе только тогда возможно, когда всѣ силы, расположенныя въ одной плоскости, могутъ быть приведены къ одной равнодѣйствующей, проходящей черезъ точку пересѣченія S обоихъ опорныхъ сопротивленій A и B (черт. 91).

A и B являются вполнѣ опредѣленными, какъ только опредѣлена точка пересѣченія S на R, въ зависимости отъ системы устройства опоръ, если, напр., дано направленіе A или B, или

Черт. 91.



Черт. 92.



если A и B параллельны R. Въ послѣднемъ случаѣ величины A и B опредѣляются при помощи статическихъ моментовъ (стр. 163) или многоугольника силъ и веревочнаго многоугольника (черт. 92), если къ замыкающей сторонѣ A_1B_1—прямой, соединяющей точки пересѣченія направленій опорныхъ давленій со сторонами веревочнаго многоугольника, которыя параллельны крайнимъ лучамъ a_1 и b_1, ограничивающимъ равнодѣйствующую, — провести параллельную прямую черезъ полюсъ P. Эта прямая разлагаетъ равнодѣйствующую $R\,(=\Sigma P)$ на A и B.

4. Двѣ неподвижныя опоры для тѣла. Равновѣсіе въ этомъ случаѣ возможно только тогда, когда равнодѣйствующій моментъ системы силъ въ пространствѣ относительно оси вращенія (линіи, соединяющей опоры) равенъ нулю. Если систему силъ можно замѣнить равнодѣйствующей силой, то послѣдняя должна пересѣкать ось вращенія. Составляющія сопротивленій обѣихъ опоръ, перпендикулярныя къ оси вращенія, опредѣляются статически; для другихъ составляющихъ можно (помощью условій равновѣсія) опредѣлить только сумму. Равновѣсіе можетъ быть устойчивое, неустойчивое или безразличное.

5. Три неподвижныя опоры. Равновѣсіе имѣетъ мѣсто всегда; но сопротивленія опоръ могутъ быть опредѣлены только тогда, когда тремъ опорнымъ точкамъ соотвѣтствуютъ всегда только шесть условій, напр., для трехъ опоръ, опредѣляющихъ только точку приложенія.

НТБ ДНУЗТ

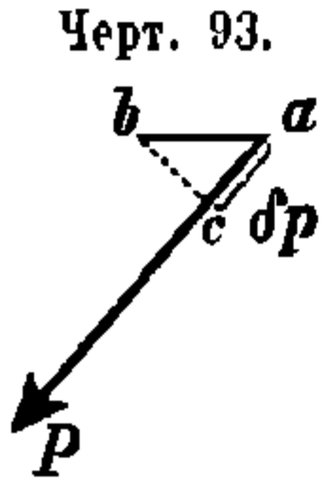
6. Число опоръ больше трехъ. Сопротивленія опоръ статически не опредѣляемы. Прямыя, проведенныя черезъ крайнія опоры, представляютъ ребра, около которыхъ происходитъ вращеніе. **Устойчивость** обезпечена, когда равнодѣйствующая всѣхъ дѣйствующихъ силъ находится внутри поверхности, ограничиваемой ребрами вращенія (на крайнихъ опорахъ). Устойчивость относительно одного изъ реберъ вращенія (крайней опоры) будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше статическій моментъ вѣса тѣла относительно этого ребра; послѣдній моментъ наз. **моментомъ устойчивости тѣла**. Работа, необходимая для приведенія тѣла въ неустойчивое положеніе, наз. **динамическимъ моментомъ устойчивости**. Она равна $A = Gh$, если центръ тяжести тѣла вѣсомъ G долженъ быть приподнятъ на высоту h (о G см. ниже, динамика твердыхъ тѣлъ).

7. При составленіи условій равновѣсія для любой (движущейся или неподвижной) системы соединенныхъ между собою твердыхъ тѣлъ сопротивленія опорныхъ точекъ (реакціи неподвижныхъ опоръ) принимаются всегда, какъ внѣшнія силы.

b. Начало возможныхъ перемѣщеній.

Представимъ себѣ систему произвольно связанныхъ точекъ, которой сообщено безконечно малое перемѣщеніе, не нарушающее связей системы. Такое перемѣщеніе наз. возможнымъ. Если при такомъ перемѣщеніи точка a (черт. 93), подъ дѣйствіемъ силы P, описываетъ безконечно малую дугу ab, которая можетъ быть принята за прямую линію, то ab наз. возможнымъ перемѣщеніемъ точки a; $ac = \delta p$ есть проекція этого перемѣщенія на направленіе силы P; произведеніе же $P.\ \delta p$ наз. возможнымъ моментомъ (возможной работой) силы P.

Черт. 93.



Возможный моментъ (работа) силы равенъ алгебраической суммѣ возможныхъ моментовъ (работъ) всѣхъ ея составляющихъ.

Если дѣйствующія на произвольную систему точекъ, какія ни есть, силы взаимно уравновѣшиваются, то для всякаго возможнаго перемѣщенія системы сумма возможныхъ моментовъ (работъ) всѣхъ дѣйствующихъ силъ равна пулю. И наоборотъ:

Если для всякаго возможнаго перемѣщенія системы сумма возможныхъ моментовъ (работъ) всѣхъ дѣйствующихъ силъ равна нулю, то силы находятся въ равновѣсіи.

Этотъ принципъ можетъ быть представленъ уравненіемъ:

$$\Sigma[P.\delta p] = \Sigma[X.\delta x + Y.\delta y + Z.\delta z] = 0,$$

гдѣ X, Y, Z составляющія по тремъ координатнымъ осямъ и δx, δy, δz — возможныя перемѣщенія точекъ приложенія силъ по направленію координатныхъ осей.

НТБ ДНУЗТ

Если $\Sigma\,(X.\partial x + Y.\partial y + Z.\partial z)$ представляетъ полный дифференціалъ функціи координатъ, то эта функція будетъ min. или max. въ случаѣ устойчиваго или неустойчиваго равновѣсія.

Если система массъ не жесткая, а состоитъ изъ m матеріальныхъ точекъ, относительное положеніе которыхъ опредѣляется тѣмъ условіемъ, что координаты m точекъ системы должны удовлетворять n уравненіямъ: $f_1 = 0$, $f_2 = 0 \ldots f_n = 0$, то, исключивъ изъ $3m$ уравненій:

$$X_k + \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial x_k} + \lambda_2 \frac{\partial f_2}{\partial x_k} + \ldots + \lambda_n \frac{\partial f_n}{\partial x_k} = 0,$$

$$Y_k + \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial y_k} + \lambda_2 \frac{\partial f_2}{\partial y_k} + \ldots + \lambda_n \frac{\partial f_n}{\partial y_k} = 0,$$

$$Z_k + \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial z_k} + \lambda_2 \frac{\partial f_2}{\partial z_k} + \ldots + \lambda_n \frac{\partial f_n}{\partial z_k} = 0,$$

$$(k = 1, 2, 3 \ldots m)$$

неопредѣленные коэффиціенты $\lambda_1, \lambda_2 \ldots \lambda_n$, получимъ $(3m - n)$ уравненій, которыя вмѣстѣ съ данными n уравненіями $f_1 = 0$, $f_2 = 0$ дадутъ $3m$ условій равновѣсія.

Въ вышеприведенныхъ уравненіяхъ X_k, Y_k, Z_k означаютъ суммы слагающихъ внѣшнихъ силъ, дѣйствующихъ въ точкахъ x_k, y_k, z_k.

C. Центръ параллельныхъ силъ и центръ тяжести.

a. Моменты силъ относительно плоскости.

1. Если систему параллельныхъ силъ такъ поворачивать, чтобы онѣ, сохраняя свои точки приложенія, оставались параллельными между собой, то равнодѣйствующая всегда будетъ проходить черезъ одну и ту же точку, наз. **центромъ параллельныхъ силъ.**

Для координатъ x_0, y_0, z_0 этого центра имѣемъ по **3.**, уравненія:

$$x_0\,\Sigma(P) = \Sigma(Px); \quad y_0\,\Sigma(P) = \Sigma(Py); \quad z_0\,\Sigma(P) = \Sigma(Pz),$$

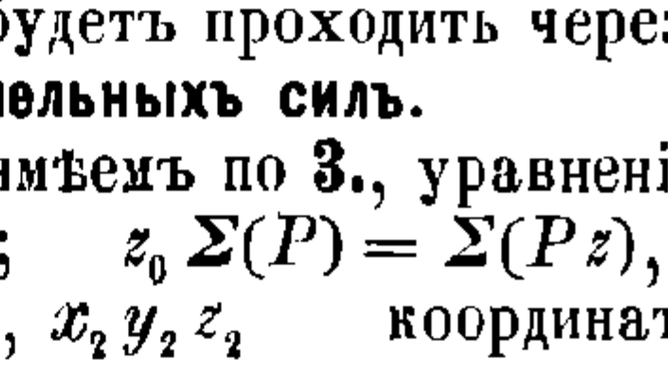
гдѣ P_1, P_2 параллельныя силы, $x_1\,y_1\,z_1$, $x_2\,y_2\,z_2$ координаты ихъ точекъ приложенія.

2. Если **статическимъ моментомъ силы относительно плоскости** назвать произведеніе силы на разстояніе отъ ея точки приложенія до плоскости, то предыдущія уравненія означаютъ:

Для **силъ параллельныхъ** статическій моментъ равнодѣйствующей относительно какой-нибудь плоскости равенъ суммѣ моментовъ составляющихъ относительно той же плоскости.

3. Если **параллельныя силы лежатъ въ одной плоскости** (черт. 94), то плоскость для моментовъ выбираютъ перпендикулярно къ плоскости дѣйствія силъ. Разстоянія точекъ приложенія силъ P_1, P_2, P_3 до плоскости будутъ $a_1, a_2, a_3 \ldots$; они заданы отъ прямой AA пересѣченія обѣихъ плоскостей.

Черт. 94.



4. Для центра параллельныхъ силъ, лежащихъ въ одной плоскости, отнесеннаго къ любой прямой AA въ плоскости, имѣемъ уравненіе:

$$a_0\,\Sigma(P) = \Sigma(Pa),$$

НТБ ДНУЗТ

гдѣ a_0 разстоянiе центра параллельныхъ силъ до прямой, а произведенiе Pa наз. **статическимъ моментомъ** силы P, отнесеннымъ къ прямой AA.

b. Общiе законы для центра тяжести.

1. Силы тяжести, дѣйствующiя на отдѣльныя частицы даннаго тѣла, образуютъ систему параллельныхъ силъ, равнодѣйствующая которыхъ представляетъ вѣсъ даннаго тѣла и имѣетъ всегда для даннаго тѣла одну и ту же точку приложенiя—свой центръ параллельныхъ силъ, который называется центромъ массы или **центромъ тяжести.**

2. Для опредѣленiя центра тяжести служатъ тѣ же законы, какъ и приведенные въ a.

Сумма статическихъ моментовъ отдѣльныхъ частицъ массы, отнесенныхъ къ любой плоскости, равна статическому моменту всей массы относительно той-же плоскости (= произведенiю массы на разстоянiе отъ ея центра тяжести до плоскости).

Сумма статическихъ моментовъ отдѣльныхъ частицъ массы относительно плоскости, проходящей черезъ центръ тяжести, равна нулю.

3. Пусть означаютъ:
x_1, y_1, z_1 координаты частицы тѣла, масса которой m_1 и вѣсъ γ_1,
x_2, y_2, z_2 координаты частицы тѣла, масса которой m_2 и вѣсъ γ_2,
x_0, y_0, z_0 координаты центра тяжести,
$M = \Sigma m$ вся масса тѣла,
$G = \Sigma \gamma$ общiй вѣсъ тѣла; тогда будемъ имѣть:

$$x_0 M = \Sigma(xm); \quad y_0 M = \Sigma(ym); \quad z_0 M = \Sigma(zm),$$
$$x_0 G = \Sigma(x\gamma); \quad y_0 G = \Sigma(y\gamma); \quad z_0 G = \Sigma(z\gamma).$$

Тѣ же уравненiя имѣютъ мѣсто и въ томъ случаѣ, когда m_1, m_2. представляютъ массы тѣлъ (плоскостей или линiй), а x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2. координаты ихъ центровъ тяжести.

4. Для **однородныхъ тѣлъ** имѣемъ уравненiя:

$$x_0 V = \int x.dV; \quad y_0 V = \int y.dV; \quad z_0 V = \int z.dV,$$

гдѣ V общiй объемъ тѣла, а x, y, z координаты элемента объема его dV

Также и для **плоскости**, которую представимъ себѣ равномѣрно обложенною массою:

$$x_0 F = \int x.dF; \quad y_0 F = \int y.dF; \quad z_0 F = \int z.dF,$$

гдѣ F—общая площадь, а x, y, z координаты ея элемента dF.

Также точно для **линiй**, равномѣрно обложенныхъ массою, имѣемъ:

$$x_0 s = \int x.ds; \quad y_0 s = \int y.ds; \quad z_0 s = \int z.ds,$$

гдѣ s вся длина линiи, x, y, z координаты ея элемента ds.

НТБ ДНУЗТ

5. Если линія, плоскость или тѣло имѣютъ плоскость симметріи, ось симметріи или центръ, то въ нихъ лежитъ центръ тяжести.

6. Центръ тяжести поверхности M и объема V **тѣла вращенія** находится на оси вращенія *).

Если $y = f(x)$ — уравненіе меридіональной линіи, причемъ за ось x-овъ взята ось вращенія, $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ — дифференціалъ дуги мерид. линіи, а M и V ограничены двумя параллельными плоскостями, проведенными перпендикулярно къ оси x-овъ на разстояніяхъ x_1 и x_2 отъ начала координатъ, то:

для M: $$x_0 = \frac{\int_{x_1}^{x_2} xy\,.\,ds}{\int_{x_1}^{x_2} y\,.\,ds};$$ для V: $$x_0 = \frac{\int_{x_1}^{x_2} xy^2\,.\,dx}{\int_{x_1}^{x_2} y^2\,.\,dx}$$

7. Правила Гюльдена (Паппуша) (стр. 138) даютъ возможность опредѣлять центръ тяжести кривой или площади, образующей тѣло вращенія, если извѣстна величина поверхности или объема тѣла вращенія.

c. Положеніе центра тяжести.

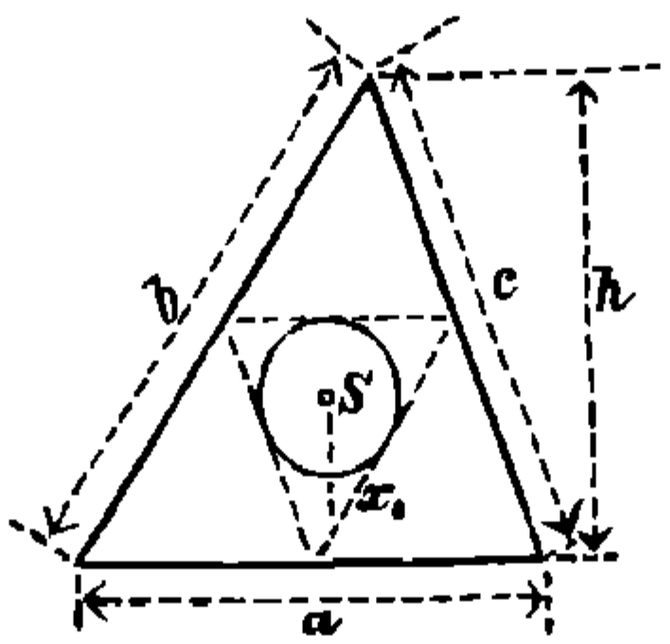
Въ нижеслѣдующихъ фигурахъ 95 — 110 S означаетъ вездѣ центръ тяжести.

a. Центръ тяжести линій.

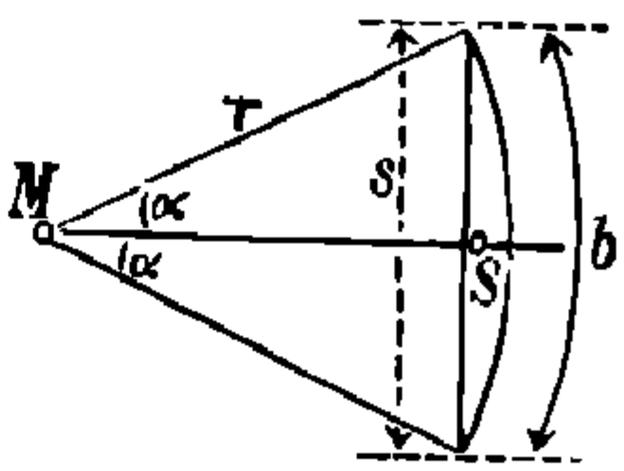
1. **Прямая линія.** S находится на срединѣ даннаго отрѣзка прямой.

2. **Периметръ треугольника** (черт. 95) S находится въ центрѣ круга, вписаннаго въ треугольникъ, стороны котораго соединяютъ средины сторонъ a, b, c даннаго треугольника. Разстояніе x_0 центра тяжести отъ a равно:

Черт. 95.



Черт. 96.



$$x_0 = \frac{h}{2} \cdot \frac{b + c}{a + b + c}.$$

3. **Параллелограммъ.** S находится на пересѣченіи діагоналей.

4. **Дуга круга** (черт. 96). $MS = \frac{r\,s}{b} = \frac{r \sin\alpha}{\alpha^0} \frac{180}{\pi}$.

---

*) См. болѣе подробно F. **Kosch**, Zur Lage des Schwerpunktes eines Rotationskörpers, Zeitschr. f. Mathem. und Physik. 1891.

НТБ ДНУЗТ

Половина окружности круга: $MS = 2r \quad \pi = 0{,}636\,619\,772\,r.$

Четверть $MS = 2r\sqrt{2} : \pi = 0{,}900\,316\,316\,r.$

$^1/_6$ $MS = 3r : \pi = 0{,}954\,929\,659\,r.$

β. Центръ тяжести площадей.

1. Треугольникъ. S находится на пересѣченіи прямыхъ, соединяющихъ средины сторонъ треугольника (черт. 97).

Проведемъ поэтому (черт. 98) черезъ C параллельную AB, затѣмъ $AD \parallel BC$ и $BE \parallel AC$, тогда BD и AE пересѣкаются въ S.

Разстояніе центра тяжести отъ каждой стороны тр—ка равно $^1/_3$ высоты, направленной къ этому основанію.

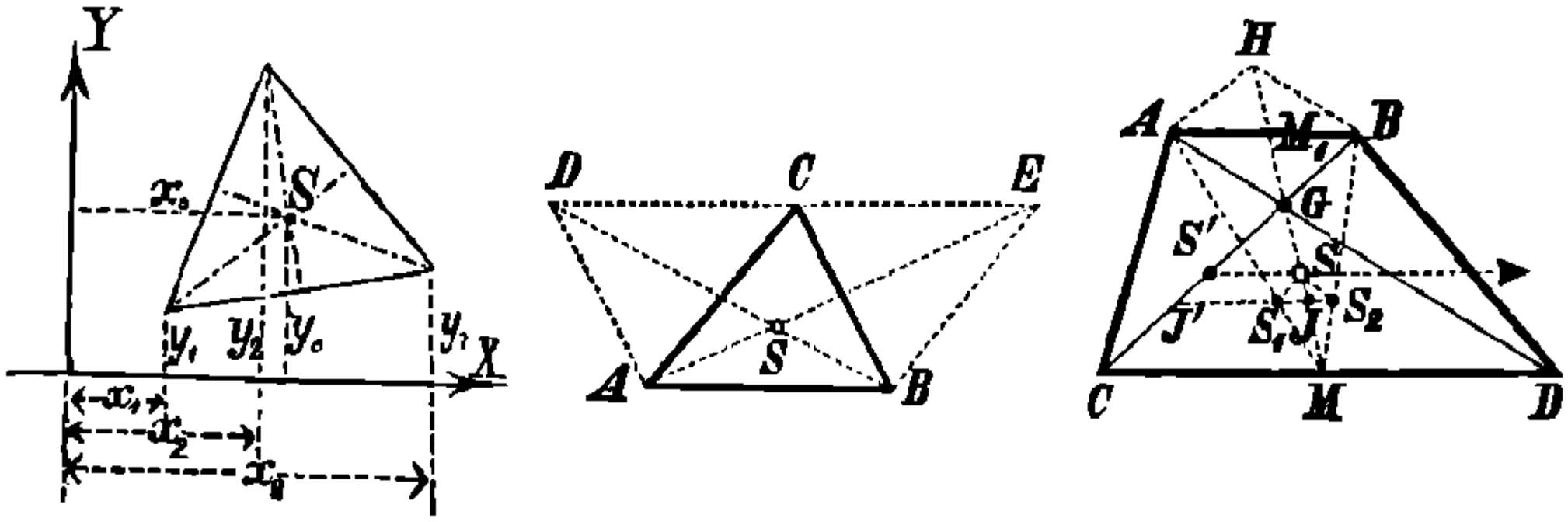
На черт. 97 имѣемъ:

$$x_0 = {}^1/_3(x_1 + x_2 + x_3) \qquad y_0 = {}^1/_3(y_1 + y_2 + y_3);$$

поэтому: разстояніе центра тяжести треугольника до произвольной прямой равно средней ариѳметической разстояній вершинъ треугольника до этой же прямой.—Тоже относится и до разстоянія центра тяжести треугольника до произвольной плоскости.

2. Параллелограммъ. S находится на пересѣченіи діагоналей.

Черт. 97. Черт. 98. Черт. 99.



3. Трапеція *).

1. Проводимъ (черт. 99) $AH \parallel CB$ и $BH \parallel AD$, затѣмъ HG до M, тогда HM среднян линія трапеціи и $MS = {}^1/_3 HM$.

2. Если (черт. 99) дана средняя линія MM_1 трапеціи, то на продолженіи этой прямой дѣлаемъ $M_1H = GM_1$; $MS = {}^1/_3 HM$ дастъ точку S.

3. Откладываемъ (черт. 99) $GM_1 = MJ$, тогда $JS = {}^1/_3 GJ$.

4. Если (черт. 99) $CJ' = BG$, далѣе $J'S' = {}^1/_3 J'G$, то черезъ S' проходитъ прямая центра тяжести, параллельная параллельнымъ сторонамъ трапеціи.

5. Откладываемъ (черт. 99) $MS_1 = {}^1/_3 MA$, тогда $S_1S \parallel CB$ пересѣкаетъ среднюю линію MM_1 въ S.

6. На черт. 99 центръ тяжести S совпадаетъ съ центромъ тяжести треугольника CHD (см. **1.**).

---

*) См. Centralbl. d. Bauverw. 1894, стр. 192, 280, 312, 458 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

7. Отложивъ (черт. 100) $BE = a$, $CF = b$ и проведя затѣмъ линію EF, получимъ въ пересѣченіи послѣдней со среднею линіей искомый центръ тяжести S, а разстояніе его до параллельныхъ сторонъ AB и CD:

$$OS = \frac{a+2b}{a+b}\ \frac{h}{3}; \qquad O_1S = \frac{2a+b}{a+b}\ \frac{h}{3},$$

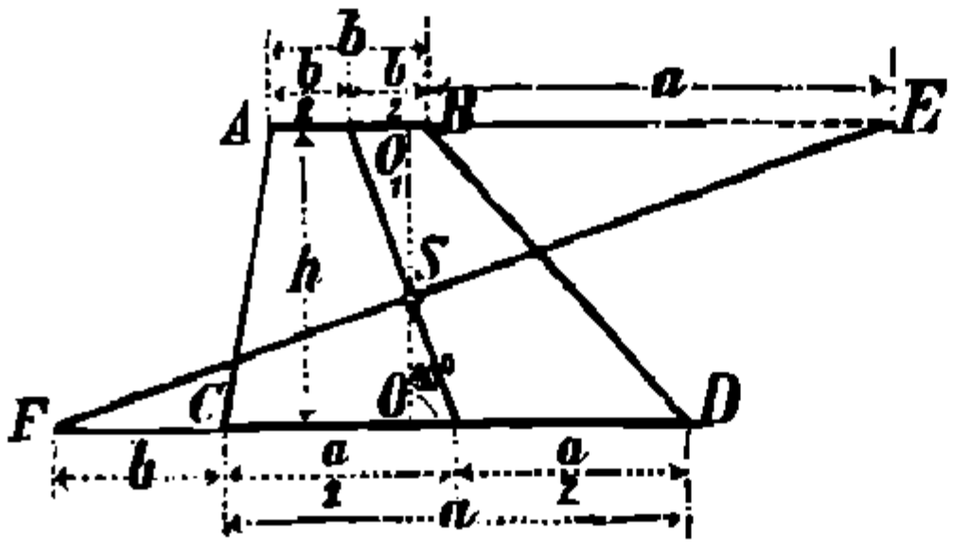
гдѣ h—разстояніе между параллельными сторонами трапеціи.

8. Проводимъ (черт. 101) $BN \parallel AC$ и откладываемъ

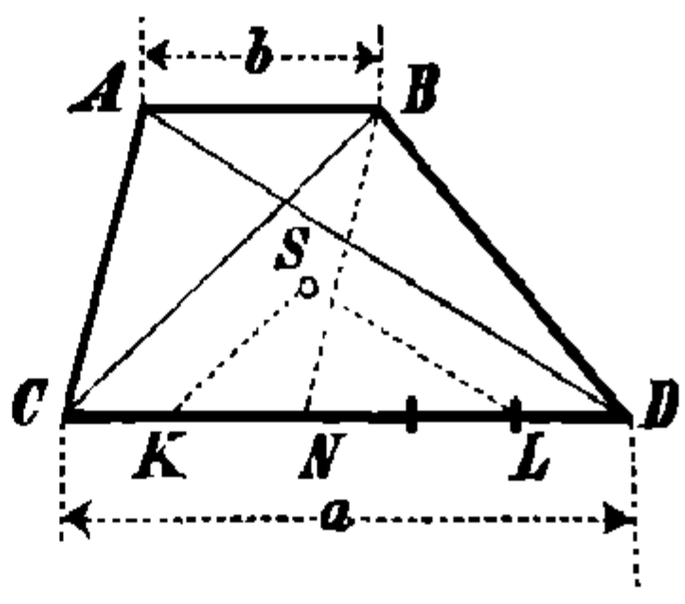
$$CK = DL = {}^1/_3\, DN = {}^1/_3\,(a-b),$$

тогда $KS \parallel CB$ и $LS \parallel AD$ пересѣкаются въ S; если дана средняя линія трапеціи, то проводятъ только KS или LS.

Черт. 100.

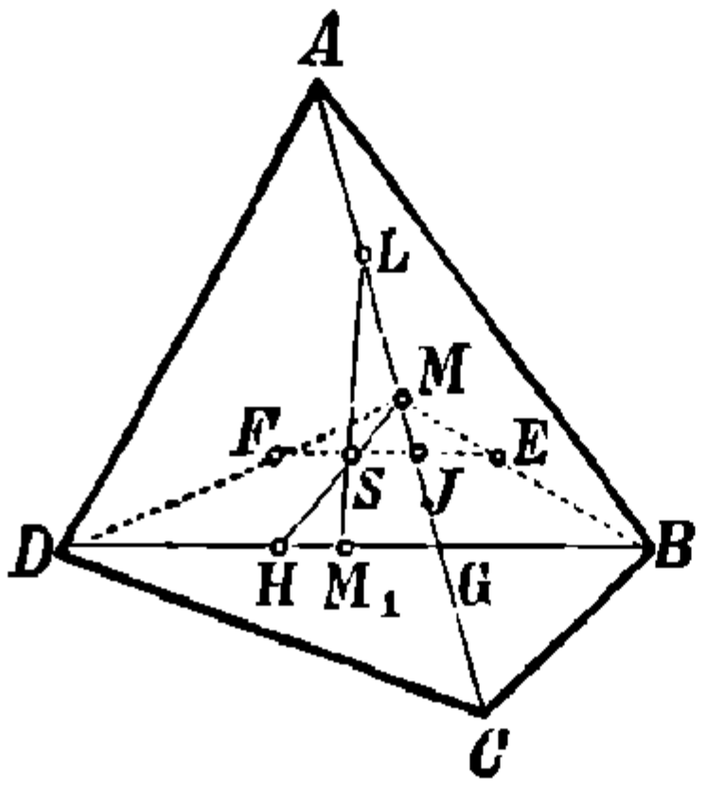


Черт. 101.



4. Четырехугольникъ (черт. 102). 1. Соединяемъ M, средину діагонали AC, съ B и D; откладываемъ $MF = {}^1/_3\, DM$ и $ME = {}^1/_3\, BM$; на линіи EF, параллельной BD, откладываемъ $FS = EJ$; S—центръ тяжести 4-угольника.

Черт. 102.



2. Откладываемъ на діагоналяхъ $AL = CG$ и $DH = BG$; тогда S будетъ находиться на пересѣченіи HM и LM_1, гдѣ M и M_1—средины діагоналей.

$MS = {}^1/_3\, MH$ и $M_1S = {}^1/_3\, M_1L$.

3. Если, на черт. 99, $ABCD$ произвольный четыреугольникъ, то проводимъ $AH \parallel CB$ и $BH \parallel AD$, соединяемъ H съ M, срединой CD; тогда $MS = {}^1/_3\, HM$ дастъ центръ тяжести S.

4. Откладываемъ (черт. 99) $MS_1 = {}^1/_3\, MA$, проводимъ $S_1S_2 \parallel AB$, $S_1S \parallel CB$ и $S_2S \parallel AD$,— получаемъ S.

5. Проводимъ черезъ вершины четыреугольника параллели его діагоналямъ и соединяемъ двѣ сосѣдія вершины полученнаго такимъ образомъ параллелограмма съ точкой пересѣченія діагоналей, тогда получаемъ средины двухъ смежныхъ сторонъ четыреугольника; соединяя эти средины съ противолежащими вершинами параллелограмма, получимъ S.

НТБ ДНУЗТ

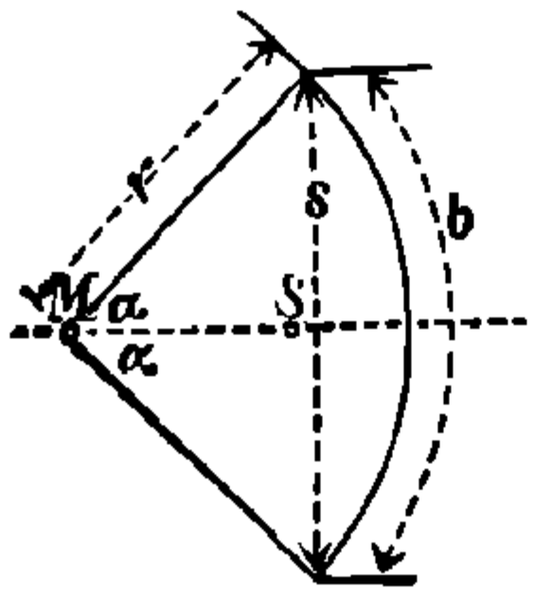
5. Многоугольникъ. Надо раздѣлить его на треугольники или на другія простыя части, центры тяжести которыхъ легко опредѣлить; опредѣлить статическіе моменты этихъ частей относительно двухъ взаимно перпендикулярныхъ осей и раздѣлить суммы этихъ моментовъ на площадь многоугольника (см. **3.**, стр. 132); частныя представятъ координаты центра тяжести S многоугольника.

При помощи опыта: надо начертить многоугольникъ на твердой бумагѣ равномѣрной толщины и вырѣзать его по периметру. Тогда центръ тяжести S можно опредѣлить или подвѣшивая вырѣзанную фигуру, или при помощи уравновѣшиванія.

Правильный многоугольникъ. S находится въ центрѣ вписаннаго и описаннаго круга.

6. Круговой секторъ (черт. 103) F = площадь сектора.

Черт. 103.



$$MS = \frac{2}{3}\frac{180}{\pi}\frac{r\sin\alpha}{\alpha^0} = \frac{2}{3}\frac{rs}{b} = \frac{r^2 s}{3F}$$

$$= 38{,}197\,186\,\frac{r\sin\alpha}{\alpha^0},$$

гдѣ s — хорда, а b — длина дуги сектора.

Для полукруга имѣемъ:

$$MS = \frac{4}{3}\frac{r}{\pi} = 0{,}424\,413\,182\,r.$$

Для четверти круга (квадранта):

$$MS = \frac{4}{3}\frac{\sqrt{2}}{\pi}r = 0{,}600\,210\,877\,r.$$

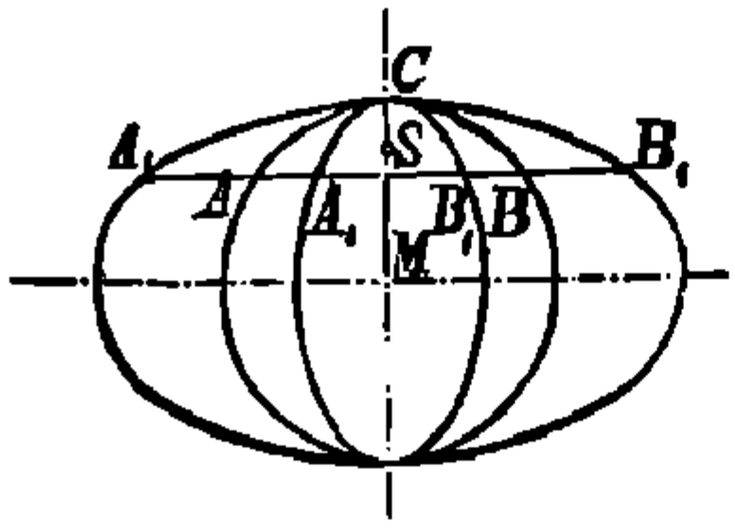
Для шестой части круга (секстанта): $MS = \frac{2r}{\pi} = 0{,}636\,619\,772r.$

7. Круговой сегментъ (отрѣзокъ) (черт. 96, стр. 174). Пусть F площадь сегмента; тогда:

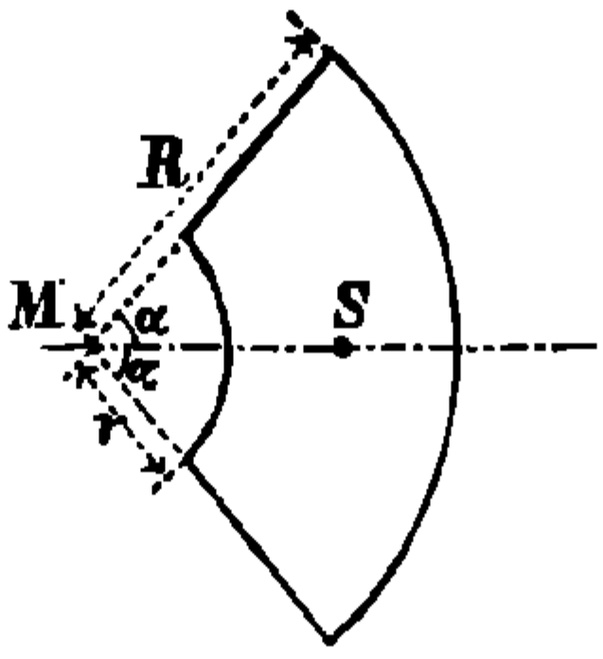
$$MS = \frac{s^3}{12F} = \frac{2}{3}\frac{r^3\sin^3\alpha}{F} = \frac{2}{3}\frac{r\sin^3\alpha}{\frac{\alpha^0\pi}{180}\sin\alpha\cos\alpha}.$$

8. Эллиптическій сегментъ A_1B_1C (черт. 104). Центръ тяжести совпадаетъ съ центромъ тяжести кругового сегмента ABC, который отсѣкается хордой отъ круга, діаметръ котораго равенъ главной оси эллипса, перпендикулярной къ этой хордѣ.

Черт. 104.



Черт. 105.



НТБ ДНУЗТ

9. Часть кругового кольца (черт. 105).

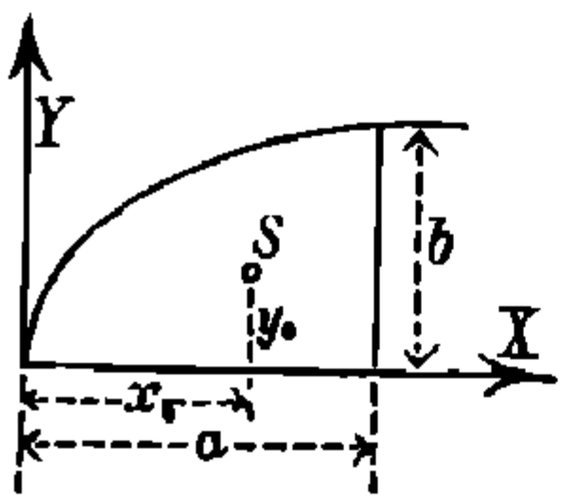
$$MS = \frac{2}{3}\,\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}\,\frac{\sin\alpha}{\alpha^0}\,\frac{180}{\pi} = 38{,}197\,186\,\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}\,\frac{\sin\alpha}{\alpha^0}.$$

Для половины кругового кольца имѣемъ:

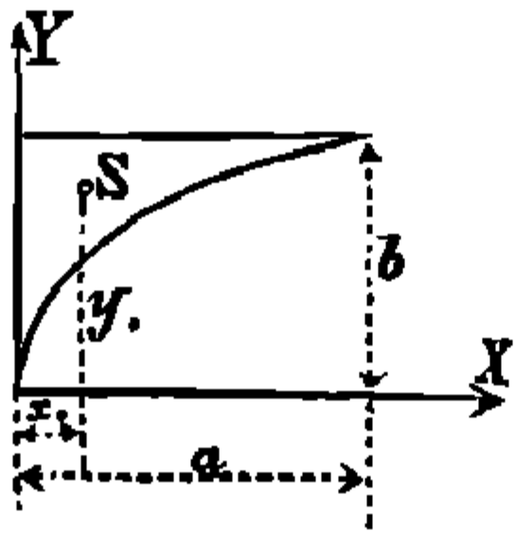
$$MS = \frac{4}{3\pi}\,\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}.$$

10. Площадь параболы. (Черт. 106) : $x_0 = {}^3/_5\,a$; $y_0 = {}^3/_8\,b$.
(Черт. 107) : $x_0 = {}^3/_{10}\,a$; $y_0 = {}^3/_4\,b$.

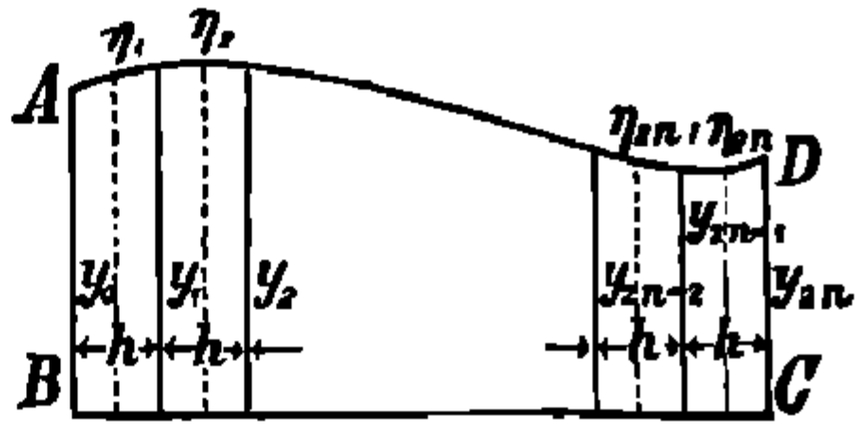
Черт. 106.



Черт. 107.



Черт. 108.



11. Произвольная площадь $ABCD$ (черт. 108), ограниченная любой кривой AD, осью абсциссъ BC и двумя конечными ординатами AB (осью ординатъ) и CD. Дѣлимъ площадь на **четное число** полосъ одинаковой ширины h; тогда, по правилу Симпсона (стр. 134), имѣемъ координаты ξ_0 и η_0 центра тяжести S:

$$\xi_0 = h\,\frac{1.4y_1 + 2.2y_2 + 3.4y_3 + 4.2y_4 + \ldots (2n-2)2y_{2n-2} + (2n-1)4y_{2n-1} + 2ny_{2n}}{y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \ldots + 2y_{2n-2} + 4y_{2n-1} + y_{2n}}$$

$$\eta_0 = \frac{1}{2}\,\frac{y_0^2 + 4y_1^2 + 2y_2^2 + 4y_3^2 + \ldots + 2y_{2n-2}^2 + 4y_{2n-1}^2 + y_{2n}^2}{y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \ldots + 2y_{2n-2} + 4y_{2n-1} + y_{2n}}.$$

12. Поверхность шарового пояса. S находится на средниѣ высоты.

13. Любая площадь на поверхности полушара. Если F площадь, ограниченная на поверхности полушара нѣкоторой сомкнутой кривой, F_1 проекція этой площади на плоскость, ограничивающую полушаръ, x_0 разстояніе отъ центра тяжести площади F до этой плоскости и r радіусъ шара, то:

$$x_0 = \frac{F_1}{F}\,r.$$

14. Боковая поверхность пирамиды или прямого конуса. S находится на линіи, соединяющей вершину съ центр. тяжести основанія на разстояніи ${}^1/_3\,h$ отъ основанія.

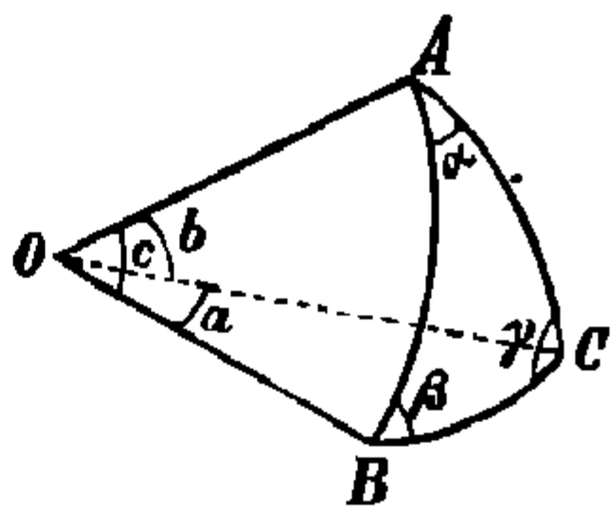
15. Боковая поверхность прямого усѣченнаго конуса. Если радіусы верхняго и нижняго основаній r и R и высота h, то разстояніе центра тяжести отъ большаго основанія:

$$x_0 = \frac{h}{3}\,\frac{R + 2r}{R + r}$$

НТБ ДНУЗТ

16. Сферическій треугольникъ (черт. 109). Пусть x_1 разстояніе центра тяжести сферическаго треугольника отъ плоскости OBC, x_2—отъ плоскости OAC, и x_3—отъ плоскости OAB, тогда:

Черт. 109.



$$x_1 = \frac{a - b\cos\gamma - c\cos\beta}{\varepsilon}\frac{180}{\pi}\frac{r}{2};$$

$$x_2 = \frac{b - c\cos\alpha - a\cos\gamma}{\varepsilon}\frac{180}{\pi}\frac{r}{2};$$

$$x_3 = \frac{c - a\cos\beta - b\cos\alpha}{\varepsilon}\frac{180}{\pi}\frac{r}{2},$$

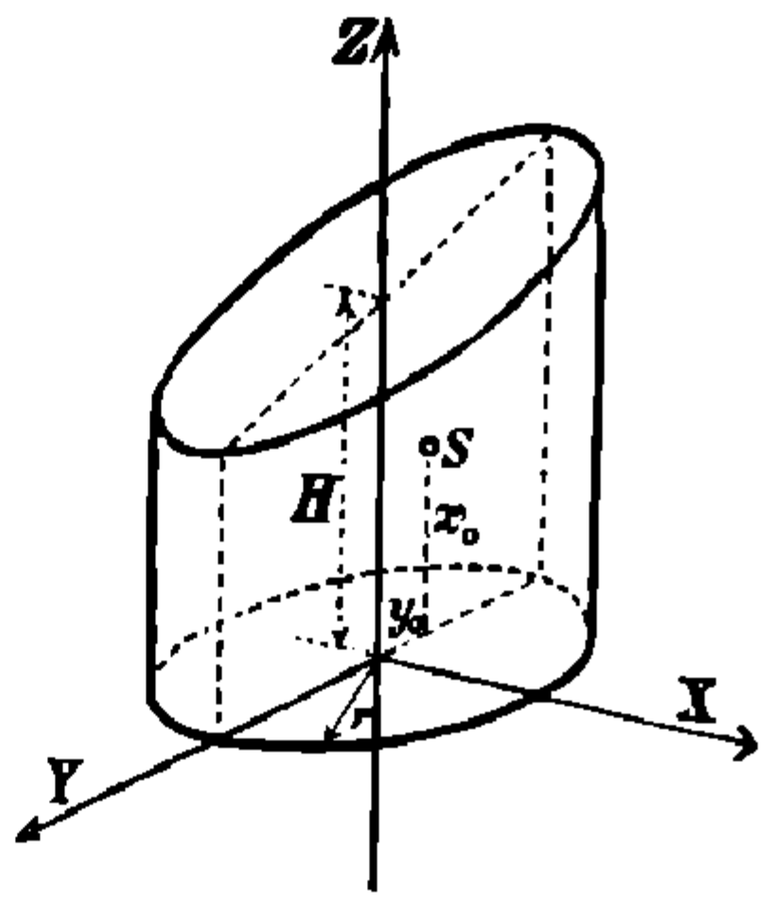
гдѣ $\varepsilon = \alpha + \beta + \gamma - 180^0$ сферическій избытокъ (см. стр. 66 и 137) и $r = OA = OB = OC$ радіусъ шара.

γ. Центръ тяжести тѣлъ.

1. Прямая призма и прямой цилиндръ. Центръ тяжести находится въ срединѣ линіи, соединяющей центры тяжести основаній.

2. Наклонно усѣченный круглый цилиндръ (черт. 110). Если yz плоскость симметріи, H—длина оси, α—уголъ наклона сѣченія къ плоскости основанія, r—радіусъ основанія, то

Черт. 110.



имѣемъ: $$y_0 = \frac{1}{4}\frac{r^2\operatorname{tg}\alpha}{H}; \qquad z_0 = \frac{H}{2} + \frac{1}{8}\frac{r^2\operatorname{tg}^2\alpha}{H}$$

3. Пирамида и конусъ. Центръ тяжести S находится на прямой, соединяющей вершину съ центромъ тяжести основанія, въ разстояніи $^1/_4\ h$ этой прямой считая отъ основанія.

4. Усѣченная пирамида. Если A и B—площади основаній и h высота, то разстояніе центра тяжести отъ основанія A:

$$x_0 = \frac{h}{4}\frac{A + 2\sqrt{AB} + 3B}{A + \sqrt{AB} + B}.$$

5. Усѣченный круглый конусъ. Если R и r радіусы основаній и h высота, то разстояніе центра тяжести отъ основанія R:

$$x_0 = \frac{h}{4}\frac{R^2 + 2Rr + 3r^2}{R^2 + Rr + r^2}.$$

6. Обелискъ (черт. 35, стр. 135). Разстояніе центра тяжести отъ основанія ab:

$$x_0 = \frac{h}{2}\frac{ab + ab_1 + a_1b + 3a_1b_1}{2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1}.$$

НТБ ДНУЗТ

7. Клинъ (черт. 36, стр. 135). Разстояніе центра тяжести отъ основанія ab:

$$x_0 = \frac{h}{2}\,\frac{a + a_1}{2a + a_1}.$$

8. Шаровой секторъ. Разстояніе центра тяжести отъ центра шара (черт. **103**, стр. 177), если h высота сегмента:

$$MS = x_0 = {}^3/_8(1 + \cos\alpha)\,r = {}^3/_8\,(2r - h).$$

9. Шаровой сегментъ. Разстояніе центра тяжести отъ центра шара (черт. 96, стр. 174):

$$MS = x_0 = \frac{3}{4}\,\frac{(2r - h)^2}{3r - h},$$

гдѣ h—высота сегмента. Эта формула служитъ также для сегмента **эллипсоида вращенія**, ось вращенія котораго равна діаметру шара. Разстояніе центра тяжести отъ плоскости сѣкущаго круга, радіуса ϱ, равно:

$$x_1 = \frac{h}{2}\,\frac{h^2 + 2\varrho^2}{h^2 + 3\varrho^2} = \frac{h}{4}\,\frac{4r - h}{3r - h}$$

Для полушара: $x_0 = {}^3/_8\,r$.

Для полаго полушара: $x_0 = \frac{3}{8}\,\frac{R^4 - r^4}{R^3 - r^3}$.

10. Параболоидъ вращенія. Если ось производящей параболы есть ось вращенія, h разстояніе вершины отъ основанія, то разстояніе центра тяжести отъ основанія:

$$x_0 = {}^1/_3\,h.$$

11. Трехосный эллипсоидъ (см. стр. 129 и черт. 127, стр. 192). Для октанта:

$$x_0 = {}^3/_8\,a; \qquad y_0 = {}^3/_8\,b; \qquad z_0 = {}^3/_8\,c.$$

12. Тѣло произвольной формы (см. правило Симпсона, стр. 134). По формулѣ для ξ_0, приведенной въ 11, стр. 178, можно приблизительно найти разстояніе центра тяжести тѣла отъ плоскости, его ограничивающей или къ нему касательной, для чего параллельно этой плоскости проводимъ рядъ другихъ плоскостей, разсѣкающихъ данное тѣло на **четное** $(2n)$ число частей **одинаковой толщины** h, и затѣмъ вставимъ въ формулу вмѣсто y соотвѣтственныя площади.

Если общій видъ для величины площади параллельнаго сѣченія y есть функція не выше второй степени отъ разстоянія этого сѣченія до опредѣленной плоскости (какъ въ примѣр. **3** до **9**, стр. 179 и 180), то формула для вычисленія центра тяжести достаточно точна, если въ нее ввести два крайнихъ и одно среднее параллельное сѣченіе.

13. Если S есть общій центръ тяжести системы двухъ тѣлъ M_1 и M_2, центры тяжести которыхъ S_1 и S_2, то:

$$S\,S_1 \quad S\,S_2 = M_2 : M_1.$$

НТБ ДНУЗТ

Для опредѣленія центра тяжести системы, состоящей изъ нѣсколькихъ тѣлъ, слѣдуетъ примѣнять это же правило: надо считать сумму массъ M_1 и M_2 сосредоточенной въ ихъ центрѣ тяжести S, и опредѣлить центръ тяжести $M_1 + M_2$ и M_3 и т. д. (Можно также примѣнять уравненіе статическихъ моментовъ, см. **2.** стр. 173).

d. Опредѣленіе центра тяжести посредствомъ чертежа.

Для линій и площадей находимъ центръ тяжести разложеніемъ на отдѣльные элементы, положеніе центра тяжести которыхъ извѣстно. Величину каждаго элемента принимаемъ за силу, которая приложена въ центрѣ тяжести соотвѣтствующаго элемента. Посредствомъ многоугольника силъ и веревочнаго многоугольника находимъ равнодѣйствующія этихъ силъ для двухъ произвольно выбранныхъ направленій. Въ пересѣченіи двухъ равнодѣйствующихъ найдемъ искомый центръ тяжести. Для повѣрки полезно построить еще равнодѣйствующую для третьяго направленія силъ.

Для **тѣлъ** точно такъ же находимъ центръ тяжести, раздѣляя данное тѣло на части и опредѣляя равнодѣйствующую отдѣльныхъ вѣсовъ, какъ параллельныхъ силъ, посредствомъ проектированія послѣднихъ на двѣ плоскости координатъ, какъ указано выше.

D. Моменты инерціи.

a. Общія свойства моментовъ инерціи.

1. Моментомъ инерціи матеріальнаго тѣла относительно нѣкоторой оси наз. сумма произведеній массы частицъ dM на квадратъ ихъ разстояній r отъ этой оси: $J = \int r^2 . dM.$

Принимая $J = m\,a^2$, гдѣ a—произвольная длина, найдемъ, что величина $m = (J \;\; a^2)$ представляетъ массу тѣла, отнесенную къ разстоянію a. При $a = 1$, имѣемъ $m = J$, т. е. массу, отнесенную къ единицѣ разстоянія.

Если моментъ инерціи написать въ видѣ:

$$J = Mi^2,$$

гдѣ M общая масса тѣла, то i наз. **радіусомъ (плечомъ) инерціи** массы M.

Если тѣло (площадь или линія) состоитъ изъ нѣсколькихъ (n) частей, то его моментъ инерціи есть сумма моментовъ инерціи отдѣльныхъ частей относительно той же оси.

$$J = J_1 + J_2 + J_3 + \quad\quad + J_n.$$

Если части между собой однородны, равны и расположены симметрично относительно оси, то

$$J_1 = J_2 = J_3 = \quad\quad = J_n = (J : n).$$

НТБ ДНУЗТ

Центробѣжнымъ моментомъ инерціи матеріальнаго тѣла относительно двухъ осей называется выраженіе:

$$J_{xy} = \int xy \, . \, dM,$$

гдѣ x и y разстоянія частицы массы dM отъ двухъ осей.

2. Откладывая на каждой изъ осей, проходящихъ черезъ какую-либо точку даннаго тѣла, отрѣзки обратно пропорціональные плечамъ инерціи относительно соотвѣтствующихъ осей, и соединяя найденныя точки, получимъ **эллипсоидъ инерціи**, главныя оси котораго соотвѣтствуютъ **главнымъ моментамъ инерціи** (см. стр. 129 и черт. 127).

Если **центробѣжные моменты инерціи**, отнесенные къ какимъ-либо двумъ изъ трехъ координатныхъ осей, равны нулю, т. е.

$$\int xy \, . \, dM = \int xz \;\; dM = \int yz \;\; dM = 0,$$

то главныя оси этого эллипсоида, **главныя оси инерціи**, совпадаютъ съ осями координатъ, и наоборотъ:

Для прямоугольной системы координатныхъ осей, оси которой суть главныя оси инерціи, центробѣжные моменты инерціи равны нулю.

Если тѣло имѣетъ плоскость симметріи, то каждая нормаль къ послѣдней есть главная ось инерціи. Если тѣло имѣетъ ось симметріи, то эта послѣдняя есть одна изъ трехъ главныхъ осей инерціи для каждой изъ своихъ точекъ.

Если центръ тяжести совпадаетъ съ началомъ координатъ, то эллипсоидъ инерціи наз. **центральнымъ эллипсоидомъ**, а его главныя оси наз. **свободными осями.**

3. Если главные моменты инерціи для какой-либо точки равны A, B и C, то **моментъ инерціи относительно произвольной оси**, проходящей черезъ эту же точку и составляющей углы α, β и γ съ главными осями, равенъ:

$$J = A\cos^2\alpha + B\cos^2\beta + C\cos^2\gamma.$$

4. Моменты инерціи для параллельныхъ осей.

Если J_s моментъ инерціи тѣла массы M относительно оси, проходящей черезъ центръ тяжести, J моментъ инерціи относительно другой оси, параллельной первой и отстоящей отъ нея на разстояніи e, то: $J = J_s + Me^2$ и слѣд. $J_s = J - Me^2$.

Если J_1 и J_2 моменты инерціи двухъ тѣлъ относительно осей, проходящихъ черезъ центры тяжести этихъ тѣлъ и параллельныхъ между собою, то моментъ инерціи тѣла, составленнаго изъ 2-хъ данныхъ, относительно оси, проходящей черезъ его общій центръ тяжести и параллельной даннымъ, опредѣляется по:

$$J = J_1 + J_2 + \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} e^2,$$

гдѣ e разстояніе между центрами тяжести обоихъ тѣлъ, массы которыхъ равны M_1 и M_2.

НТБ ДНУЗТ

5. Подъ **моментомъ инерціи** однороднаго геометрическаго тѣла, отнесеннаго къ нѣкоторой оси, разумѣютъ сумму произведеній частицъ объема на квадраты ихъ разстояній до этой оси.

Соотвѣтственныя значенія имѣютъ **моменты инерціи** (однородныхъ) **площадей** и **линій**.

6. Моменты инерціи плоскихъ фигуръ.

1. **Экваторіальнымъ моментомъ инерціи** плоской фигуры наз. ея моментъ инерціи относительно оси, **лежащей въ** плоскости фигуры (экваторіальной оси). **Полярнымъ моментомъ инерціи** плоской фигуры наз. ея моментъ инерціи относительно оси, **перпендикулярной** къ плоскости фигуры (полярной оси).

Полярный моментъ инерціи фигуры равенъ суммѣ двухъ экваторіальныхъ моментовъ инерціи относительно какихъ-либо двухъ взаимно перпендикулярныхъ экваторіальныхъ осей, пересѣкающихся на полярной оси: $J_p = J_x + J_y$.

2. **Центробѣжнымъ моментомъ инерціи** плоской фигуры F относительно двухъ осей, лежащихъ въ плоскости фигуры, наз. выраженіе:

$$J_{xy} = \int xy \,.\, dF,$$

гдѣ x и y — разстоянія частицы площади dF отъ обѣихъ осей. Всякія двѣ оси, для которыхъ $J_{xy} = 0$, наз. **сопряженными**; если эти оси взаимно-перпендикулярны, то онѣ наз. **главными**.

Ось симметріи и всякая параллель направленію симметріи представляютъ всегда сопряженныя оси. Если направленіе симметріи перпендикулярно къ оси симметріи, то послѣдняя со всякой параллелью направленію симметріи являются главными осями.

3. Отложимъ на каждой изъ осей, проходящихъ черезъ какую-либо точку плоской фигуры, отрѣзки обратно пропорціональные плечамъ соотвѣтственныхъ экваторіальныхъ моментовъ инерціи; тогда полученныя точки будутъ лежать на **эллипсѣ инерціи**, главныя оси котораго соотвѣтствуютъ обоимъ главнымъ моментамъ инерціи. Та изъ главныхъ осей, для которой моментъ инерціи $J_{max} = A$, назыв. **первой**, другая же, для которой моментъ инерціи $J_{min} = B$, наз. **второй** главною осью.

4. Назовемъ плечи инерціи обоихъ главныхъ моментовъ инерціи черезъ a и b; тогда уравненіе эллипса инерціи, отнесенное къ главнымъ осямъ, будетъ:

$$b^2 x^2 + a^2 y^2 = k^2;$$

болѣе простая форма будетъ:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

если принять $k = ab$ (см. стр. 103). При этомъ предположеніи, плечо инерціи относительно произвольной оси равно разстоянію

НТБ ДНУЗТ

оси отъ параллельной ей касательной къ эллипсу инерціи. Полуоси равны плечамъ инерціи a и b.

Если центръ тяжести S плоской фигуры совпадаетъ съ началомъ координатъ O, то эллипсъ инерціи назыв. **центральнымъ эллипсомъ.**

5. **Перемѣна осей.**

α) Вращеніе. Если моменты инерціи J_x, J_y, J_{xy} плоской фигуры отнесены къ двумъ произвольнымъ прямоугольнымъ осямъ OX и OY, то для новой оси, составляющей съ OX уголъ α, будемъ имѣть:

$$J_a = J_x \cos^2\alpha + J_y \sin^2\alpha - J_{xy} \sin 2\alpha.$$

Положеніе главныхъ осей находится на основаніи обоихъ угловъ α_0, образуемыхъ ими съ осью x-овъ и опредѣлямыхъ изъ:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{2 J_{xy}}{J_y - J_x}.$$

Если главныя оси выбрать осями координатъ такъ, что $J_{xy} = 0$ (см. 2), и $J_x = A$, $J_y = B$ (см. 3), тогда проще:

$$J_a = A \cos^2\alpha + B \sin^2\alpha.$$

β) Параллельное перемѣщеніе. Если J_s моментъ инерціи относительно произвольной оси, проходящей черезъ центръ S тяжести плоской фигуры F, то имѣемъ для оси, ей параллельной и удаленной отъ нея на разстояніе e (см. **4.**, стр. 182):

$$J = J_s + Fe^2 \text{ и также } J_s = J - Fe^2.$$

6. Вычисленіе J_{xy} относительно двухъ взаимно-перпендикулярныхъ осей.

α) Если J'_{xy} относится къ двумъ взаимно-перпендикулярнымъ осямъ SX' и SY', проходящимъ черезъ центръ тяжести плоской фигуры F, то J_{xy} для двухъ новыхъ осей OX и OY, параллельно передвинутыхъ на ξ, η, будемъ имѣть:

$$J_{xy} = J'_{xy} + F\xi\eta.$$

Для главныхъ осей прямоугольника (какъ осей симметріи) $J'_{xy} = 0$, поэтому для площади, составленной изъ отдѣльныхъ прямоугольниковъ f_1, f_2, f_3 съ параллельными сторонами, относительно осей, параллельныхъ этимъ сторонамъ, имѣемъ точно:

$$J_{xy} = \Sigma f\xi\eta.$$

Разлагая произвольную площадь на узкія полоски f, параллельныя оси OX или OY, можемъ эти полоски принять за прямоугольники, и тогда достаточно точно:

$$J_{xy} = \int xy\,.\,df \backsim \Sigma f\xi\eta$$

β) J_{xy} получается также изъ перваго уравненія въ **5.**, если непосредственно опредѣлить J_α относительно оси, наклоненной подъ угломъ $\alpha = 45^0$; тогда $J_{xy} = {}^1/_2\,(J_x + J_y) - J_\alpha$.

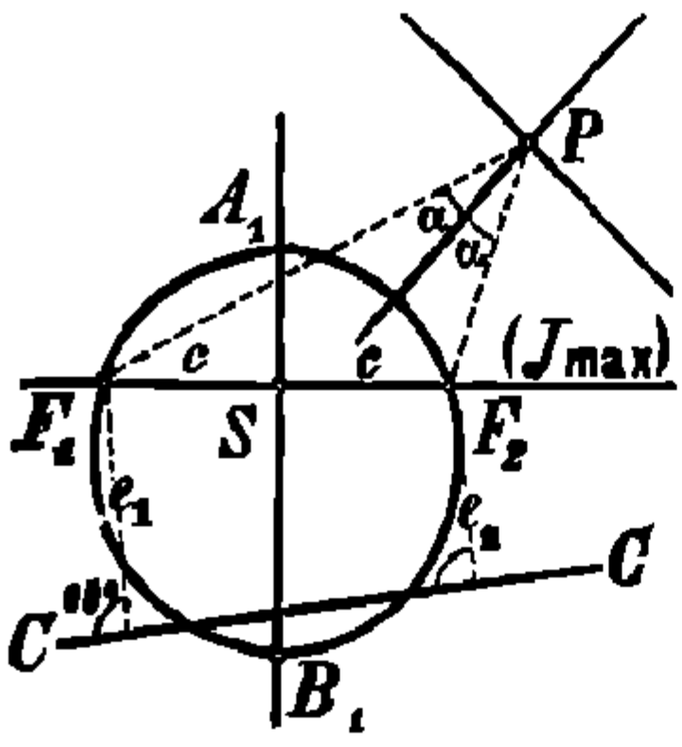
НТБ ДНУЗТ

7. Откладывая на первой главной оси, проходящей черезъ центръ тяжести (см. 3, стр. 183), отъ центра тяжести по обѣ его стороны длину c, опредѣленную изъ $A - B = Fc^2$ (черт. 111), получаемъ **постоянныя точки** F_1 и F_2 сѣченія F. Для этихъ постоянныхъ точекъ всѣ моменты инерціи относительно всѣхъ осей, черезъ эти точки проходящихъ, имѣютъ постоянную величину A. Графически (по Роберту Ланду) постоянныя точки находятся какъ точки пересѣченія круга, описаннаго на $A_1 B_1$ какъ на діаметрѣ, причемъ

$$SA_1 = \frac{A - B}{n} \quad \text{и} \quad SB_1 = \frac{n}{F}$$

(n нѣкоторая, соотвѣтственно выбранная, величина третьей степени).

Черт. 111.



При помощи постоянныхъ точекъ находится моментъ инерціи J для любой оси CC въ плоскости сѣченія F по:

$$J = A + Fe_1 e_2,$$

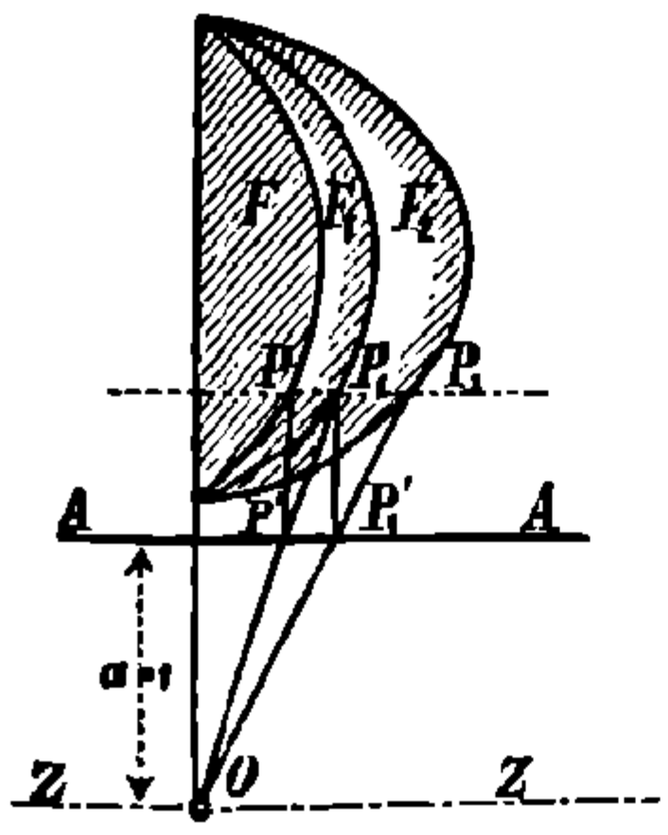
гдѣ e_1 и e_2 разстоянія постоянныхъ точекъ F_1 F_2 отъ CC.

Для любой точки плоскости P главныя оси дѣлятъ пополамъ углы между прямыми PF_1 и PF_2.

b. Графическое опредѣленіе моментовъ инерціи.

1. Способъ Нейля *).

Черт. 112.



Проводимъ (черт. 112) ось ZZ, относительно которой ищется моментъ инерціи площади F, и прямую AA на разстояніи $a = 1$. Черезъ каждую точку P кривой, ограничивающей площадь F, проводимъ прямыя, параллельныя ZZ, опускаемъ перпендикуляръ PP' на AA и проводимъ $OP'P_1$, опускаемъ перпендикуляръ P_1P_1' и проводимъ $OP_1'P_2$. Точки P_1 и P_2 опредѣляютъ двѣ кривыя, ограничивающія площади F_1 и F_2. Моментъ инерціи площади F относительно оси ZZ будетъ: $J_z = F_2$, тогда какъ F_1 есть статическій моментъ площади F относительно оси ZZ.

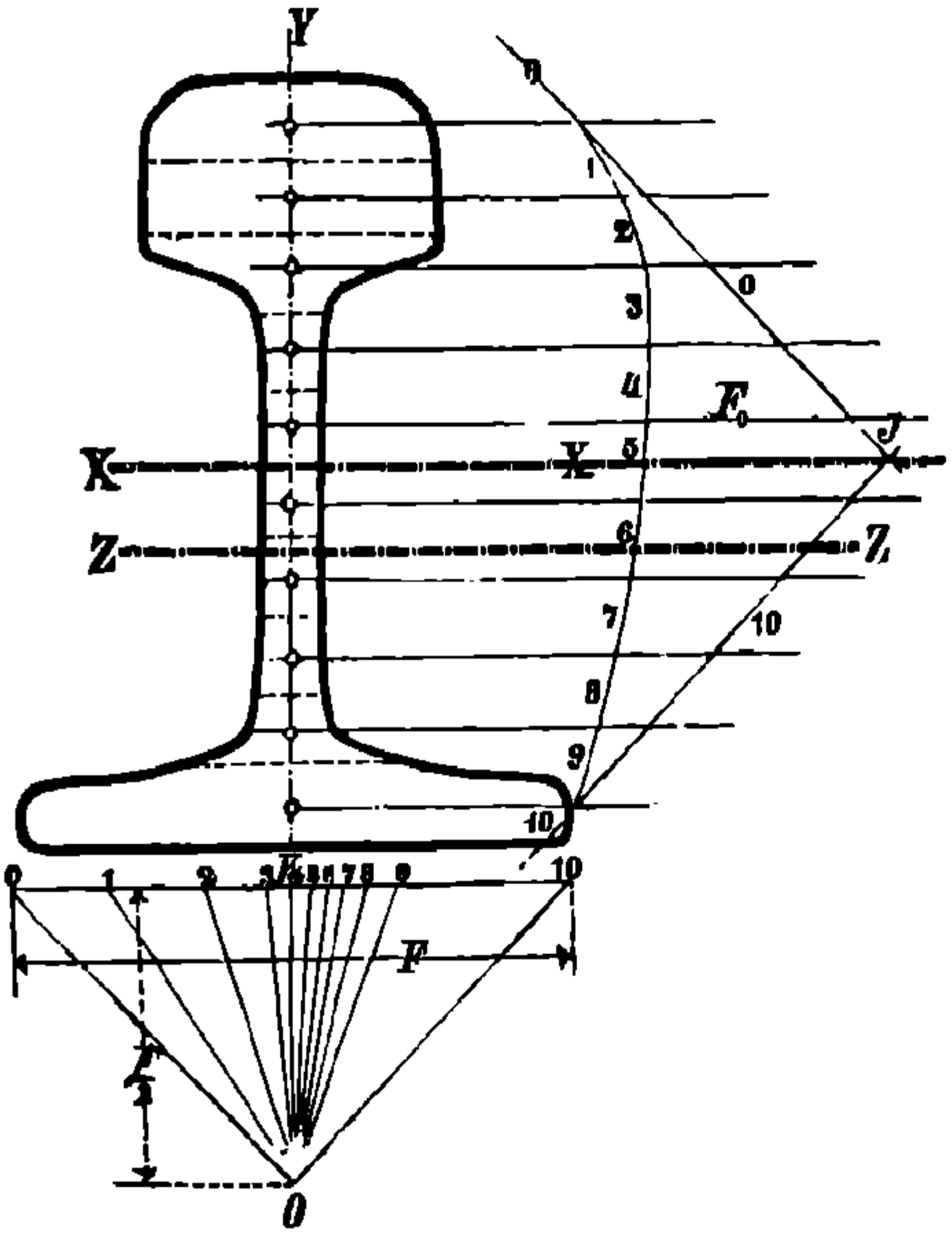
---

*) См. Chr. Nehls, Graphisch-mechanische Bestimmung von statischen und Trägheitsmomenten, Deutche Bauztg. и Civilingenieur 1874; его же, Ueber graphisch-mechanisches Integrieren, Civilingenieur 1875; его же, Ueber graphische Integration und ihre Anwendung in der graphischen Statik, Dresden 1877; его же статья въ Zeitschr. f. Bauwesen 1879 и 1889.

НТБ ДНУЗТ

2. Способъ Мора.

Черт. 113.



Данное сѣченіе дѣлимъ посредствомъ ряда прямыхъ параллельныхъ той оси ZZ (черт. 113), относительно которой ищется моментъ инерціи, на узкія полосы, и найденныя площади откладываемъ въ видѣ отрѣзковъ 01, 12, 9 10 на прямой, параллельной оси ZZ; вообразимъ себѣ площади этихъ полосъ, какъ силы, дѣйствующія въ центрахъ тяжести соотвѣтственыхъ полосъ. Построимъ многоугольникъ этихъ силъ, принявъ полюсъ въ O, причемъ

$$\frac{F}{2} = \frac{O\,10}{2},$$

гдѣ F общая площадь сѣченія, и веревочный многоугольникъ. Въ пересѣченіи крайнихъ сторонъ послѣдняго находимъ точку J для оси центра тяжести XX. Площадь F_0, ограниченная прямыми 0,10 и сторонами многоугольника, помноженная на площадь F даннаго сѣченія, даетъ моментъ инерціи относительно оси X, параллельной оси ZZ; итакъ, $J_x = F.F_0$. Имѣя величину J_x, можно легко (см. 5. β. стр. 184) опредѣлить J_z.

c. Кругъ инерціи по Моръ-Ланду *).

1. Если даны для двухъ прямоугольныхъ осей OX и OY (черт. 114) моменты инерціи J_x и J_y и центробѣжный моментъ J_{xy} (см. стр. 183), то откладываемъ (по Р. Ланду) $OC = J_x$ и $CD = J_y$, далѣе $CT = J_{xy}$ и параллельно OX; описываемъ на линіи OD $(= J_x + J_y = J_p$, полярному моменту инерціи), какъ на діаметрѣ, кругъ, тогда этотъ кругъ будетъ **кругомъ инерціи** для полюса O, т. е. для всѣхъ проходящихъ черезъ O осей; короче его можно назвать кругомъ J^o. Діаметръ ATB, проходящій черезъ точку T

*) См. Civilingenieur, 1887, стр. 43, и 1888, стр. 123; кромѣ того, Zeitschr. für Bauwesen, 1892, стр. 550.

НТБ ДНУЗТ

(главную точку инерціи), представляетъ обѣ главныя оси инерціи: OA съ $J_{max} = TA$ и OB съ $J_{min} = TB$.

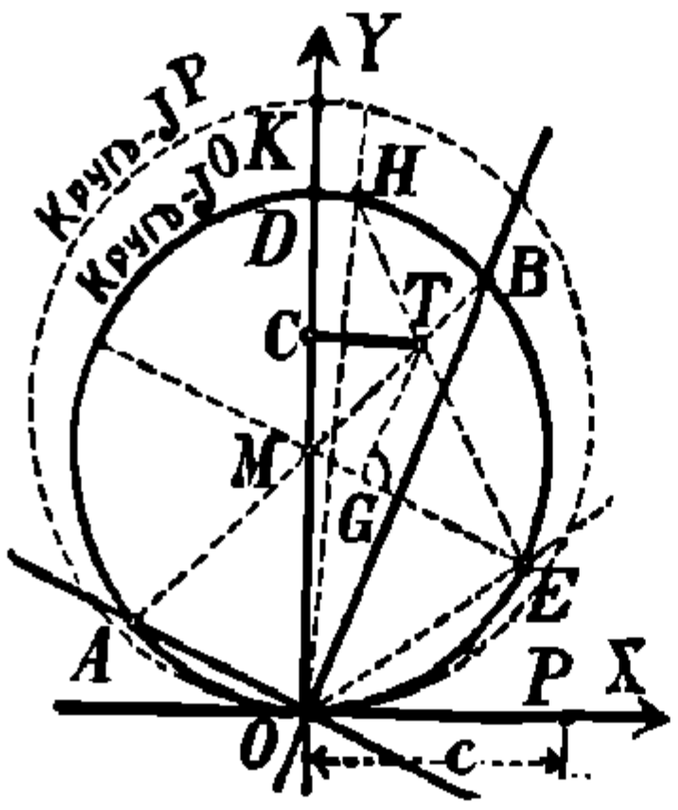
Моментъ инерціи J_e для произвольной оси OE равенъ EG, проекціи ET на діаметръ EM.

Центробѣжный моментъ относительно двухъ произвольныхъ осей, проходящихъ черезъ O, равняется перпендикуляру, опущенному изъ T на хорду круга, соединяющую концы обѣихъ осей (напр., для OE и ей перпендикулярной равняется TG). Поэтому каждыя двѣ сопряженныя оси, напримѣръ OE и OH, имѣютъ свою хорду, проходящую черезъ T.

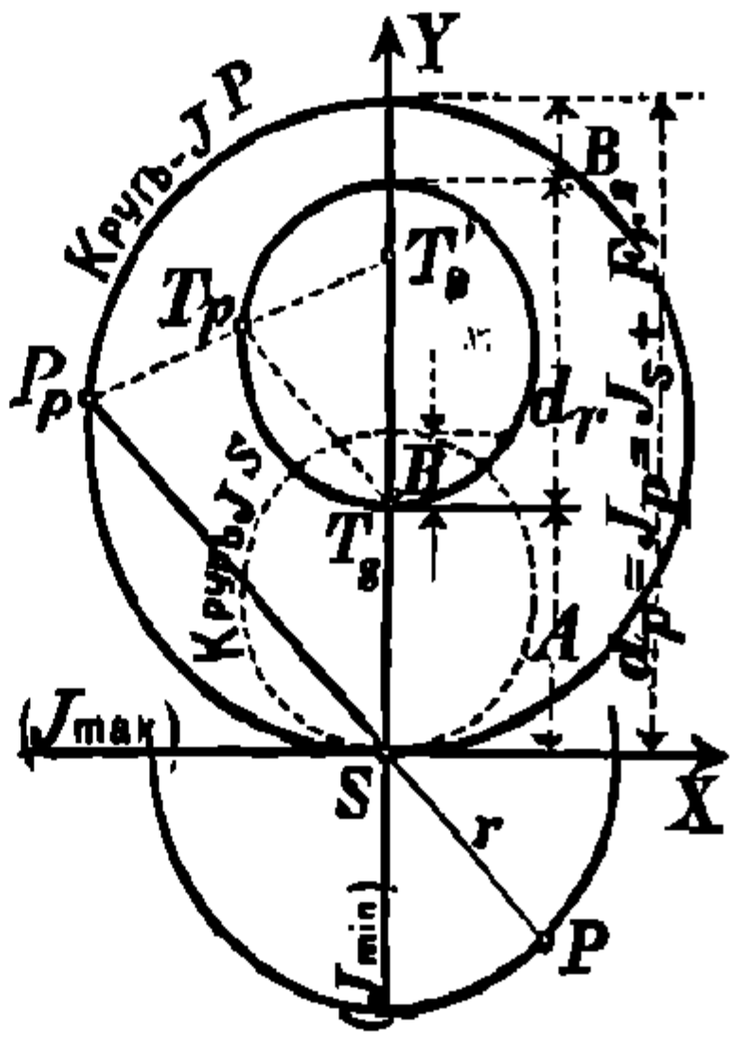
2. Измѣненіе полюса (по Роб. Ланду).

1. Если начерченъ кругъ инерціи съ главной точкой T для центра тяжести S, какъ для осевого и кругового полюсовъ, т. е. если въ черт. 114 O представляетъ центръ тяжести площади F, то

Черт. 114.



Черт. 115.



для всякаго другаго полюса P на линіи OX (т. е. для всѣхъ проходящихъ черезъ P осей) соотвѣтствующій кругъ инерціи (кругъ J^P) съ круговымъ полюсомъ O равенъ кругу діаметра OK (OK представляетъ полярный моментъ инерціи $J_p = J_s + Fc^2$, гдѣ J_s полярный моментъ инерціи для центра тяжести $= J_x + J_y$, и $OP = c$). Главная точка T остается неизмѣнемой; всѣ оси, проходящія черезъ полюсъ P, слѣдуетъ перемѣщать параллельно до круговаго полюса O и по предыдущему получить соотвѣтствующія значенія J изъ круга J^P.

2. Если SX и SY (черт. 115) главныя оси инерціи, проходящія черезъ S, причемъ $J_{max} = A$ для SX и $J_{min} = B$ для SY (см. стр. 183); если, далѣе, начертить для нѣкотораго измѣняющагося полюса P круги J^P всѣ съ полюсомъ S и соотвѣтствующихъ діаметровъ $d_p = J_p =$ полярному моменту инерціи для P, и если T_s главная точка для круга J^S, то имѣемъ слѣдующее:

Если P движется по кругу радіуса $SP = r$, то соотвѣтствующіе круги J^P совпадаютъ и образуютъ постоянный кругъ діаметра

НТБ ДНУЗТ

$d_p = J_p = J_s + Fr^2$. Соотвѣтствующія точки T_p перемѣщаются по другому кругу, проходящему черезъ T_s, діаметра $d_r = Fr^2$ на оси y; этотъ кругъ отсѣкаетъ на діаметрѣ круга J^P отрѣзки A и B. При данномъ P получаемъ T_p, проводя $T_s T_p$ параллельно PS. Если кругъ J^P пересѣкаетъ PS въ точкѣ P_p, то всѣ прямыя $P_p T_p$ пересѣкаются въ постоянной точкѣ T'_s на линіи SY; эта точка дѣлитъ діаметръ d_r въ отношеніи $A : B$.

d. Моменты инерціи линій, фигуръ и тѣлъ.

(Подробныя данныя о моментахъ инерціи употребительныхъ сѣченій см. въ IV отдѣлѣ, сопротивленіе матеріаловъ — сопротивленіе изгибу, равно и въ VIII отдѣлѣ, строит. матеріалы).

Въ нижеслѣдующемъ M означаетъ общую массу фигуры. Тѣла и фигуры предположены однородныя, такъ что $\sigma = g$ (см. стр. 194) такъ что M соотвѣтствуетъ поверхности и соотв. объему тѣла. (См. стр. 131).

Указатель при J указываетъ ось, относительно которой берется моментъ инерціи J. — J' обозначаетъ полярный моментъ инерціи. Въ тѣлахъ полярная ось ZZ соотвѣтствуетъ оси центра тяжести, экваторіальная ось QQ (мом. инерціи J_q) перпендикулярна къ ней и проходитъ черезъ центръ тяжести.

1. **Прямая линія** длиною $2l$, образующая съ осью x уголъ α, средина ея лежитъ на оси вращенія:

$$J_x = {}^1/_3 M (l \sin \alpha)^2 = {}^2/_3 l^3 \sin^2 \alpha.$$

Для $\alpha = 90^0$ (т.-е. если прямая $\perp$ къ оси):

$$J_x' = {}^1/_3 M l^2 = {}^2/_3 l^3.$$

Для прямой линіи длиною l, конецъ которой лежитъ на оси x:

$$J_x = {}^1/_3 M (l \sin \alpha)^2 = {}^1/_3 l^3 \sin^2 \alpha; \qquad J_x' = {}^1/_3 M l^2 = {}^1/_3 l^3.$$

2. **Окружность** (черт. 116): $J_o' = Mr^2 = 2\pi r^3$; $J_d = {}^1/_2 J_o'$.

Черт. 116.

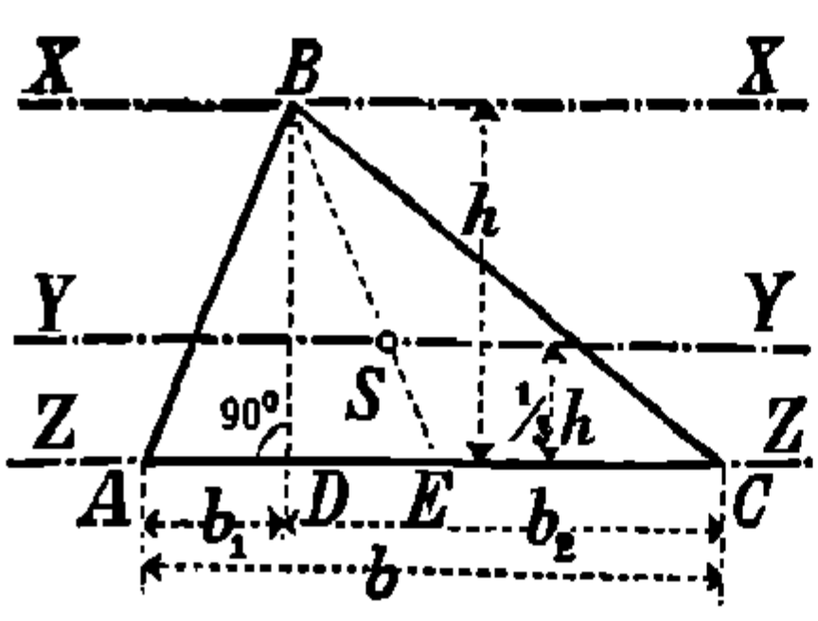
Дуга круга. Если φ — центральный уголъ въ градусахъ, то:

$$J_o' = Mr^2 = \pi r^3 (\varphi : 180) = 0{,}017\,45\, \varphi r^3.$$

Полуокружность: $J_o' = Mr^2 = \pi r^3$.

3. **Треугольникъ**. S — центръ тяжести треугольника (черт. 117).

Черт. 117.



$$J_x = {}^1/_2 M h^2 = {}^1/_4 b h^3;$$
$$J_y = {}^1/_{18} M h^2 = {}^1/_{36} b h^3;$$
$$J_z = {}^1/_6 M h^2 = {}^1/_{12} b h^3;$$
$$J'_B = {}^1/_4 b h^3 + {}^1/_{12} (b_1^3 + b_2^3) h;$$
$$J'_E = {}^1/_{12} b h^3 + {}^1/_4 (b_1^3 + b_2^3) h - {}^1/_{24} b h [8 (b_1^2 + b_2^2) - 3 b^2];$$
$$J'_S = {}^1/_{36} b h^3 + {}^1/_{12} h (b_1^3 + b_2^3) - {}^1/_{18} b h [2 (b_1^2 + b_2^2) - b^2].$$

4. **Четыреугольникъ** (ср. стр. 131, черт. 32):

$$J_D = {}^1/_{12} D (h_1^3 + h_2^3).$$

НТБ ДНУЗТ

Параллелограммъ (обозначенія см. стр. 132):

$$J_D = {}^1/_{48}\, D\,(D_1 \sin\varphi)^3.$$

Ромбъ: $J_D = {}^1/_{48}\, D\, D_1^3$.

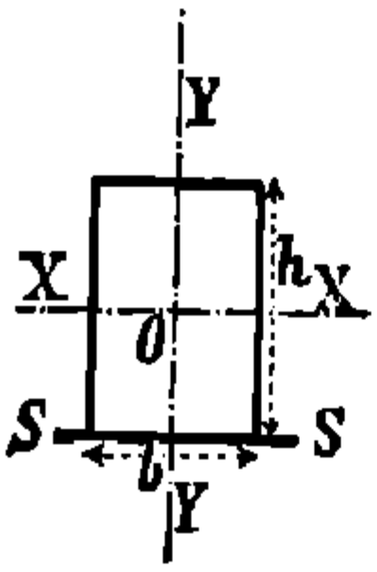
5. Прямоугольникъ (см. стр. 132 и черт. 118):

$J_D = {}^1/_{48}\, D^4 \sin^3\varphi$.

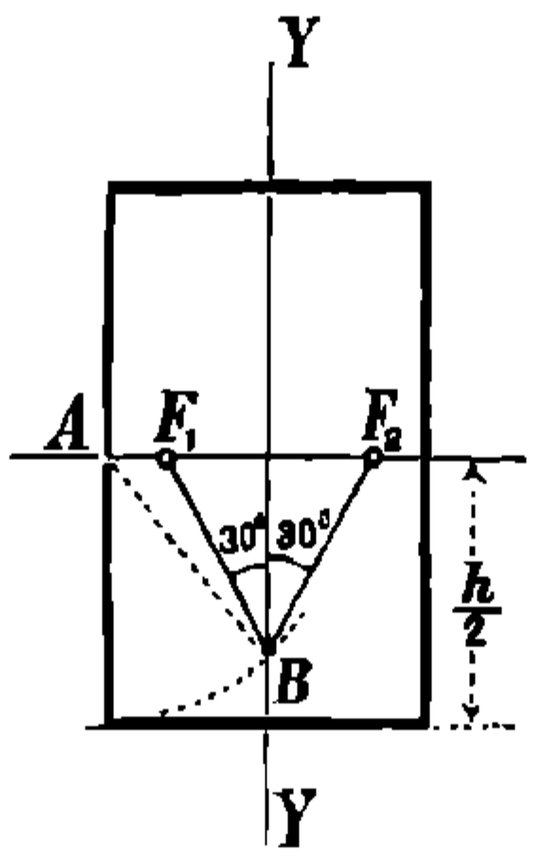
$J_x = {}^1/_{12}\, M h^2 = {}^1/_{12}\, b h^3$; $J_y = {}^1/_{12}\, M b^2 = {}^1/_{12}\, b^3 h$.

$J_o' = {}^1/_{12}\, M(b^2 + h^2) = {}^1/_{12}\,(b^3 h + b h^3)$; $J_s = {}^1/_3\, M h^2 = {}^1/_3\, b h^3$

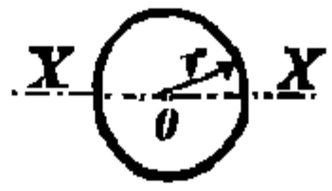
Черт. 118.



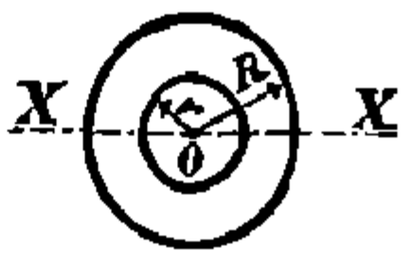
Черт. 119.



Черт. 120.



Черт. 121.



Для произвольной оси экваторіальный моментъ инерціи опредѣляется всего удобнѣе при помощи постоянныхъ точекъ F_1 и F_2 по 7., стр. 185. F_1 и F_2 находятся по чертежу 119, если сдѣлать $AB = {}^1/_2\, h$ и провести BF_1 и BF_2 подъ угломъ 30° къ YY.

Квадратъ; сторона $= h$:

$J_x = J_y = {}^1/_{12} h^4$; $J_o' = {}^1/_6\, h^4$; $J_s = {}^1/_3\, h^4$; $J_D = {}^1/_{12}\, h^4 = J_x$.

6. Правильный многоугольникъ. Если F площадь, a сторона, R радіусъ описаннаго, r радіусъ вписаннаго круга, то для всякой, проходящей черезъ центръ O, экваторіальной оси:

$$J_x = {}^1/_{24}\, F(6R^2 - a^2) = {}^1/_{48}\, F(12 r^2 + a^2);$$
$$J_o' = 2\, J_x.$$

7. Площадь круга (черт. 120). Діаметръ $= d$.

$J_x = {}^1/_4\, M r^2 = {}^1/_4\, \pi r^4 = {}^1/_{64}\, \pi d^4$; $J'_o = {}^1/_2\, M r^2 = {}^1/_2\, \pi r^4$.

Полукругъ: $J_x = J_y = {}^1/_4\, M r^2 = {}^1/_8\, \pi r^4$.

Для центра O: $J_o' = {}^1/_2\, M r^2 = {}^1/_4\, \pi r^4$.

Для центра тяжести S:

$$J_s' = {}^1/_2\, M r^2 \left(1 - \frac{32}{9\pi^2}\right) = 0{,}6396\, M r^2 = {}^1/_4\, r^4 \left(\pi - \frac{32}{9\pi}\right) = 2{,}0098\, r^4.$$

8. Кольцевая площадь (круговая), черт. 121. Средній радіусъ $= \varrho$, ширина кольца $= \delta$.

$$J_x = {}^1/_4\, M(R^2 + r^2) = {}^1/_4\, \pi(R^4 - r^4) = \pi \varrho \delta (\varrho^2 + {}^1/_4\, \delta^2).$$
$$J_o' = 2\, J_x = {}^1/_2\, M(R^2 + r^2) = {}^1/_2\, \pi(R^4 - r^4).$$

Часть кольцевой площади (ср. черт. 105, стр. 177). Средній радіусъ $= \varrho$, ширина кольца $= \delta$, половина центральнаго угла α въ град. Для полярной оси въ центрѣ M имѣемъ:

НТБ ДНУЗТ

$$J'_m = {}^1/_2\, M(R^2 + r^2) = \frac{\pi\alpha}{360}(R^4 - r^4) = M(\varrho^2 + {}^1/_4\,\delta^2) =$$

$$\frac{\pi\alpha}{90}\varrho\,\delta(\varrho^2 + {}^1/_4\,\delta^2).$$

Половина кольцевой площади:

$$J'_m = {}^1/_2\, M(R^2 + r^2) = {}^1/_4\,\pi(R^4 - r^4) = \pi\varrho\,\delta(\varrho^2 + {}^1/_4\,\delta^2).$$

9. Круговой сегментъ (обозначенія см. черт. 96, стр. 174). α половина центральнаго угла въ град. Для MS, какъ для оси x, имѣемъ:

$$J_x = {}^1/_4\, Mr^2\left(1 - \frac{2}{3}\,\frac{\sin^3\alpha\cos\alpha}{\frac{\pi\alpha}{180} - \sin\alpha\cos\alpha}\right)$$

Для оси y, перпендикулярной къ MS въ точкѣ M:

$$J_y = {}^1/_4\, Mr^2\left(1 + \frac{2\sin^3\alpha\cos\alpha}{\frac{\pi\alpha}{180} - \sin\alpha\cos\alpha}\right)$$

Для центра M: $J'_m = J_x + J_y$.

Для центра тяжести S: $J_s = J'_m - M.\overline{MS}^2$.

$M = F$ см. стр. 133; $\overline{MS}$ см. стр. 177, **6.**

10. Круговой секторъ (см. черт. 103, стр. 177).

Если секторъ составляетъ n-ую часть площади круга, α половина центральнаго угла въ градусахъ, то имѣемъ для полярной оси въ центрѣ M:

$$J'_m = {}^1/_2\, Mr^2 = {}^1/_4\, br^3 = \frac{\pi\alpha}{360}r^4 = \frac{\pi r^4}{2n};$$

для полярной оси въ центрѣ тяжести S:

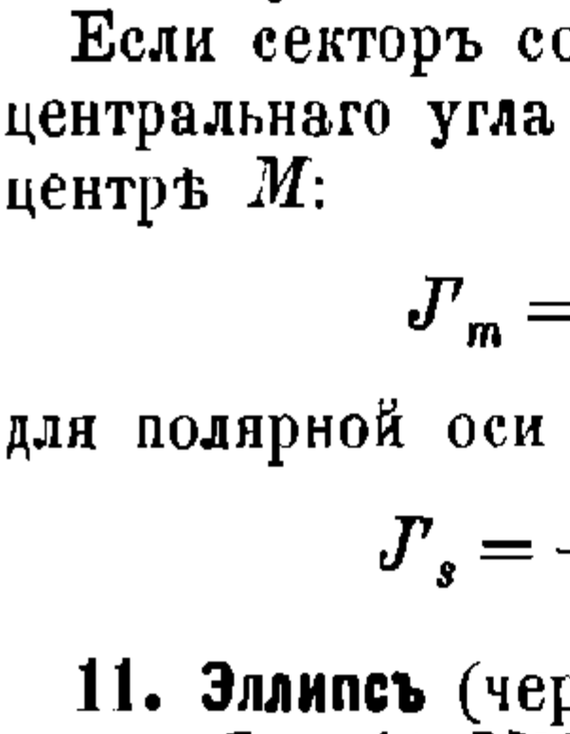
$$J_s = \frac{r^4}{4}\left(\frac{\pi\alpha}{90} - \frac{320\sin^2\alpha}{\pi\alpha}\right) = \frac{r^3}{4}\left(b - \frac{8}{9}\,\frac{s^2}{b}\right).$$

11. Эллипсъ (черт. 123).

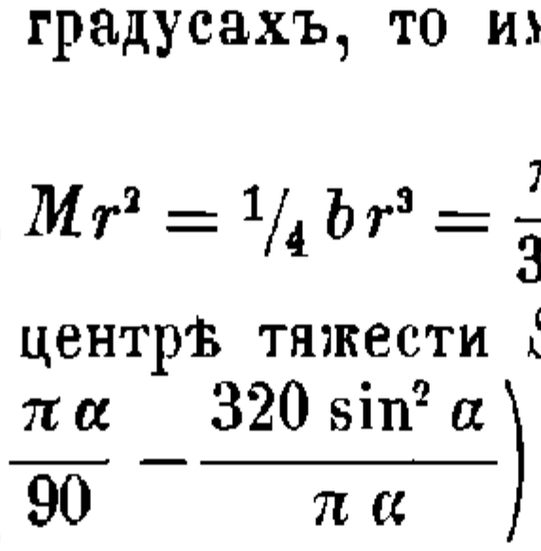
$$J_x = {}^1/_4\, Mb^2 = {}^1/_4\,\pi ab^3. \qquad J_y = {}^1/_4\, Ma^2 = {}^1/_4\,\pi a^3 b;$$

$$J'_0 = {}^1/_4\, M(a^2 + b^2) = {}^1/_4\,\pi a^3 b\left(1 + \frac{b^2}{a^2}\right).$$

Черт. 122.



Черт. 123.



Для половины и четверти эллипса моменты инерціи относительно тѣхъ же осей равны соотвѣтственно половинѣ или четверти полученныхъ выше величинъ.

12. Парабола (черт. 122).

НТБ ДНУЗТ

$J_x = {}^1/_5\, Mb^2 = {}^4/_{15}\, ab^3$;
$J_y = {}^3/_7\, Ma^2 = {}^4/_7\, a^3b$; $\qquad J_z = {}^8/_{35}\, Ma^2 = {}^{32}/_{105}\, a^3b$;
$J'_o = {}^1/_5\, M({}^8/_7\, a^2 + b^2) = {}^4/_{105}\, ab\,(8\,a^2 + 7\,b^2)$.

Для половины параболы моменты инерціи равны половинѣ приведенныхъ величинъ.

Для всей параболы, относительно полярной оси, проходящей черезъ центръ тяжести S:

$$J'_s = {}^1/_{175}\, M(12\,a^2 + 35\,b^2) = {}^{16}/_{175}\, a^3b + {}^4/_{15}\, ab^3.$$

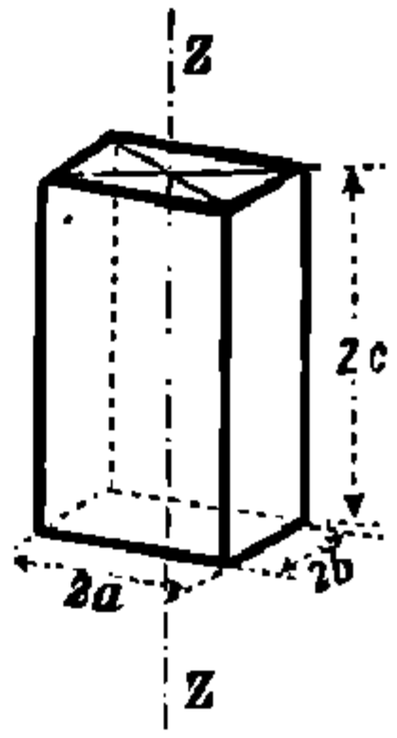
Для половины параболы:

$$J'_s = {}^1/_{175}\, M(12\,a^2 + 35\,b^2) - {}^9/_{64}\, Mb^2 = {}^8/_{175}\, a^3b + {}^{19}/_{480}\, ab^3.$$

13. Для **произвольной площади** $ABCD$ (см. черт. 108, стр. 178) величины моментовъ инерціи относительно осей x и y опредѣляются приблизительно на основаніи правила Симпсона (стр. 134);

$$J_x = {}^1/_9\, h\,(y_0^3 + 4\,y_1^3 + 2\,y_2^3 + 4\,y_3^3 + \ldots 4\,y^3_{2n-1} + y^3_{2n});$$
$$J_y = {}^1/_3\, h^3[1^2.4\,y_1 + 2^2.2\,y_2 + 3^2.4\,y_3 + \ldots + (2n-1)^2.4\,y_{2n-1} + (2n)^2.y_{2n}].$$

14. **Прямая призма** и **прямой цилиндръ** площадью сѣченія F и высотою h. Полярная ось ZZ проходитъ черезъ центръ тяжести S и $\parallel$ ребрамъ; экваторіальная ось QQ перпендикулярна въ точкѣ S къ оси ZZ. Моменты инерціи площади F относительно $QQ = i_q$, относительно $ZZ = i'_z$.



Черт. 124.

Для призмы или цилиндра:

$$J_q = {}^1/_{12}\, Fh^3 + hi_q; \qquad J'_z = hi'_z.$$

15. **Прямоугольный параллелепипедъ** (черт. 124):

$$J'_z = {}^1/_3\, M(a^2 + b^2) = {}^8/_3\, abc\,(a^2 + b^2).$$

Для экваторіальной оси QQ, проходящей черезъ центръ тяжести и $\parallel 2a$:

$$J_q = {}^1/_3\, M(b^2 + c^2) = {}^8/_3\, abc\,(b^2 + c^2).$$

Кубъ (сторона $= a$): $\quad J'_z = J_q = {}^1/_6\, a^5$.

16. **Прямоугольная пирамида**. Основаніе — прямоугольникъ со сторонами a и b; высота $= h$. Для полярной оси ZZ:

$$J'_z = {}^1/_{20}\, M(a^2 + b^2) = {}^1/_{60}\, abh\,(a^2 + b^2).$$

Для экваторіальной оси QQ, проходящей черезъ центръ тяжести и $\parallel a$:

$$J_q = {}^1/_{20}\, M({}^3/_4\, h^2 + b^2) = {}^1/_{60}\, abh\,({}^3/_4\, h^2 + b^2).$$

17. **Прямой круглый цилиндръ**. Радіусъ основанія $= r$; высота $= h$:

$$J'_z = {}^1/_2\, Mr^2 = {}^1/_2\, \pi r^4 h;$$
$$J_q = M({}^1/_{12}\, h^2 + {}^1/_4\, r^2) = {}^1/_4\, \pi r^2 h\,({}^1/_3\, h^2 + r^2).$$

Боковая поверхность цилиндра:

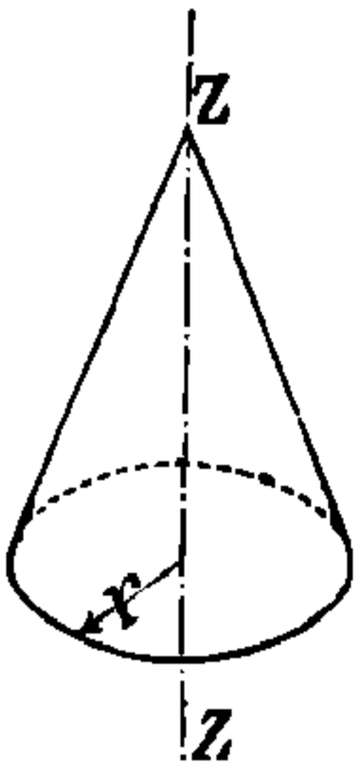
$$J'_z = Mr^2 = 2\pi r^3 h; \qquad J_q = {}^1/_2\, M(r^2 + {}^1/_6\, h^2).$$

НТБ ДНУЗТ

18. Полый цилиндръ. R и r наружній и внутренній радіусы, h высота, $s = R - r$ толщина, $\varrho = {}^1/_2 (R + r)$ средній радіусъ.

$$J'_z = {}^1/_2 M (R^2 + r^2) = {}^1/_2 \pi h (R^4 - r^4) = M (\varrho^2 + {}^1/_4 s^2) = \\ = 2 \pi h s \varrho (\varrho^2 + {}^1/_4 s^2).$$

Черт. 125.



$$J_q = {}^1/_4 M (R^2 + r^2 + {}^1/_3 h^2) = {}^1/_8 M (4 \varrho^2 + s^2 + {}^2/_3 h^2).$$

19. Прямой круглый конусъ (черт. 125). Высота $= h$; образующая $= s$.

$$J'_z = {}^3/_{20} M r^2 = {}^1/_{10} \pi r^4 h.$$

Для экваторіальной оси $Q Q$, проходящей черезъ центръ тяжести:

$$J_q = {}^3/_{20} M (r^2 + {}^1/_4 h^2) = {}^1/_{20} \pi r^2 h (r^2 + {}^1/_4 h^2).$$

Боковая поверхность конуса:

$$J'_z = {}^1/_2 M r^2 = {}^1/_2 \pi r^3 s.$$

20. Усѣченный конусъ (черт. 126). Высота $= h$, образующая s.

$$J'_z = {}^3/_{10} M \frac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3} = {}^1/_{10} \pi h \frac{R^5 - r^5}{R - r}.$$

$$= {}^1/_{10} \pi h (R^4 + R^3 r + R^2 r^2 + R r^3 + r^4).$$

Боковая поверхность усѣченнаго конуса:

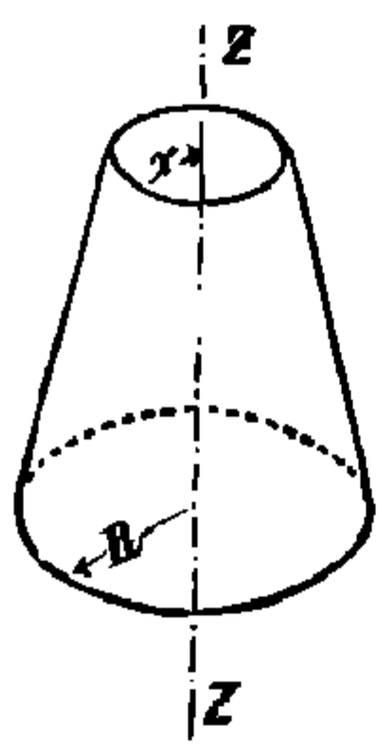
$$J'_z = {}^1/_2 M (R^2 + r^2) = {}^1/_2 \pi s \frac{R^4 - r^4}{R - r}$$

$$= {}^1/_2 \pi s (R^3 + R^2 r + R r^2 + r^3).$$

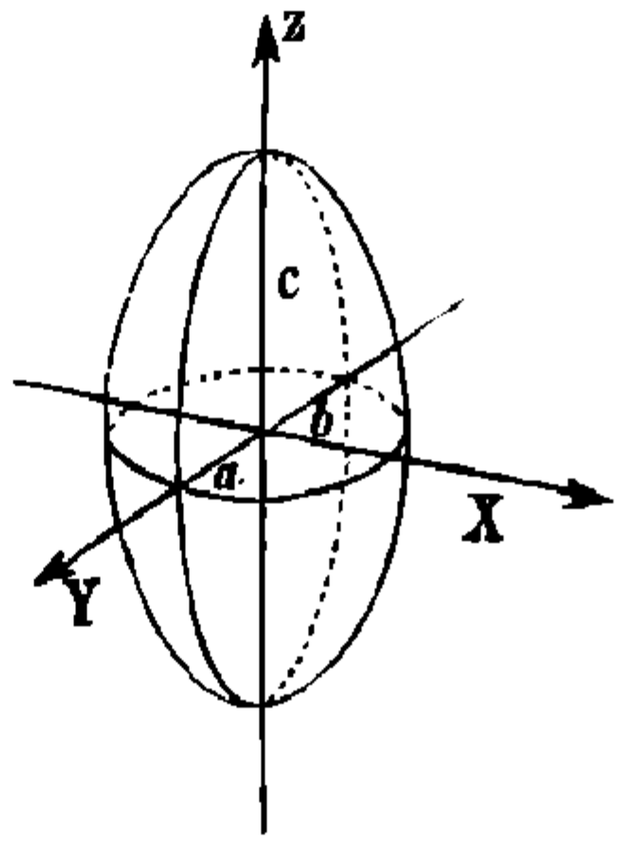
21. Шаръ. Радіусъ $= r$. Для всякаго діаметра:

$$J = {}^2/_5 M r^2 = {}^8/_{15} \pi r^5.$$

Черт. 126.



Черт. 127.



Полый шаръ. R наружній, r внутренній радіусъ:

$$J = {}^2/_5 M \frac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3} = {}^8/_{15} \pi (R^5 - r^5).$$

Полушаръ. Если начало координатъ въ центрѣ, то

$$J_x = J_y = J_z = {}^2/_5 M r^2 = {}^4/_{15} \pi r^5.$$

Поверхность шара. Для всякаго діаметра:

$$J = {}^2/_3 M r^2 = {}^8/_3 \pi r^4.$$

НТБ ДНУЗТ

22. Шаровой секторъ. Высота сегмента $= h$, радіусъ шара $= r$. Относительно оси симметріи:

$$J'_z = {}^1/_5 M(3rh - h^2) = {}^2/_{15}\pi r^2 h^2 (3r - h).$$

23. Шаровой сегментъ съ высотою $= h$; радіусъ шара $= r$. Относительно оси симметріи:

$$J'_z = Mh\frac{2r^2 - 1{,}5rh + 0{,}3h^2}{3r - h} = {}^1/_3\pi h^3(2r^2 - 1{,}5rh + 0{,}3h^2).$$

24. Трехосный эллипсоидъ (черт. 127). См. также стр. 129.

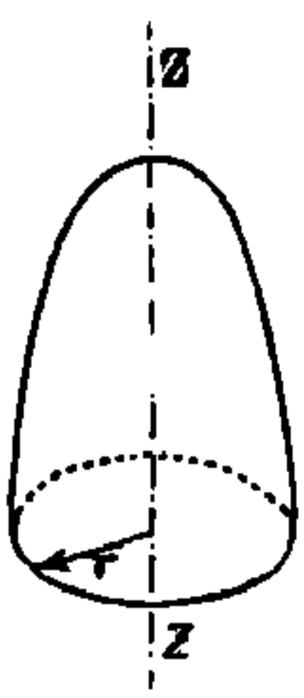
$J_z = {}^1/_5 M(a^2 + b^2) = {}^4/_{15}\pi abc(a^2 + b^2)$; точно также:
$J_x = {}^1/_5 M(b^2 + c^2)$; $J_y = {}^1/_5 M(a^2 + c^2)$.

25. Эллипсоидъ вращенія. Если a и b — полуоси, то:

если $2a$ — ось вращенія: $J_a = {}^2/_5 Ma^2 = {}^8/_{15}\pi a^3 b^2$;

если $2b$ — ось вращенія: $J_b = {}^2/_5 Mb^2 = {}^8/_{15}\pi a^2 b^3$.

Черт. 128.



26. Параболоидъ вращенія (черт. 128). Высота $= h$.

$$J'_z = {}^1/_3 Mr^2 = {}^1/_6\pi r^4 h.$$

Для экваторіальной оси $Q\,Q$, проходящей черезъ центръ тяжести:

$$J_q = {}^1/_6 M(r^2 + {}^1/_3 h^2) = {}^1/_{36}\pi r^2 h(3r^2 + h^2).$$

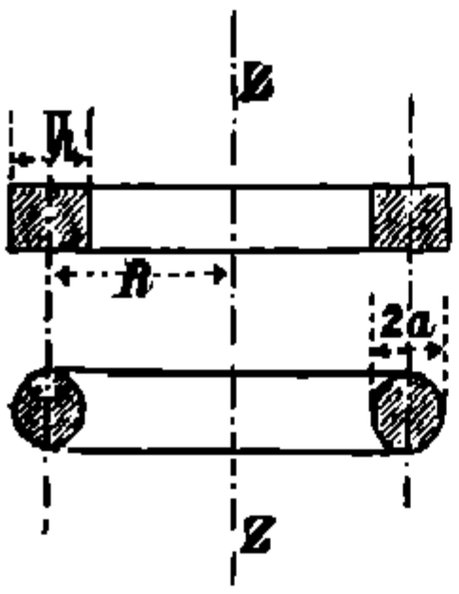
27. Кольцо (черт. 129). Экваторіальная ось проходитъ черезъ центръ тяжести кольца перпендикулярно къ оси $Z\,Z$.

Если сѣченіе кольца прямоугольникъ со сторонами h и b, то:

$$J'_z = M(R^2 + {}^1/_4 h^2) = {}^1/_2\pi b h R(4R^2 + h^2);$$

$$J_q = {}^1/_8 M(4R^2 + h^2 + {}^2/_3 b^2) = {}^1/_4\pi b h R(4R^2 + h^2 + {}^2/_3 b^2).$$

Черт. 129.



Если сѣченіе кольца кругъ радіуса a, то:

$$J'_z = M(R^2 + {}^3/_4 a^2) = {}^1/_2\pi^2 Ra^2(4R^2 + 3a^2);$$
$$J_q = {}^1/_8 M(4R^2 + 5a^2) = \pi^2 Ra^2(R^2 + {}^5/_4 a^2).$$

Если сѣченіе кольца эллипсъ съ полуосями a и b, причемъ ось $2b$ параллельна $Z\,Z$, то:

$$J'_z = M(R^2 + {}^3/_4 a^2) = {}^1/_2\pi^2 Rab(4R^2 + 3a^2);$$
$$J_q = {}^1/_8 M(4R^2 + 5b^2) = \pi^2 Rab(R^2 + {}^5/_4 b^2).$$

НТБ ДНУЗТ

III. ДИНАМИКА ТВЕРДЫХЪ ТѢЛЪ.

A. Объясненія, мѣры и основные законы.

1. Сила и масса.

Величина **силы** P, какъ причины ускоренія p свободно движущейся массы m, пропорціональна произведенію pm. При всѣхъ системахъ мѣръ выбираютъ единицы силы, массы и ускоренія такимъ образомъ, что

$$P = m\,p\,,$$ т. е. **сила = массѣ × ускореніе.**

Подъ вліяніемъ вѣса или силы притяженія земли каждое тѣло пріобрѣтаетъ ускореніе g свободно падающаго тѣла (см. стр. 150), причемъ между G, g и массою m точно также сохраняется соотношеніе

$$G = m\,g,$$

т. е. вѣсъ = массѣ × ускореніе отъ силы тяжести.

Для даннаго мѣста величина g для всѣхъ тѣлъ одна и та же, поэтому массы тѣлъ пропорціональны ихъ вѣсамъ.

Если V объемъ тѣла и σ вѣсъ единицы объема (удѣльный вѣсъ), то $G = V\,\sigma$; слѣд.

$$m = \frac{G}{g} = \frac{V\,\sigma}{g}.$$

Всѣ производныя единицы механики можно выразить черезъ три **основныя единицы**: длины, времени и массы (или силы).

Въ физической или **абсолютной системѣ мѣръ** *) приняты три основныя единицы: **сантиметръ** (cm), **секунда** (sec.) и **граммъ** (gr), т. е. масса тѣла, которое имѣетъ въ Парижѣ вѣсъ 1 граммъ. Единица силы есть **дина**, т. е. такая сила, которая единицѣ массы сообщаетъ единицу ускоренія (1 cm/sec^2 или 1 $cm.\,sec^{-2}$).

Въ технической системѣ мѣръ выбраны за основныя единицы:

Единица длины — метръ (m), **единица времени** — секунда (sec), **единица силы** — килограммъ (kg) = вѣсу 1 литра чистой воды при 4^0 C. для широты Парижа **), 1 kg = 981 000 динъ.

Отсюда находимъ, что **единица массы** ($m = G\ \ g$) есть масса тѣла вѣсомъ $= g$ kg $= 9{,}81$ kg.

2. Работа.

Произведеніе изъ силы P на путь s, пройденный матеріальной точкой по направленію этой силы, называется **механической работой** этой силы: $A = Ps$.

---

*) См. Grübler, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, стр. 830 и 1894, стр. 1482.

**) Данность для шпроты мѣста пропадаетъ, когда для измѣренія массы принимаютъ килограммъ, почему въ нѣмецкой системѣ мѣръ этой данности нѣтъ.

НТБ ДНУЗТ

Длина пути s берется съ положительнымъ знакомъ, когда проекція пути на направленіе силы имѣетъ направленіе этой послѣдней, въ противномъ случаѣ s берется съ отрицательнымъ знакомъ. Если сила перпендикулярна къ пройденному пути, то производимая ею работа равна нулю.

Единица работы въ абсолютной системѣ мѣръ есть **эргъ**, т. е. работа 1 дины на пути = 1 cm. 1 **джауль** = 10^7 эрговъ. Въ технической системѣ мѣръ единицей работы считается **нилограммометръ** (mkg), т. е. работа 1 kg на пути = 1 m.

1 mkg = 9,81 джауля и, наоборотъ, 1 джауль = 0,102 mkg. 1 mkg = 6,3724 прусскихъ фунтофутовъ = 7,2331 англ. фунтофутовъ = 5,6489 австрійскихъ фунтофутовъ (см. ч. II, приложеніе, сравненіе единицъ работъ).

Если направленіе силы во время движенія мѣняется, то необходимо брать въ каждый моментъ проекцію элемента пути ds на направленіе силы. Если уголъ между P и ds будетъ φ, то:

$$A = \int P \cos \varphi . ds,$$

интегралъ распространяется на весь пройденный путь.

Если на тѣло дѣйствуетъ нѣсколько силъ P_1, P_2. ., то работа равна суммѣ произведеній изъ силъ на проекціи элементовъ пути на направленія силъ:

$$A = \Sigma P s.$$

Механическая работа, которая производится при движеніи матеріальной точки равнодѣйствующею всѣхъ внѣшнихъ силъ, на нее дѣйствующихъ, равна суммѣ всѣхъ механическихъ работъ, производимыхъ отдѣльными составляющими.

Если обозначимъ черезъ X, Y, Z составляющія силы P по тремъ координатнымъ осямъ, измѣненія координатъ при перемѣщеніи точки приложенія силы на ds—черезъ dx, dy и dz и уголъ между P и ds черезъ φ, то для элементарной работы будемъ имѣть:

$$dA = P \cos \varphi . ds = X . dx + Y . dy + Z . dz.$$

3. Производительность.

Производительностью, величиною работы, или **эффектомъ** наз. отношеніе механической работы силы къ тому времени, въ теченіе котораго эта работа произведена; и слѣд.:

$$E = \frac{Ps}{t} = P v = \text{силѣ} \times \text{скорость},$$

если направленія P и v совпадаютъ. Если же направленіе и величина P измѣняются, то имѣемъ вообще:

$$E = \frac{dA}{dA} P v \cos \varphi.$$

НТБ ДНУЗТ

Въ **абсолютной** системѣ мѣръ за **единицу производительности** принимается 1 **эргъ въ секунду** или также 1 **уаттъ** (**Watt**) $= 10^7$ эрговъ въ секунду $= 1$ джаулю въ секунду.

Въ **технической** системѣ мѣръ за **единицу производительности** принимаютъ **килограммометръ въ секунду** (mkg/Sec), или **метрическую лошадиную силу** $= 75$ килограммометровъ въ секунду $= 477{,}93$ прусск. фунтофутовъ въ секунду $= 542{,}47$ англійскихъ фунтофутовъ въ секунду $=$ **15 пудофутовъ въ секунду** $= 735{,}75$ Watt.

4. Живая сила (кинетическая энергія).

Живая сила движущейся массы, или кинетическая энергія $L =$ половинѣ произведенія изъ массы m на квадратъ ея скорости:

$$L = {}^1/_2\, m\, v^2.$$

Единицей живой силы служитъ единица работы (см. **2.**, стр. 195).

5. Живая сила и механическая работа равнозначны.

(Принципъ живыхъ силъ).

Приращеніе живой силы, пріобрѣтаемое движущеюся системой при перемѣщеніи ея изъ одного положенія въ другое, равно механической работѣ дѣйствующихъ силъ.

$$L - L_0 = \Sigma A = \Sigma \int (X.dx + Y.dy + Z.dz).$$

(См. стр. 207. Законъ сохраненія живой силы).

6. Количество движенія и импульсъ силы.

Количествомъ движенія движущейся массы наз. произведеніе изъ массы на скорость $= mv$.

Импульсомъ силы называется произведеніе изъ силы на время ея дѣйствія $= Pt$ или вообще $= \int P.dt$.

7. Если сила P постоянна по величинѣ и направленію, s пройденный путь, который отложенъ по направленію силы P отъ точки приложенія этой силы, v_0 скорость массы m въ началѣ и v въ концѣ времени дѣйствія силы t, причемъ v и v_0 измѣрены по направленію силы, то:

$$Ps = {}^1/_2\, m\,(v^2 - v_0^2) \qquad Pt = m\,(v - v_0).$$

B. Движеніе матеріальной точки.

a. Прямолинейное движеніе.

1. Для того, чтобы матеріальная точка могла имѣть прямолинейное движеніе, необходимо, чтобы всѣ дѣйствующія на нее силы могли быть приведены къ одной равнодѣйствующей силѣ P, направленіе которой совпадаетъ съ направленіемъ прямолинейнаго

НТБ ДНУЗТ

движенія. Если въ каждомъ положеніи матеріальной точки сила P есть извѣстная функція отъ пути, скорости или времени, то имѣемъ изъ соотношенія:

$$p = \frac{P}{m}$$

ускореніе, при помощи котораго, какъ указано на стр. 144, могутъ быть опредѣлены величины s, v и t.

Примѣры для прямолинейнаго движенія матеріальной точки во 2. и 3.

2. Свободное паденіе съ принятіемъ въ разсчетъ сопротивленія воздуха.

См. стр. 148. Свободное паденіе въ безвоздушномъ пространствѣ.

Принимаемъ, что сопротивленіе воздуха W пропорціонально квадрату скорости v*).

$W = m g v^2 : k^2$, гдѣ k скорость, для которой $W = G = m g$; m масса и G вѣсъ матеріальной точки. При этомъ предположеніи имѣемъ:

1) при паденіи тѣла съ высоты h:

конечная скорость: $$v = k \sqrt{1 - e^{-\frac{2gh}{k^2}}}$$

продолжительность паденія:

$$t = \frac{k}{g} \operatorname{Ar\,tgh} \frac{v}{k} = \frac{k}{g} \ln \left\{ e^{\frac{gh}{k^2}} + \sqrt{e^{\frac{2gh}{k^2}} - 1} \right\}$$

$$= \frac{k}{g} \operatorname{Ar\,cosh} \left(\cosh \frac{gh}{k^2} + \sinh \frac{gh}{k^2} \right).$$

Гиперболическія функціи см. стр. 67, значеніе e стр. 40.

2) если тѣло брошено вверхъ со скоростью c, то:

высота подъема: $$h_1 = \frac{k^2}{2g} \ln \left(1 + \frac{c^2}{k^2}\right),$$

время подъема: $$t_1 = \frac{k}{g} \operatorname{arc\,tg} \frac{c}{k}.$$

Если тѣло возвращается обратно на ту же горизонтальную прямую, то его конечная скорость: $$v_1 = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{c^2}{k^2}}}.$$

Скорость k въ m въ секунду опредѣляется по формулѣ:

$k^2 = \frac{2g^2 m}{\psi \gamma F} = \frac{2gG}{\psi \gamma F}$ (см. VII—Механика газовъ и паровъ, F.),

*) См. ниже—Механика газовъ и паровъ.

НТБ ДНУЗТ

гдѣ F наибольшая площадь сѣченія тѣла нормально къ направленію движенія въ qm, γ вѣсъ 1 куб. метра воздуха (= 1.293 kg), m масса тѣла, G вѣсъ тѣла въ kg, ψ опытный коэффиціентъ, зависящій отъ формы тѣла (для шара $\psi = 0{,}5$).

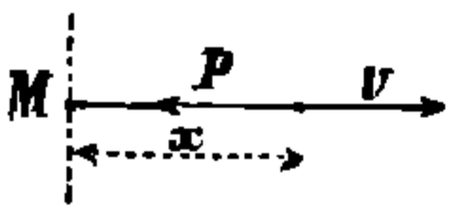
Примѣръ. Для чугуннаго шара радіуса r (въ m) имѣемъ (1 cbm чугуна вѣситъ 7250 kg):

$$k = 541{,}6 \sqrt{r}\ \text{m въ секунду.}$$

3. Прямолинейное качаніе.

Движеніе матеріальной точки массою m подъ дѣйствіемъ силы, которая пропорціональна разстоянію x отъ постояннаго неподвижнаго центра притяженія M (см. черт. 130).

Черт. 130.



На разстояніи x отъ M пусть будетъ $P = cx$, скорость въ точкѣ $M = v_m$. Тогда для скорости v (по **5.**, стр. 196):

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_m^2}{2} = \int_0^x -P.dx = -\int_0^x cx.dx = \frac{-cx^2}{2}.$$

Отсюда: $$v = \sqrt{v_m^2 - \frac{c}{m}x^2}.$$

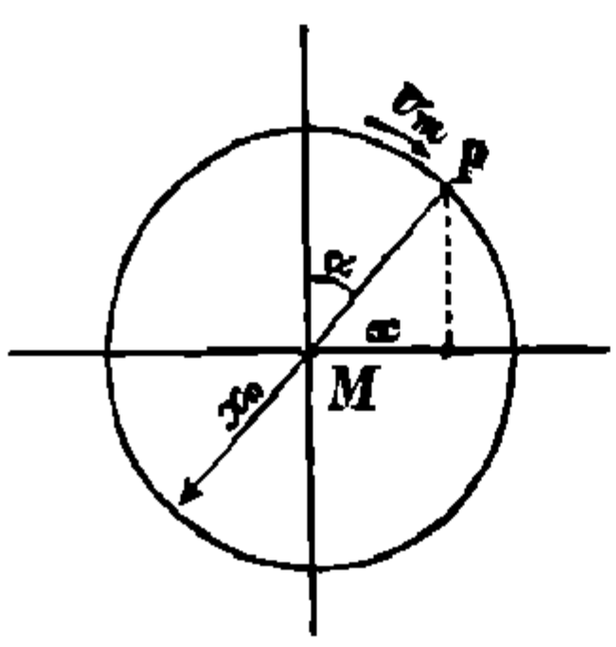
Для $x_0 = v_m \sqrt{\frac{m}{c}}$ имѣемъ $v = 0$, движущаяся точка возвращается (x_0 величина колебанія).

Подставивъ x_0, имѣемъ $v = v_m \sqrt{1 - \left(\frac{x}{x_0}\right)^2} = \frac{dx}{dt}$,

откуда $$dt = \frac{dx}{v_m \sqrt{1 - \left(\frac{x}{x_0}\right)^2}};$$

т. е.: $$t = \frac{x_0}{v_m} \arcsin \frac{x}{x_0} \qquad x = x_0 \sin \frac{v_m t}{x_0}.$$

Черт. 131.



Если описать около точки M кругъ радіусомъ x_0 (черт. 131) и заставить точку P_m двигаться по его окружности съ постоянною скоростью v_m, то въ промежутокъ времени t радіусъ описываетъ уголъ $\alpha = \frac{v_m t}{x_0}$, поэтому прямолинейное качательное движеніе слѣдуетъ разсматривать какъ проекцію равномѣрнаго движенія точки по окружности круга.

Продолжительность качанія T (ходъ впередъ или назадъ) равна:

$$T = \pi \frac{x_0}{v_m} = \pi \sqrt{\frac{m}{c}}$$ (т. е. T не зависитъ отъ x_0).

НТБ ДНУЗТ

b. Свободное криволинейное движеніе.

1. Пусть матеріальная точка массою m имѣетъ во время t координаты x, y, z и скорость v, составляющія которой по тремъ осямъ v_x, v_y и v_z. Пусть равнодѣйствующая дѣйствующихъ силъ будетъ P, и ея составляющія по тремъ осямъ пусть будутъ X, Y, Z.

X сообщаетъ массѣ m по направленію оси x-овъ ускореніе:

$$p_x = \frac{X}{m} = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2},$$

Y—то же по оси y-овъ: $p_y = \frac{Y}{m} = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$,

Z—то же по оси z-овъ: $p_z = \frac{Z}{m} = \frac{dx_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}$.

Этими тремя уравненіями опредѣляется движеніе точки по тремъ осямъ координатъ. (Для движенія въ одной плоскости xy третье уравненіе пропадаетъ).

Разлагая P по направленію касательной къ пути и по направленію главной нормали на:

$P_t =$ **касательную силу** и $P_n =$ **нормальную** или **центростремительную силу**, имѣемъ:

$$P_t = P\cos\varphi = m\frac{dv}{dt} \text{ и } P_n = P\sin\varphi = m\frac{v^2}{\varrho},$$

если ϱ радіусъ кривизны пути, а φ уголъ между P и v.

Сила P_t сообщаетъ массѣ m касательное ускореніе: имѣемъ:

$$p_t = \frac{P_t}{m} = \frac{dv}{dt},$$

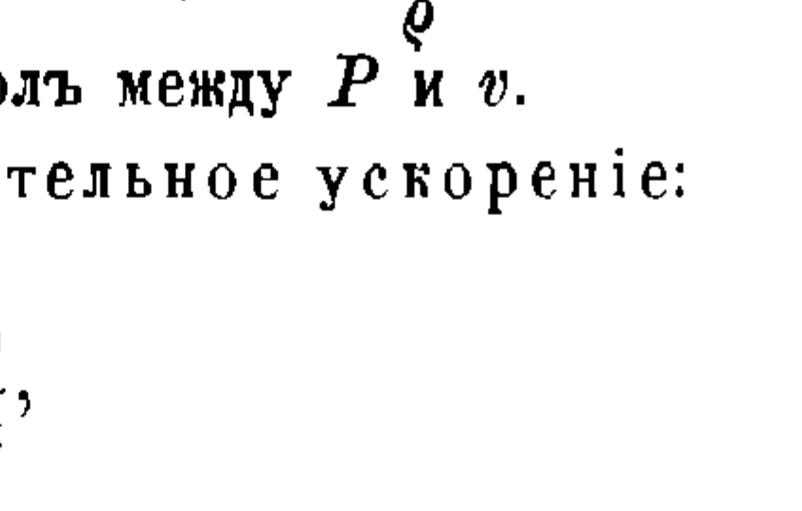
а P_n — нормальное ускореніе:

$$p_n = \frac{P_n}{m} = \frac{v^2}{\varrho}$$

2. Движеніе тѣла, брошеннаго наклонно къ горизонту, безъ принятія въ разсчетъ сопротивленія воздуха.

Матеріальная точка брошена вверхъ отъ точки O (черт. 132) подъ угломъ α къ горизонтальной прямой OX съ начальной скоростью c. Точка описываетъ параболу съ вертикальною осью; уравненіе этой параболы относительно вершины (см. стр. 109).

Черт. 132.



$$x^2 = 2\frac{c_x^2}{g}y = 2\frac{(c\cos\alpha)^2}{g}y.$$

НТБ ДНУЗТ

Уравненія движенія:

$$p_x = 0; \qquad v_x = c_x; \qquad x = c_x t.$$

$$p_y = -g; \qquad v_y = c_y - gt; \qquad y = c_y t - \frac{g t^2}{2}.$$

Изъ обоихъ уравненій для x и y находимъ, при исключеніи t, уравненіе параболы относительно осей OX и OY (черт. 132):

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2 c^2 \cos^2 \alpha} x^2.$$

Скорость v во время t:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{c^2 - 2 c_y g t + g^2 t^2} = \sqrt{c^2 - 2 g y}.$$

Для вершины (x', y') имѣемъ $v'_y = c_y - gt' = 0$, почему

$$t' = \frac{c_y}{g}; \qquad x' = \frac{c_x c_y}{g} = \frac{c^2 \sin 2\alpha}{2 g}; \qquad y' = h = \frac{c_y^2}{2g} = \frac{c^2 \sin^2 \alpha}{2 g}.$$

Дальность полета $a = 2x' = \frac{c^2 \sin 2\alpha}{g}$ будетъ maximum при $\alpha = 45^0$:

$$a_{\max} = \frac{c^2}{g}.$$

Обратно, для опредѣленнаго a и для $\alpha = 45^0$: $c_{\min} = \sqrt{ag}$.

Если требуется попасть въ точку, удаленную на a, то полагаемъ

$$\sin 2\alpha = \frac{g a}{c^2}, \text{ или } c^2 = \frac{g a}{\sin 2\alpha}.$$

Также имѣемъ $\operatorname{tg} \alpha = \frac{4h}{a}$ и продолжительность полета

$t_a = \sqrt{\frac{8h}{g}}$, откуда можно опредѣлить h

3. Движеніе брошеннаго тѣла, съ принятіемъ въ разсчетъ сопротивленія воздуха *).

Обозначенія какъ и въ 2. Величину k см. стр. 197.

Предполагаемъ, что уголъ α настолько малъ, что вмѣсто дуги можетъ быть принята ея горизонтальная проекція.

Во время t имѣемъ въ этомъ случаѣ:

$$x = \frac{k^2}{g} \ln\left(1 + \frac{g c_x}{k^2} t\right); \qquad t = \frac{k^2}{g c_x}\left(e^{\frac{g x}{k^2}} - 1\right);$$

$$y = x\left\{\operatorname{tg} \alpha + \frac{k^2}{2 c_x^2}\right\} - \frac{k^4}{g c_x^2}\left(e^{\frac{2 g x}{k^2}} - 1\right)$$

Для вершины имѣемъ:

$$x' = \frac{k^2}{2 g} \ln\left(1 + \frac{c_x c_y}{2 k^2}\right). \quad (t' \text{ и } y' \text{ какъ во } 2.).$$

*) См. также Holzmüller, Flugbahn der Geschosse и т. д. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 810 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Дальность полета a достигается при углѣ α, который опредѣляется изъ:

$$\sin 2\alpha = \frac{k^4}{2gc^2a}\left(e^{\frac{2ga}{k^2}} - \frac{2g}{k^2}a - 1\right).$$

4. Потенціалъ или силовая функція.

Когда составляющія X, Y, Z по тремъ координатнымъ осямъ силы, дѣйствующей на матеріальную точку, представляютъ такія функціи координатъ x, y, z, что онѣ могутъ быть выражены какъ частныя производныя нѣкоторой функціи $U = f(x, y, z)$ по x, y, z, т. е. когда можно принять:

$$X = \frac{\partial U}{\partial x}, \qquad Y = \frac{\partial U}{\partial y}, \qquad Z = \frac{\partial U}{\partial z},$$

то функція U называется **потенціаломъ или силовою функціею**.

Работа A, производимая при нѣкоторомъ произвольномъ перемѣщеніи, опредѣлится:

$$A = \int dA = \int_{x_0, y_0, z_0}^{x_1, y_1, z_1} (X.dx + Y.dy + Z.dz) = \int_{U_0}^{U_1} dU = U_1 - U_0,$$

или, по стр. 196, приращеніе живой силы:

$$L_1 - L_0 = {}^1/_2 m v_1^2 - {}^1/_2 m v_0^2 = U_1 - U_0.$$

Условію $U = f(x, y, z) = U_1$ соотв. $U = U_0$ соотвѣтствуетъ поверхность, наз. **поверхностью уровня** или **поверхностью одинаковаго потенціала**.

Сила, дѣйствующая на точку, всегда нормальна къ поверхности уровня. Составляющая по какому-нибудь произвольному направленію равна частной производной отъ U по этому направленію.

При перемѣщеніи матеріальной точки отъ одной поверхности къ другой по произвольному пути всегда производится одна и та же работа, т.-е. выигрывается или теряется одна и та же живая сила. До тѣхъ поръ, пока точка остается на одной и той же поверхности уровня, она сохраниетъ постоянную скорость; при перемѣщеніи точки по этой поверхности никакой работы не затрачивается.

Потенціалъ всегда имѣетъ мѣсто, когда дѣйствующая сила представляетъ силу, притягательную или отталкивающую отъ нѣкотораго центра O, и въ то же время сила есть функція разстоянія r отъ этой точки.

Если $P = f(r)$ сила, направленная къ O, то:

$$U = \int f(r)\, dr.$$

Потенціалъ имѣетъ мѣсто также и тогда, когда сила P, дѣйствующая на матеріальную точку, представляетъ равнодѣйствующую

НТБ ДНУЗТ

нѣсколькихъ силъ P_1, P_2. изъ которыхъ каждая имѣетъ силовую функцію U_1, U_2.

Тогда имѣемъ:

$$U = \Sigma(U_i) = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots; \; (i, = 1, 2, 3 \ldots).$$

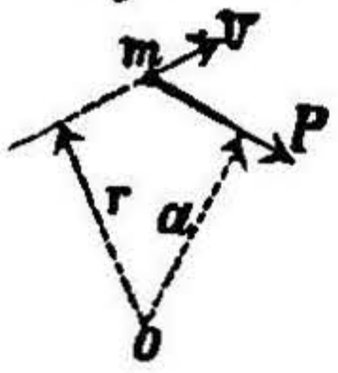
Примѣръ: Для точки массы m, находящейся внѣ земного шара на разстояніи x отъ его центра, имѣемъ:

$$U = \frac{m g r^2}{x} \text{ (гдѣ } r \text{ радіусъ земли).}$$

5. Законъ площадей *).

Если матеріальная точка движется въ плоскости (черт. 133), то въ каждый моментъ времени статическій моментъ силы P, дѣйствующей на массу m, относительно любой точки O этой плоскости, равенъ скорости, съ которою возрастаетъ статическій моментъ количества движенія **):

Черт. 133.

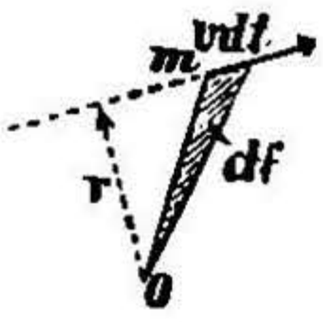


$$Pa = \frac{d(m v r)}{d t}.$$

Если черезъ f (черт. 134) назовемъ площадь, описанную лучемъ Om, то ея дифференціалъ:

$$df = \frac{v.dt.r}{2} \qquad \text{слѣд. } mvr = 2m\frac{df}{dt} \text{ и}$$

Черт. 134.



$$\frac{d(mvr)}{dt} = 2m\frac{d^2 f}{dt^2}.$$

$\frac{df}{dt}$ наз. плоскостною скоростью,

$\frac{d^2 f}{dt^2}$ наз. плоскостнымъ ускореніемъ.

По вышеприведенному закону будемъ имѣть:

$$Pa = 2m\frac{d^2 f}{dt^2},$$

т. е. статическій моментъ силы равенъ плоскостному ускоренію, умноженному на $2m$.

Для **центральнаго движенія**, при которомъ сила проходитъ черезъ неподвижную точку O, имѣемъ относительно этой точки $a = 0$ и поэтому:

$$Pa = 2m\frac{d^2 f}{dt^2} = 0, \text{ т.-е. } \frac{d^2 f}{dt^2} = 0.$$

Плоскостное ускореніе равно нулю, плоскостная скорость постоянна; въ одинаковые промежутки времени лучъ описываетъ площади

*) Распространеніе этого принципа на систему массъ см. стр. 207.

**) Объясненія и законы, приведенные на стр. 163 и слѣд., примѣнимы и здѣсь, если вмѣсто силы P вездѣ подставлять скорость, ускореніе или количество движенія.

НТБ ДНУЗТ

одинаковой величины. (При движеніи планетъ, этотъ законъ представляетъ первый законъ Кеплера).

c. Несвободное движеніе матеріальной точки.

1. Движеніе точки, которая должна оставаться на нѣкоторой кривой.

1. Задача сводится къ изложенному въ b., стр. 199, если къ дѣйствующимъ на точку силамъ присоединить еще внѣшнюю силу сопротивленія пути (на кривой). Сопротивленіе пути можетъ быть разложено на силу N, нормальную къ пути, и N_t, касательную къ пути (треніе въ покоѣ, см. стр. 215). N_t можетъ быть или равна нулю (движеніе на кривой посредствомъ механизма), или (при направленіи по матеріальному пути) зависитъ отъ нормальнаго сопротивленія N пути, а именно ему пропорціально:

$$N_t = \mu N.$$

(μ — коэффиціентъ тренія, см. стр. 216).

Нормальное сопротивленіе N находится слѣдующимъ образомъ: разлагаемъ силу P, составляющую съ касательной къ пути уголъ φ, по этой касательной и нормально къ ней, на $P_1 = P\cos\varphi$ и $P_2 = P\sin\varphi$. N и P_2 даютъ равнодѣйствующую, совпадающую съ направленіемъ радіуса кривизны ϱ пути въ этой точкѣ и равную **центростремительной силѣ**:

$$P_n = m\frac{v^2}{\varrho}.$$

Сила, равная по величинѣ центростремительной, но обратно направленная, наз. **центробѣжной силой**.

2. Если путь движенія — **кругъ**, лежащій въ горизонтальной плоскости, радіуса r въ m, t — время одного оборота въ sec., n — число оборотовъ въ минуту, v — скорость движенія въ m/sec., ω — угловая скорость въ sec., G — вѣсъ движущейся массы m въ kg, то центробѣжная сила C, перпендикулярная къ окружности и дѣйствующая по радіусу, опредѣляется такъ:

$$C = m\frac{v^2}{r} = mr\omega^2 = 4\pi^2 m\frac{r}{t^2} = \frac{4\pi^2}{3600}mrn^2,$$

$$= 0{,}101\,94\frac{Gv^2}{r} = 0{,}101\,94\ Gr\omega^2 = 4{,}024\,304\frac{Gr}{t^2} = 0{,}001\,117\,9\,Grn^2;$$

при этомъ $\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi}{t} = \frac{2\pi n}{60}$. (См. стр. 150 и 152).

3. Если извѣстно N, то **касательная сила**:

$$P_t = mp_t = m\frac{dv}{dt} = P_t - N_t = P_t - \mu N = P\cos\varphi - \mu N.$$

Если $N_t = 0$, то имѣемъ непосредственно:

$$P_t = mp_t = P\cos\varphi.$$

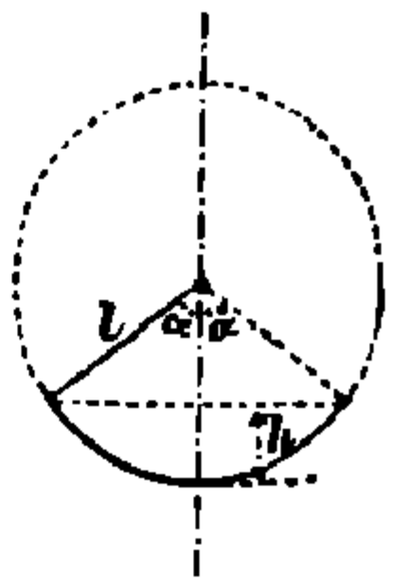
НТБ ДНУЗТ

Для опредѣленія движенія нѣтъ надобности поэтому предварительно опредѣлять N. Въ предположеніи $N_t = 0$, рекомендуется примѣнять принципъ живыхъ силъ (см. **5.**, стр. 196). На основаніи его получимъ, если X, Y, Z — составляющія силы P по тремъ координатнымъ осямъ:

$$L - L_0 = \frac{m\,v^2}{2} - \frac{m\,v_0^2}{2} = \int_{x_0,\,y_0,\,z_0}^{x,\,y,\,z} (X.dx + Y.dy + Z.dz),$$

такъ какъ сила N работы не производитъ.

Черт. 135.



2. Примѣры для движенія точки по кривой.

1. Простой круговой маятникъ (черт. 135).

1. Пусть матеріальная точка качается на невѣсомой нити по дугѣ круга. Обозначая черезъ α половину угла качанія, l — длину, h — высоту подъема или паденія качающейся массы, имѣемъ продолжительность одного качанія:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1 \,.\, 3}{2 \quad 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\alpha}{2} + \ldots \right].$$

При $\alpha \leqq 8^0$ имѣемъ довольно точно:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}};$$

слѣд., продолжительность качанія не зависитъ отъ величины размаха. Отсюда длина **секунднаго маятника** въ m на основаніи форм. для g, стр. 148.

$$l = \frac{g}{\pi^2} = 0{,}993\,563 - 0{,}002\,536 \cos 2\,\varphi - 0{,}000\,000\,3\,H.$$

На уровнѣ моря ($H = 0$) и для $\varphi = 50^0$:
$l = \mathbf{0{,}994}$ m. ($= 39^1/_8$ англ. дюйм.)
На уровнѣ моря у полюсовъ ($\varphi = 90^0$) $l_p = 0{,}996$ m, у экватора ($\varphi = 0$) $l_a = 0{,}991$ m, а для $\varphi = 45^0$ имѣемъ $l_m = 0{,}994$ m, такъ что $l_p - l_a = {}^1/_{196}\, l_m$.

Скорость въ наинизшей точкѣ $v = \sqrt{2\,gh}$, почему натяженіе нити, къ которой подвѣшена качающаяся масса m, будетъ наибольшее въ наинизшей точкѣ, а именно:

$$S = m\,g + m\,\frac{v^2}{l} = m\,g\,\frac{l + 2\,h}{l}.$$

При $\alpha > {}^1/_2\,\pi$ натяженіе равно нулю на высотѣ ${}^2/_3\,(h - l)$ надъ точкой привѣса. Если скорость въ наинизшемъ положеніи $\geqq \sqrt{5\,l\,g}$, то качающаяся масса пробѣгаетъ весь кругъ при натяженіи нити силою S, которая въ наивысшей точкѣ $\geqq 0$, а въ наинизшей $\geqq 6\,m\,g$.

НТБ ДНУЗТ

2. Въ циклоидальномъ маятникѣ точка движется по циклоидѣ и продолжительность одного качанія выражается точно:

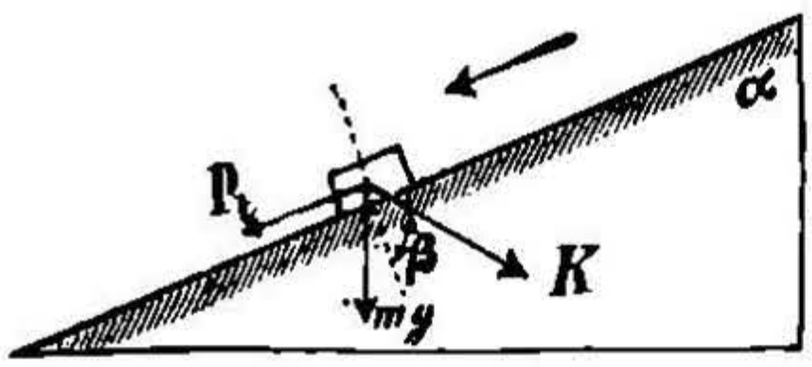
$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}},$$

гдѣ r радіусъ производящаго круга (стр. 112); слѣд., продолжительность качанія совершенно не зависитъ отъ величины размаха; циклоида поэтому называется **таутохроной**.

Циклоида съ горизонтальнымъ основаніемъ имѣетъ еще то свойство, что тѣло, движущееся по ней, проходитъ путь отъ нѣкоторой точки циклоиды до точки нижележащей въ кратчайшее время (брахистохрона).

3. Паденіе по наклонной плоскости (черт. 136).

Черт. 136.



При обозначеніяхъ какъ въ **1.** стр. 203, будемъ имѣть:

$$P_1 = m g \cos\alpha - K \sin\beta,$$
$$P_2 = m g \sin\alpha + K \cos\beta.$$

Такъ какъ вслѣдствіе движенія по прямой $P_n = 0$, то $N = -P_2 = -(m g \sin\alpha + K \cos\beta)$ и

$$P_t = P_1 - \mu P_2 = m g \cos\alpha - K \sin\beta - \mu (m g \sin\alpha + K \cos\beta);$$

μ — коэффиціентъ скользящаго тренія.

Отсюда находимъ ускореніе для движенія внизъ:

$$p = p_t = \frac{P_t}{m} = g(\cos\alpha - \mu \sin\alpha) - \frac{K}{m}(\sin\beta + \mu \cos\beta),$$

а для движенія вверхъ:

$$p = -g(\cos\alpha + \mu \sin\alpha) + \frac{K}{m}(\sin\beta - \mu \cos\beta).$$

4. Движеніе точки, которая должна оставаться на данной поверхности.

Пренебрегая треніемъ и обозначая черезъ $f(x, y, z) = 0$ уравненіе поверхности, получаемъ дифференціальныя уравненія движенія точки исключеніемъ λ изъ трехъ уравненій:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = X - \lambda\frac{\partial f}{\partial x}; \quad m\frac{d^2y}{dt^2} = Y - \lambda\frac{\partial f}{\partial y}; \quad m\frac{d^2z}{dt^2} = Z - \lambda\frac{\partial f}{\partial z}.$$

Здѣсь X, Y, Z — составляющія дѣйствующей силы. Законъ живыхъ силъ въ этомъ случаѣ примѣняется такъ же, какъ и въ случаѣ свободнаго движенія, такъ какъ нормальное сопротивленіе поверхности

$$N = \lambda \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}$$

не производитъ работы. Примѣромъ можетъ служить:

НТБ ДНУЗТ

2. Въ циклоидальномъ маятникѣ точка движется по циклоидѣ и продолжительность одного качанія выражается точно:

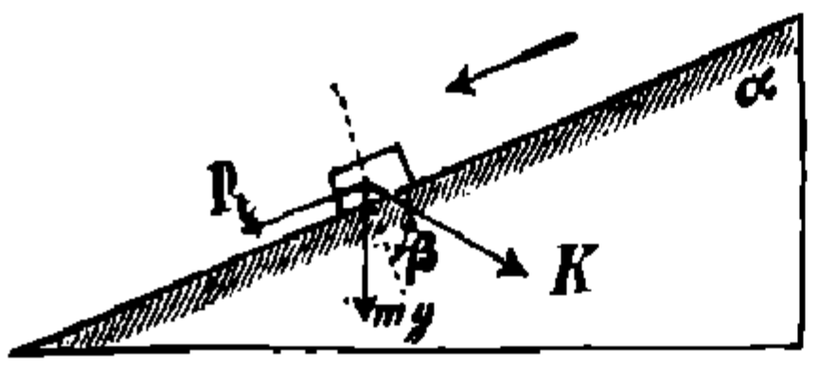
$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}},$$

гдѣ r радіусъ производящаго круга (стр. 112); слѣд., продолжительность качанія совершенно не зависитъ отъ величины размаха; циклоида поэтому называется **таутохроной**.

Циклоида съ горизонтальнымъ основаніемъ имѣетъ еще то свойство, что тѣло, движущееся по ней, проходитъ путь отъ нѣкоторой точки циклоиды до точки нижележащей въ кратчайшее время (брахистохрона).

3. Паденіе по наклонной плоскости (черт. 136).

Черт. 136.



При обозначеніяхъ какъ въ **1.** стр. 203, будемъ имѣть:

$$P_1 = mg\cos\alpha - K\sin\beta,$$
$$P_2 = mg\sin\alpha + K\cos\beta.$$

Такъ какъ вслѣдствіе движенія по прямой $P_n = 0$, то $N = -P_2 = -(mg\sin\alpha + K\cos\beta)$ и

$$P_t = P_1 - \mu P_2 = mg\cos\alpha - K\sin\beta - \mu(mg\sin\alpha + K\cos\beta);$$

μ — коэффиціентъ скользящаго тренія.

Отсюда находимъ ускореніе для движенія внизъ:

$$p = p_t = \frac{P_t}{m} = g(\cos\alpha - \mu\sin\alpha) - \frac{K}{m}(\sin\beta + \mu\cos\beta),$$

а для движенія вверхъ:

$$p = -g(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) + \frac{K}{m}(\sin\beta - \mu\cos\beta).$$

4. Движеніе точки, которая должна оставаться на данной поверхности.

Пренебрегая треніемъ и обозначая черезъ $f(x, y, z) = 0$ уравненіе поверхности, получаемъ дифференціальныя уравненія движенія точки исключеніемъ λ изъ трехъ уравненій:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = X - \lambda\frac{\partial f}{\partial x}; \quad m\frac{d^2y}{dt^2} = Y - \lambda\frac{\partial f}{\partial y}; \quad m\frac{d^2z}{dt^2} = Z - \lambda\frac{\partial f}{\partial z}.$$

Здѣсь X, Y, Z — составляющія дѣйствующей силы. Законъ живыхъ силъ въ этомъ случаѣ примѣняется такъ же, какъ и въ случаѣ свободнаго движенія, такъ какъ нормальное сопротивленіе поверхности

$$N = \lambda\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}$$

не производитъ работы. Примѣромъ можетъ служить:

НТБ ДНУЗТ

чаетъ въ себѣ всѣ частные случаи движенія и равновѣсія всякой системы матеріальныхъ точекъ.

Если равнодѣйствующія изъ дѣйствительно существующихъ (внѣшнихъ) силъ и силъ инерціи назовемъ потерянными силами, то принципъ Даламберта можетъ быть еще выраженъ слѣдующимъ образомъ:

Въ системѣ массъ, подверженной дѣйствію произвольныхъ силъ, потерянныя силы находятся, подъ вліяніемъ связей, постоянно въ равновѣсіи.

2. Сохраненіе энергіи.

Живой силой или кинетической энергіей системы матеріальныхъ точекъ наз. выраженіе:

$$L = {}^1/_2 \Sigma (m v^2).$$

Если $A = \int \Sigma (X.dx + Y.dy + Z.dz)$ представляетъ работу системы силъ во время опредѣленнаго движенія, то измѣненіе живой силы:

$${}^1/_2 \Sigma (m v^2) - {}^1/_2 \Sigma (m v_0^2) = A \text{ (законъ живыхъ силъ).}$$

Если силы имѣютъ потенціальную функцію U (см. стр. 201), то:

$${}^1/_2 \Sigma (m v^2) - {}^1/_2 \Sigma (m v_0^2) = A = U - U_0.$$

(Принципъ сохраненія живой силы или кинетической энергіи).

2. Движеніе центра тяжести.

Центръ тяжести системы матеріальныхъ точекъ въ каждый данный моментъ движется такъ, какъ если бы въ немъ была сосредоточена вся масса системы, и въ него были перенесены параллельно самимъ себѣ всѣ **внѣшнія** силы системы.

Отсюда слѣдуетъ законъ сохраненія движенія центра тяжести:

Если всѣ силы системы, будучи перенесены въ центръ тяжести, находятся (между собой) въ равновѣсіи, то центръ тяжести движется равномѣрно и по прямой; онъ остается въ покоѣ, если находился въ покоѣ при началѣ движенія.

Общая кинетическая энергія системы массъ слагается изъ кинетической энергіи, соотвѣтствующей движенію центра тяжести, и кинетической энергіи, соотвѣтствующей относительному движенію относительно центра тяжести.

4. Законъ площадей.

Скорость, съ которою увеличивается сумма статическихъ моментовъ количествъ движеній Σm относительно произвольной прямой, въ каждый моментъ движенія равна суммѣ статическихъ моментовъ ΣM дѣйствующихъ (внѣшнихъ) силъ относительно той же прямой:

$$\frac{d \Sigma m}{dt} = \Sigma M.$$

Если, въ частномъ случаѣ, всѣ дѣйствующія на систему внѣшнія силы проходятъ черезъ одну и ту же точку (или внѣшнія силы

НТБ ДНУЗТ

вовсе не дѣйствуютъ), то сумма статическихъ моментовъ количествъ движенія относительно произвольной прямой, проходящей черезъ эту точку, во все время движенія остается постоянной.

Или, другими словами:

Если, въ вышеизложенномъ предположеніи, проектировать на произвольную плоскость площади, описываемыя лучами, идущими отъ этой точки къ отдѣльнымъ матеріальнымъ точкамъ системы, и порознь умножать эти площади на массы соотвѣтствующихъ частицъ, то сумма этихъ произведеній будетъ пропорціональна времени, въ которое происходило движеніе.

Если всѣ силы пересѣкаютъ одну прямую, то вышеприведенная сумма только тогда пропорціональна времени, когда площади проектировать на плоскость, перпендикулярную къ этой прямой.

b. Движеніе твердаго тѣла.

1. Движеніе свободнаго тѣла.

Каждое движеніе свободнаго тѣла можетъ быть, какъ указано на стр. 152 и слѣд., приведено: 1) къ вращенію около оси и 2) одновременному поступательному перемѣщенію по направленію этой оси.

Перемѣщая ось вращенія параллельно самой себѣ до центра тяжести тѣла, получимъ: 1) вращеніе около оси, проходящей черезъ центръ тяжести, и 2) поступательное движеніе подъ угломъ къ оси вращенія, проходящей черезъ центръ тяжести. Обоимъ родамъ движенія соотвѣтствуетъ одна сила, приложенная къ центру тяжести, и одна пара силъ, вращающая около оси центра тяжести.

Величина p_s **ускоренія центра тяжести** опредѣляется, по стр. 196, изъ:

$$p_s = \frac{R}{m},$$

гдѣ R равнодѣйствующая всѣхъ внѣшнихъ силъ и m общая масса тѣла. Равнодѣйствующая пара даетъ **угловое ускореніе** $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ около оси, которая, говоря вообще, образуетъ уголъ съ осью пары и только тогда совпадаетъ съ этою осью, когда ось пары есть главная ось инерціи тѣла*). Въ этомъ случаѣ находимъ:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\mathfrak{M}}{J},$$

гдѣ $\mathfrak{M}$ равнодѣйствующая пара, J моментъ инерціи относительно оси вращенія.

При положеніи оси пары въ общемъ случаѣ, ось углового ускоренія находится, если къ центральному эллипсоиду провести касательную плоскость, параллельную плоскости пары, и точку касанія соединить съ центромъ тяжести. Эта прямая и есть искомая ось.

---

*) См. стр. 182.

НТБ ДНУЗТ

Если пару силъ разложить по направленію трехъ главныхъ осей инерціи на L, M, N и если A, B и C главные моменты инерціи, то найдемъ:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \sqrt{\left(\frac{L}{A}\right)^2 + \left(\frac{M}{B}\right)^2 + \left(\frac{N}{C}\right)^2}$$

Живая сила (кинетическая энергія) свободно движущагося твердаго тѣла выражается суммой:

$$L = {}^1/_2\, m v_s^2 + {}^1/_2\, J \omega^2,$$

гдѣ m вся масса, v_s скорость движенія центра тяжести, ω угловая скорость вращенія системы около мгновенной оси, проходящей черезъ центръ тяжести, и J моментъ инерціи тѣла относительно этой оси.

2. Движеніе тѣла около неподвижной точки.

Дѣйствующія на тѣло силы переносимъ въ неподвижную точку. Равнодѣйствующая сила въ этой точкѣ уравновѣшивается съ сопротивленіемъ опоры. Равнодѣйствующая пара, которая получается вслѣдствіе параллельнаго перемѣщенія силъ, сообщаетъ угловое ускореніе ε, ось котораго и величина могутъ быть опредѣлены, какъ указано въ **1.**, стр. 208. Вмѣсто главныхъ моментовъ инерціи для центра тяжести должны быть взяты моменты инерціи для неподвижной точки.

3. Вращеніе тѣла около неподвижной оси.

1. **Кинетическая энергія** массы, вращающейся около неподвижной оси:

$$L = {}^1/_2\, J\, \omega^2,$$

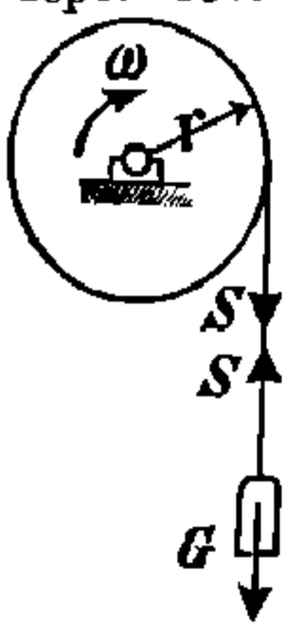
гдѣ J моментъ инерціи массы относительно оси вращенія и ω **угловая скорость** вращенія.

Если M равнодѣйствующій моментъ всѣхъ внѣшнихъ силъ, то работа послѣднихъ при вращеніи на уголъ ψ будетъ:

$$A = \int_0^{\psi} M.\, d\psi \text{ и производительность } E = M\omega.$$

Если M постоянно, то $A = M\psi$; вращеніе тогда равномѣрноускоренное или замедленное. При $M = 0$ работа $A = 0$, и вращеніе равномѣрное.

Черт. 137.



Примѣръ: На круговомъ цилиндрѣ радіуса r, вращающемся безъ тренія около горизонтальной оси (черт. 137), навита нить. Къ нити привѣшенъ грузъ $G = m\,g$. Натяженіе нити $= S$.

Вращающій моментъ: $M = Sr$.

Угловое ускореніе вращенія

$$\varepsilon = \frac{M}{J} = \frac{S}{J} r = \frac{d\omega}{dt},$$

гдѣ J моментъ инерціи цилиндра относительно оси

НТБ ДНУЗТ

вращенія ($J = J_z'$, см. стр. 191, 17). Ускореніе, съ которымъ грузъ опускается, найдемъ, если $v = r\,\omega$ скорость груза, изъ

$$\frac{dv}{dt} = r\,\frac{d\,\omega}{dt} = r\,\varepsilon = \frac{G - S}{m}.$$

Слѣд. $$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{Gr}{m\,r^2 + J}; \qquad S = \frac{J\varepsilon}{r} = \frac{JG}{m\,r^2 + J}.$$

Вращеніе поэтому равномѣрно-ускоренное, и натяженіе нити S постоянно. Если грузъ изъ состоянія покоя въ теченіе времени t опускается на величину h, то имѣетъ мѣсто уравненіе (законъ живыхъ силъ):

$$A = Gh = J\,\frac{\omega^2}{2} + \frac{m\,v^2}{2} = \frac{v^2}{2\,r^2}(J + m\,r^2).$$

Отсюда находимъ v, кромѣ того $t = 2\,\frac{h}{v}$.

2. Если опредѣленная **производительность** въ N лош. силъ достигается тѣмъ, что нѣкоторая пара силъ съ моментомъ M_d (въ mkg) вращаетъ тѣло около неподвижной оси съ постоянною угловою скоростью ω, соотвѣтствующею n оборотовъ въ минуту, или тѣмъ, что нѣкоторая сила P kg, на разстояніи r m, вращаетъ тѣло около постоянной оси съ постоянною скоростью v m въ секунду, то **вращающій моментъ**:

$$M_d = Pr = \frac{75\,N}{\omega} = \frac{60.75}{2\,\pi}\;\frac{N}{n} = 716{,}1972439\,\frac{N}{n}\ \text{mkg};$$

Производительность $E = Pv = 75\,N = \frac{2\pi n\,Pr}{60}$ mkg въ сек. (см. стр. 195).

N n называется **коэффиціентомъ производительности**. Соотношенія между ω, n, v и r см. стр. 152. Значенія ω для соотвѣт. n см. табл. стр. 151.

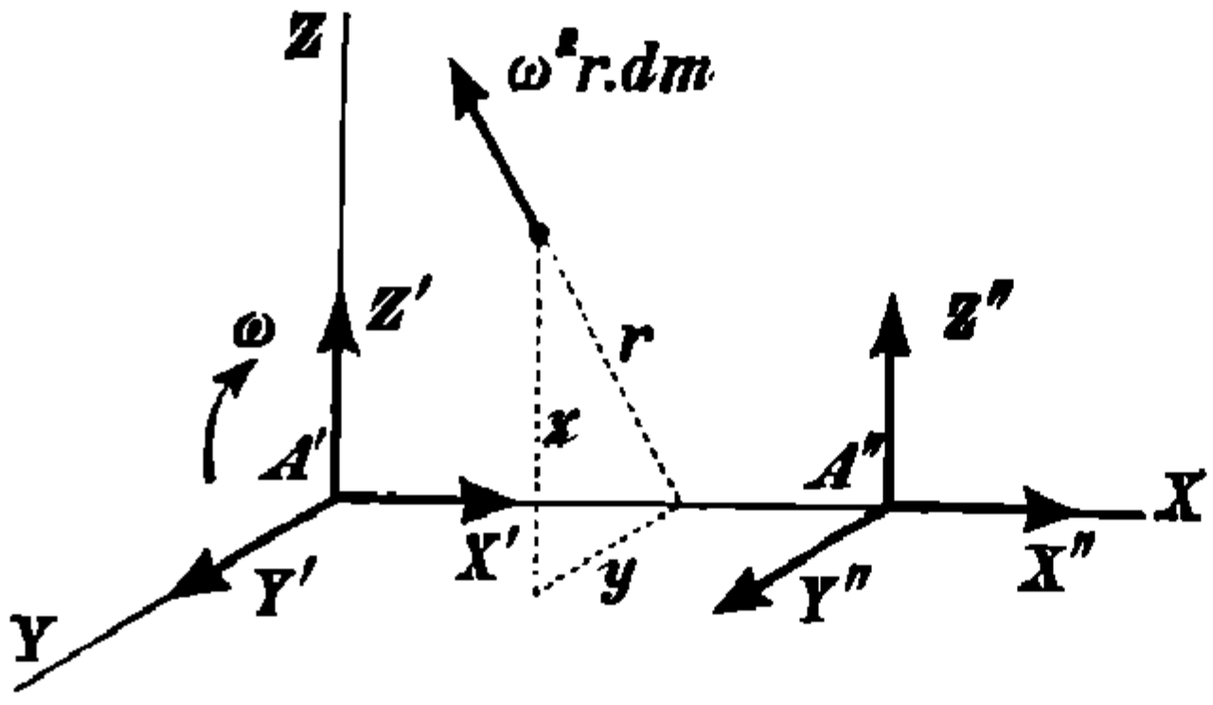
Коэффиціентъ производительности и вращающій моментъ.

$\frac{N}{n}$	M_d mkg	$\frac{N}{n}$	M_d mkg	$\frac{N}{n}$	M_d mkg	$\frac{N}{n}$	M_d mkg	$\frac{N}{n}$	M_d mkg
0,005	3,581	0.08	57,296	0,7	501,338	1,5	1074,30	3,5	2506,69
0,01	7,162	0,09	64,458	0,8	572,958	1,6	1145,92	4	2864,79
0,02	14,324	0,1	71,620	0,9	644,578	1,7	1217,54	5	3580,99
0,03	21,486	0,2	143,239	1,0	716,197	1,8	1289,16	6	4297,18
0,04	28,648	0,3	214,859	1,1	787,817	1,9	1360,78	7	5013,38
0,05	35,810	0,4	286,479	1,2	859,437	2,0	1432,39	8	5729,58
0,06	42,972	0,5	358,099	1,3	931,056	2,5	1790,49	9	6445,78
0,07	50,134	0,6	429,718	1,4	1002,68	3,0	2148,59	10	7161,97

НТБ ДНУЗТ

3. Пусть тѣло (черт. 138) вращается около прямой $A'\,A''$, соединяющей двѣ постоянныя точки (подшипники). Пусть A' совпадаетъ съ началомъ прямоугольныхъ координатъ въ пространствѣ. Пусть $A'\,A''$ будетъ ось x-овъ. Если (стр. 168) X, Y, Z составляющія равнодѣйствующей всѣхъ внѣшнихъ силъ и L, M, N равнодѣйствующіе моменты послѣднихъ для осей x, y и z, то угловое ускореніе вращенія во время t:

Черт. 138.



$$\varepsilon = \frac{d\,\omega}{d\,t} = \frac{L}{J} = \frac{1}{J}\ \Sigma\,(y_i\,Z_i - z_i\,Y_i),$$

см. стр. 168. J—моментъ инерціи тѣла относительно оси вращенія. На основаніи принципа кинетической энергіи имѣемъ:

$$^1/_2\,J\,\omega^2 - {}^1/_2\,J\,\omega_0{}^2 = A = \int_0^{\varphi} L.\,d\,\varphi,$$

гдѣ ω_0 значеніе угловой скорости ω во время $t = 0$; отсюда опредѣлимъ ω.

Составляющія противодѣйствій опоръ въ постоянныхъ точкахъ A' и A'' оси вращенія во время t опредѣляются изъ уравненій:

$$X' + X'' = -X; \qquad Y' + Y'' = -Y - m\,\omega^2 y_0 - m\,\varepsilon\,z_0;$$

$$Z' + Z'' = -Z - m\,\omega^2 z_0 + m\,\varepsilon\,y_0;$$

$$Y'' = -\frac{1}{a}(N + J_{xy}\,\omega^2 + J_{xz}\,\varepsilon); \qquad Z'' = \frac{1}{a}(M - J_{xz}\,\omega^2 + J_{xy}\,\varepsilon).$$

J_{xy} и J_{xz} означаютъ здѣсь центробѣжные моменты (стр. 183), m — общую массу тѣла, $a = A'\,A''$ разстояніе между постоянными точками, x_0, y_0, z_0 координаты центра тяжести тѣла. Составляющія X' и X'' въ отдѣльности опредѣлены быть не могутъ, а лишь въ суммѣ. (Въ случаѣ равновѣсія необходимо принять $\varepsilon = \omega = 0$; см. стр. 170, 4).

Ось вращенія дѣлается **свободной осью**, если

$$Y' = Y'' = Z' = Z'' = 0.$$

Это имѣетъ мѣсто, когда, напр., нѣтъ внѣшнихъ силъ, центръ тяжести находится на оси вращенія ($y_0 = z_0 = 0$) и ось вращенія есть главная ось инерціи ($J_{xy} = J_{xz} = 0$).

4. Если обозначимъ черезъ r разстояніе произвольной частицы массы dm отъ оси вращенія, то радіально направленная сила инерціи этой частицы равна $\omega r^2.\,dm$; сила эта называется **центробѣжной**. Равнодѣйствующая всѣхъ этихъ силъ назыв. центро-

НТБ ДНУЗТ

бѣжною силою тѣла; она нормальна вращенія и во время t имѣетъ величину:

$$C = m\omega^2 r_0,$$

гдѣ m общая масса тѣла, и r_0 разстояніе центра тяжести тѣла до оси вращенія. Въ вышеприведенныхъ (въ 3.) уравненіяхъ имѣемъ составляющія силы C, а именно $C_y = m\omega^2 y_0$ и $C_z = m\omega^2 z_0$.

Только въ томъ случаѣ, если ось вращенія есть главная ось инерціи, центробѣжныя силы отдѣльныхъ частицъ могутъ быть замѣнены одною равнодѣйствующей, приложенной въ центрѣ тяжести тѣла, нормальной къ оси вращенія и имѣющей величину $C = m\omega^2 r_0$.

5. Примѣромъ вращенія тѣла около неподвижной оси служитъ **физическій маятникъ** (см. стр. 204). Время качанія его одинаково съ временемъ качанія обыкновеннаго маятника (стр. 204), длина котораго:

$$l = \frac{J}{me},$$

гдѣ J моментъ инерціи качающейся массы m относительно оси вращенія и e разстояніе центра тяжести массы отъ оси вращенія. Прямая, проходящая черезъ центръ качанія на разстояніи l отъ оси привѣса и параллельная послѣдней, называется **осью качанія**. Время колебанія маятника одно и то же, будетъ ли маятникъ подвѣшенъ на оси привѣса или на оси качанія. Центръ тяжести маятника находится всегда между осью привѣса и осью качанія.

Физическимъ маятникомъ пользуются для **опытнаго опредѣленія моментовъ инерціи** неправильныхъ составныхъ тѣлъ или поперечныхъ сѣченій*). Пусть n число простыхъ качаній въ одну минуту, тогда моментъ инерціи подобнаго тѣла или поперечнаго сѣченія относительно оси вращенія:

$$J = g\frac{60^2}{\pi^2}\frac{mc}{n^2} = \psi\frac{me}{n^2}.$$

Моментъ инерціи относительно параллельной оси, проходящей черезъ центръ тяжести:

$$J_s = \psi\frac{me}{n^2} - me^2.$$

Принявъ **cm** за единицу, имѣемъ $\psi = 357\,826$.

4. Вращеніе тѣла около перемѣнной оси.

Если тѣло во время своего движенія касается неподвижнаго тѣла, то движеніе выражается катаніемъ, скольженіемъ или тѣмъ и другимъ одновременно. Движеніе это можетъ быть въ точности опредѣлено лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда является возможнымъ разложить его на вращательное движеніе около неподвижной оси,

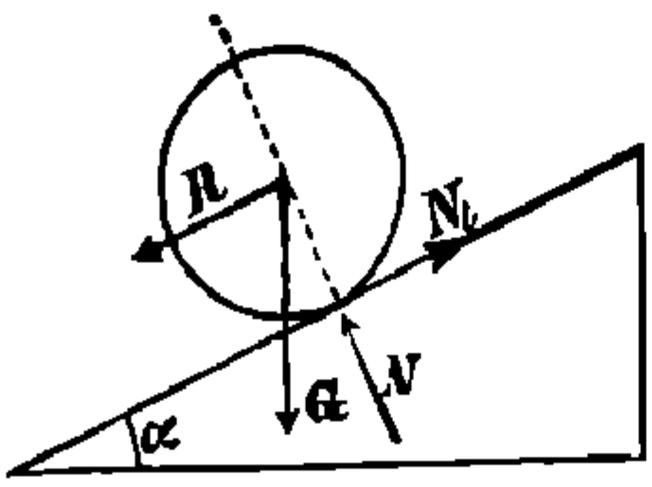
*) Моментъ инерціи вращающихся машинныхъ частей (барабановъ, шкивовъ, маховыхъ колесъ) опредѣляютъ по S. Kalep, Bestimmung des Trägheitsmomentes sich drehender Machinenteile (Trommeln, Riemenscheiben, Schwungräder), Civilingenieur 1892, вып. 5, стр. 380.

НТБ ДНУЗТ

находящейся въ движущемся тѣлѣ, и на движеніе поступательное (сдвиженіе) или на два вращенія около неподвижныхъ осей.

Примѣръ: Цилиндръ массой m скатывается съ наклонной плоскости (черт. 139). Нормальное сопротивленіе пути $= N$, касательное сопротивленіе $= N_t$. Имѣемъ $N = G \cos \alpha$, $N_t \leqq \mu N$. (См. стр. 216).

Черт. 139.



$J = J'_z$ см. стр. 191, 17., остальныя обозначенія см. стр. 208 и 209.

$$R = G \sin \alpha - N_t; \qquad \mathfrak{M} = N_t r;$$

$$p_s = \frac{G \sin \alpha - N_t}{m} = g \sin \alpha - \frac{N_t}{m};$$

$$\varepsilon = \frac{\mathfrak{M}}{J} = \frac{2 N_t r}{m r^2} = \frac{2 N_t}{m r}.$$

Случай 1. Если должно имѣть мѣсто только катаніе, то для точки опоры должно быть:

$$p_s t - \varepsilon r t = 0, \qquad \text{слѣд.} \qquad g \sin \alpha - \frac{N_t}{m} = \frac{2 N_t}{m r} r = \frac{2 N_t}{m};$$

$$N_t = {}^1/_3 G \sin \alpha, \text{ или}$$

$$N_t = {}^1/_3 G \sin \alpha < \mu N = \mu G \cos \alpha, \text{ т. е. } \operatorname{tg} \alpha < 3 \mu.$$

Тогда будетъ:

$$R = \frac{2}{3} G \sin \alpha; \qquad p_s = \frac{2}{3} g \sin \alpha; \qquad \varepsilon = \frac{2}{3} \frac{g \sin \alpha}{r}.$$

Случай II. Если $\operatorname{tg} \alpha > 3 \mu$, то одновременно будутъ имѣть мѣсто катаніе и скольженіе.

Получимъ: $N_t = \mu N = \mu G \cos \alpha$; $R = G \sin \alpha - \mu G \cos \alpha$.

$$p_s = g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha); \qquad \varepsilon = \frac{\mathfrak{M}}{J} = \frac{2 \mu G \cos \alpha}{m r} = \frac{2 \mu g \cos \alpha}{r}.$$

Для движенія цилиндра по горизонтальному пути ($\alpha = 0$), при условіи только катанія, найдемъ усиліе тяги $Z < 3 \mu G$.

D. Ударъ.

Прямая, которая нормальна къ общей касательной плоскости двухъ ударяющихся тѣлъ въ точкѣ ихъ соприкосновенія, назыв. линіей удара.

Если центры тяжести ударяющихся тѣлъ находятся на этой линіи, то такой ударъ наз. **центральнымъ**, въ противномъ случаѣ будемъ имѣть **внѣцентренный ударъ**. Если направленіе движенія обоихъ центровъ тяжести параллельно линіи удара, то ударъ наз. **прямымъ**, въ противномъ случаѣ ударъ будетъ **косой**.

a. Прямой, центральный ударъ.

Двѣ массы M_1 и M_2 съ одинаково направленными скоростями v_1 и v_2 ударяютъ другъ въ друга. Между скоростями v_1 и v_2 и скоростями послѣ удара c_1 и c_2 имѣемъ соотношеніе:

$$M_1 v_1 + M_2 v_2 = M_1 c_1 + M_2 c_2.$$

НТБ ДНУЗТ

1. Вполнѣ неупругій ударъ.

Обѣ массы послѣ удара движутся съ общею скоростью:

$$c = c_1 = c_2 = \frac{M_1 v_1 + M_2 v_2}{M_1 + M_2}.$$

Потеря живой силы составляетъ:

$$L = \frac{1}{2} \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} (v_1 - v_2)^2.$$

2. Вполнѣ упругій ударъ.

Потеря работы L равна нулю. Скорости послѣ удара будутъ:

$$c_1 = \frac{(M_1 - M_2) v_1 + 2 M_2 v_2}{M_1 + M_2}; \qquad c_2 = \frac{(M_2 - M_1) v_2 + 2 M_1 v_1}{M_1 + M_2}$$

Для $v_2 = 0$ будемъ имѣть:

$$c_1 = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} v_1; \qquad c_2 = \frac{2 M_1}{M_1 + M_2} v_1.$$

Если $M_1 = M_2$, то $c_1 = v_2$, $\quad c_2 = v_1$.

3. Невполнѣ упругій ударъ.

Если для обоихъ тѣлъ коэффиціентъ упругости α, то будемъ имѣть:

$$c_1 = \frac{M_1 v_1 + M_2 v_2 - M_2 (v_1 - v_2) \sqrt{\alpha}}{M_1 + M_2},$$

$$c_2 = \frac{M_1 v_1 + M_2 v_2 + M_1 (v_1 - v_2) \sqrt{\alpha}}{M_1 + M_2},$$

$$L = \frac{1}{2} \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} (v_1 \quad v_2)^2 (1 - \alpha).$$

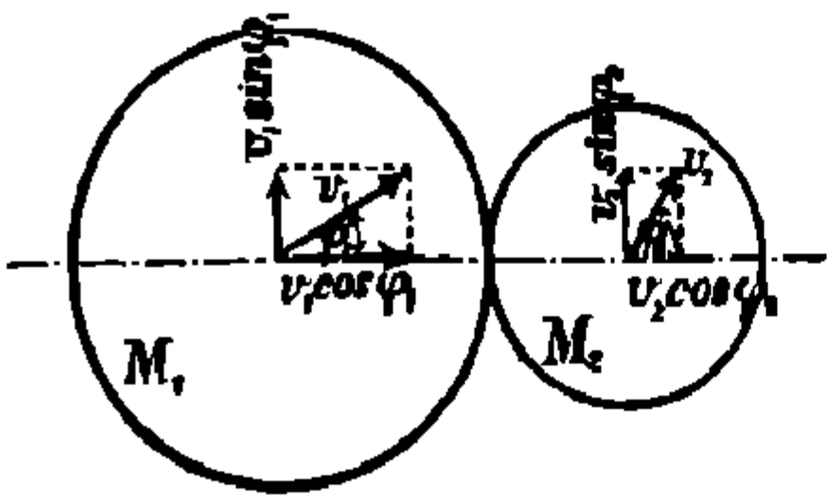
Коэффиціентъ упругости находится изъ $\alpha = h_1 \quad h$, гдѣ h_1 означаетъ ту высоту, на которую отекакиваетъ шаръ изъ соотвѣтствующаго матеріала, когда шаръ этотъ падаетъ съ высоты h. Величина α въ значительной мѣрѣ зависитъ отъ скорости, съ которою шаръ ударяется, т.-е. отъ h. Въ среднемъ, для слоновой кости $\alpha = (^6/_9)^2$, для стали и пробки $\alpha = (^5/_9)^2$, для стекла $\alpha = (^{15}/_{16})^2$

Въ случаѣ **1.** $\alpha = 0$; въ случаѣ **2.** $\alpha = 1$.

b. Косой, центральный ударъ.

Скорость v_1 и v_2 разлагаемъ на $v_1 \cos \varphi_1$ и $v_1 \sin \varphi_1$ и соотвѣтств. $v_2 \cos \varphi_2$ и $v_2 \sin \varphi_2$ по направленію линіи удара и нормально къ нему. Если пренебречь треніемъ, то скорости $v_1 \sin \varphi_1$ и $v_2 \sin \varphi_2$ остаются безъ измѣненія. $v_1 \cos \varphi_1$ и $v_2 \cos \varphi_2$ измѣняются по правиламъ прямого центральнаго удара въ c'_1 и c'_2. Скорости c'_1 и c'_2 вмѣстѣ со скоростями $v_1 \sin \varphi_1$ и $v_2 \sin \varphi_2$ даютъ скорости послѣ удара.

Черт. 140.

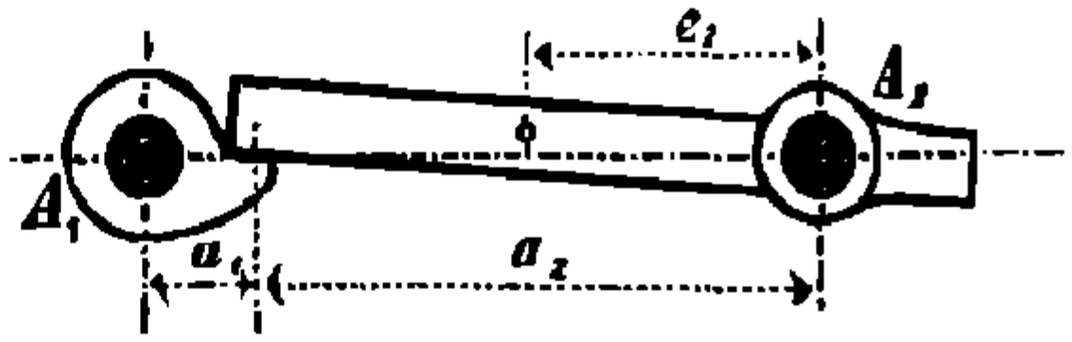


НТБ ДНУЗТ

c. Прямой, внѣцентренный ударъ.

Два тѣла, вращающіяся около параллельныхъ осей A_1 A_2 (черт. 141), встрѣчаются со скоростями v_1 и v_2.

Черт. 141.



Пусть моменты инерціи обоихъ тѣлъ относительно ихъ осей вращенія будутъ $m_1 k_1^2$ и $m_2 k_2^2$. Здѣсь могутъ быть примѣнены формулы для прямого центральнаго удара (стр. 213), если ввести вмѣсто массъ вращающихся тѣлъ тѣ же массы, отнесенныя къ точкѣ удара, т. е.

$$\frac{m_1 k_1^2}{a_1^2} \quad \text{соотв.} \quad \frac{m_2 k_2^2}{a_2^2}.$$

Для того, чтобы избѣжать дѣйствія удара на одну изъ осей (напр. A_2), необходимо, чтобы точка удара и точка вращенія A_2 находились между собою въ такомъ же соотношеніи, какъ центръ качанія и точка привѣса въ физическомъ маятникѣ (стр. 212), т. е. должно быть $a_2 = \frac{k_2^2}{e_2}$, если e_2 означаетъ разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія.

d. Косой, внѣцентренный ударъ.

Разлагаемъ, какъ и въ **b.**, скорости по линіи удара и нормально къ ней. При примѣненіи формулъ въ **c.** слѣдуетъ пользоваться только первыми двумя составляющими.

IV. СОПРОТИВЛЕНІЕ ОТЪ ТРЕНІЯ И ЖЕСТКОСТИ.

A. Коэффиціенты тренія.

a. Треніе въ покоѣ.

Если данное тѣло подъ вліяніемъ какой-либо внѣшней силы опирается на другое тѣло (опору), то тѣло это только тогда можетъ находиться въ равновѣсіи, когда сила эта образуетъ съ нормалью въ точкѣ соприкосновенія уголъ, который менѣе опредѣленнаго угла ϱ_0 или равенъ ему. Уголъ ϱ_0, или **уголъ тренія**

ГТБ ДНУЗТ

для покоя или **предѣльный уголъ для опорнаго тренія** зависитъ отъ степени шероховатости поверхностей. Разлагая всю силу въ опорѣ на двѣ составляющихъ, по нормали и по касательной плоскости къ поверхностямъ въ точкѣ соприкосновенія, получимъ нормальную N и касательную N_t силы въ опорѣ; изъ нихъ N_t производитъ **касательное** или **опорное тренiе** и, какъ слѣдуетъ по вышеприведенному,

$$N_t \leqq N\mu_0,$$

если $\mu_0 = \operatorname{tg}\varrho_0$ **коэффиціентъ опорнаго тренія** или **коэффиціентъ тренія для покоя.**

Если бы направленіе данной силы или равнодѣйствующей внѣшнихъ силъ отклонялось отъ нормали больше, чѣмъ на предѣльный уголъ ϱ_0, то сопротивленіе опорной поверхности не могло бы сохранить равновѣсія, и обѣ поверхности получили бы нѣкоторое относительное перемѣщеніе.

Таблицу коэффиціентовъ тренія для покоя для разныхъ строительныхъ матеріаловъ, см. стр. 217 и 218.

b. Скользящее тренiе.

1. Если между поверхностями двухъ тѣлъ, которыя производятъ другъ на друга нормальное давленіе N, имѣетъ мѣсто относительное перемѣщеніе, то въ каждый моментъ необходимо преодолѣвать сопротивленіе этому перемѣщенію, такъ наз. **сопротивленіе отъ тренія.**

Если тѣла соприкасаются по поверхности конечной (напримѣръ, элементъ поверхности), то относительное перемѣщеніе представляетъ лишь скольженіе, и сопротивленіе тренія—**скользящее треніе.** Если соприкосновеніе происходитъ по нѣкоторой линіи, то перемѣщеніе можетъ быть скользящее или катящееся по линіи соприкосновенія (послѣднее движеніе производитъ **катящееся треніе**). При касаніи въ одной точкѣ различаютъ, кромѣ скользящаго и катящагося движенія, еще (на практикѣ неважное) **сверлящее** движеніе около нормали.

2. Величина сопротивленія отъ тренія W зависитъ, главнымъ образомъ, отъ нормальнаго давленія N и строенія поверхностей; кромѣ того, отъ давленія, производимаго на единицу площади, скорости движенія и температуры.

Если $$W = \mu N,$$

то μ наз. **коэффиціентомъ тренія** (при движеніи).

Равнодѣйствующая W и N образуетъ съ нормалью уголъ ϱ, такъ наз. **уголъ тренія**, для котораго

$$\operatorname{tg}\varrho = \mu.$$

НТБ ДНУЗТ

3. Коэффиціенты скользящаго тренія нѣкоторыхъ металловъ (μ) для значительныхъ давленій и слабо смазанныхъ поверхностей, по Ренни.

Давленіе въ kg на 1 qcm	Коэффиціентъ тренія при движеніи μ. Желѣзо по желѣзу.	Чугунъ по желѣзу.	Сталь по чугуну.	Желтая мѣдь по чугуну.	Примѣчаніе.
8,79	0,140	0,174	0,166	0,157	Плоскости были смазываемы и затѣмъ вытираемы, такъ что **между плоскостями не оставалось слоя смазки,** который препятствовалъ бы внутреннему соприкосновенію плоскостей.
13,08	0,250	0,275	0,300	0,225	
15,75	0,271	0,292	0,333	0,219	
18,28	0,285	0,321	0,340	0,214	
20,95	0,297	0,329	0,344	0,211	
23,62	0,312	0,333	0,347	0,215	
26,22	0,350	0,351	0,351	0,206	
27,42	0,376	0,363	0,353	0,205	
31,50	0,395	0,365	0,354	0,208	
34,10	0,403	0,366	0,356	0,221	
36,77	0,409	0,366	0,357	0,223	
39,37	Плоскости повреждены.	0,367	0,358	0,233	
42,18		0,367	0,359	0,234	
44,58	—	0,367	0,367	0,235	
47,25	—	0,376	0,403	0,233	
49,92	—	0,434	Плоскости повреждены.	0,234	
55,12	—	Плоскости повреждены.		0,232	
57,65	—		—	0,273	

4. Таблица коэффиціентовъ скользящаго тренія μ и μ_0 для небольшихъ давленій (0,96 до 1,37 kg на 1 qcm) по Морену.

Трущіяся тѣла.	Расположеніе волоконъ.	Коэффиціентъ тренія: для движенія μ. На сухо.	Слабая смазка.	Нормал. смазка.	Съ водой	для покоя μ_0. На сухо.	Слабая смазка.	Нормал. смазка.	Съ водой
Металлъ по металлу.									
Бронза по бронзѣ.	—	0,20	—	—	—	—	—	—	
„ по чугуну.	—	0,21	—	—	—	—	—	—	—
„ по желѣзу.	—	—	0,16	—	—	—	—	—	—
Чугунъ по чугуну или бронзѣ	—	—	0,15	—	0,31	—	0,16	—	—
Желѣзо по чугуну или бронзѣ	—	0,18	—	—	—	0,19	—	—	—
Желѣзо по желѣзу	—	0,44	—	—	—	—	0,13	—	—
Сталь по стали.	—	—	—			0,15	—	—	—

НТБ ДНУЗТ

Трущіяся тѣла.	Расположеніе волоконъ *).	Коэффиціентъ тренія: для движенія μ. На сухо.	Слабая смазка.	Нормал. смазка.	Съводой.	для покоя μ_0. На сухо.	Слабая смазка.	Нормал. смазка.	Съводой.
Различныя тѣла.									
Чугунъ по дубу	=	0,49	0,19	(сух. мыло)	0,22	—	—	—	0,65
Желѣзо по дубу	=	—	—	0,08 (сало)	0,26	—		0,11 (сало)	0,65
Желтая мѣдь по дубу.	=		—	—		0,62		—	—
Дубъ по дубу	=	0,48	—	0,16	(мыло)	0,62	—	0,44	(сух. мыло)
	∓	0,34	—	—	0,25	0,54		—	0,71
	|	0,19	—	—		0,43			—
Воловья кожа по дубу	Кожа плаш.	—	—			0,61	—		—
	Кожа на ребро.	0,33	—		0,29	0,43			0,79
Кожаный ремень по дубовому барабану	=	0,27			—	См. стр. 235.	0,47	—	—
Кожаный ремень по чугуну		0,56			0,36		0,28	0,12	0,38
Воловья кожа въ поршняхъ (стр. 220).		0,56	0,23	0,15	0,36	—		0,12	0,62
Пеньковый канатъ по необр. дереву.		(масло, мыло). —		—		(масло, мыло). 0,50		—	—
Тоже по полиров.			—	—		0,33	—	—	—
Дубъ, бѣлый букъ, бакаутъ по полиров. гранитy или желтой мѣди (по Гоппе).	=		—			—	—	Давл. на поверх. 3,25 kg/qcm	0,53
	∓						—		0,49 (Бакаутъ 0,40).
Камни или кирничъ по кирпичу	—	гладко обдѣлан.				0,53—0,73		(на сухо).	
Тоже	—	на свѣжемъ растворѣ.				0,50—0,70		—	—
Камни по желѣзу.	—	—	—	—		0,42—0,49		—	—
Камни по дереву		—	—	—	—	0,46—0,60		—	—
Кам. клад. по бетону.		—	—	—		0,76	—	—	—
Каменная кладка по растител. землѣ		сухой и твердой.				0,65	—	—	
Тоже	—	средней.				0,45	—	—	—
Тоже		сырой .				0,30	—	—	—
Сталь по льду	—	0,014	—	—	—	0,027	—	—	—

*) Знакъ = означаетъ, что движеніе направлено вдоль волоконъ обоихъ тѣлъ, знакъ ∓, что оно направлено поперекъ волоконъ, а знакъ —|, что торецъ движется вдоль волоконъ.

НТБ ДНУЗТ

5. Коэффиціенты тренія для особыхъ, встрѣчающихся на практикѣ, случаевъ.

1. **Части приводовъ** (общее сопротивленіе отъ тренія) въ среднемъ $\mu = 0{,}05$.

2. Желѣзные **бандажи** по сухимъ желѣзнымъ **рельсамъ**, по Поаре. (Вѣсъ вагоновъ отъ 3400 до 8400 kg):

Скорость V въ km въ часъ:	16,56	26,28	31,68	51,48	72,00	79,20
Коэффиціентъ тренія	$\mu = 0{,}209$	0,206	0,171	0,145	0,136	0,112

3. Чугунныя **тормазныя колодни** по **стальнымъ бандажамъ**, по Гальтону:

Скорость V въ km въ	Начало	7,56	15,84	39,96	72,36	96,48
Коэффиціентъ тренія.	$\mu = 0{,}330$	0,273	0,242	0,166	0,127	0,074

Если V скорость (равномѣрная) движенія поѣзда въ km въ часъ, то по новѣйшимъ опытамъ Вихерта *) для скользящаго тренія между тормазными колодками литой стали и стальными бандажами получается

$$\mu = \beta \frac{1 + 0{,}0112\, V}{1 + 0{,}06\, V},$$

гдѣ въ случаѣ сухихъ трущихся поверхностей $\beta = 0{,}45$, а въ случаѣ мокрыхъ $\beta = 0{,}25$. Если поѣздъ, имѣющій скорость V, долженъ быть остановленъ, то для всего времени тормаженія можно принять одинъ средній коэффиціентъ тренія μ'. Для различныхъ скоростей V имѣемъ нижеслѣдующіе коэффиціенты тренія, причемъ для μ' приняты невыгодныя условія (мокрые рельсы).

Скорость V въ km въ часъ.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Поверхности тренія сухія $\mu =$	0,450	0,313	0,250	0,215	0,192	0,176	0,164	0,154	0,147	0,141
Поверхности тренія мокр. $\mu =$	0,250	0,174	0,139	0,119	0,107	0,098	0,091	0,086	0,082	0,078
Среднее значеніе μ'		0,201	0,164	0,142	0,128	0,117	0,109	0,103	0,098	0,093

4. **Стальные бандажи** по **стальнымъ рельсамъ**, по Гальтону:

Скорость V въ km въ часъ:	Начало	11,16	54,72	96,48
Коэффиціентъ тренія.	$\mu = 0{,}242$	0,088	0,065	0,027

5. **Гидравлическія подъемныя машины**, по опытамъ Ланга:

a) **Бронза или бакаутъ (бакаутовое дерево) по бронзѣ:**

μ постоянно при медленномъ перемѣнномъ движеніи и при давленіяхъ отъ 2 до 100 атм.

Золотники при непрерывной жирной смазкѣ. $\mu = 0{,}06$

„ смоченные водой черезъ многочисленныя канавки $\mu = 0{,}10$

„ работаютъ насухо и шумятъ μ до $0{,}30$

b) **Сальники** съ пеньковой, хлопчато-бумажной набивкой или кожанымъ манжетомъ; μ постоянно въ промежуткахъ отъ 1 до 50 атмосферъ давленія и не зависитъ отъ **высоты набивки.**

*) См. Centralbl. d. Bauverw. 1894, стр. 73.

НТБ ДНУЗТ

Треніе въ kg $= \mu \times$ давленіе воды въ атмосфер. $\times$ окружность поверхности, покрытой набивкой, въ cm.

α. **Хлопчатая бумага или пенька**, сплетенная или наложенная въ сыромъ видѣ, пропитанная горячимъ саломъ, поршень гладкій, сальникъ нажатъ не сильно настолько, что набивка обладаетъ еще нѣкоторою упругостью, размѣры общеупотребительные: даже послѣ нѣсколькихъ мѣсяцевъ работы можно принимать $\mu =$ 0,06 до 0,11.

β. Тотъ же матеріалъ, при трудности выполненія самой набивки (вслѣд. тяжелаго сальника, неудобнаго расположенія и др.). $\mu =$ до 0,25

γ. **Набивка кожаными манжетами**:

мягкая кожа, хорошее выполненіе.	$\mu =$ 0,03 до 0,07
твердая кожа.	$\mu =$ 0,10 до 0,13
плохія условія работы (шероховатый поршень, грязная вода и т. п.)	$\mu =$ до 0,20.

Дальнѣйшія данныя см. отдѣлъ V, сальники.

6. **Точильные камни.** Коэффиціентъ тренія между крупнозернистымъ песчанникомъ и чугуномъ $\mu = 0{,}21$ до 0,24, сталью $\mu = 0{,}29$, желѣзомъ $\mu = 0{,}41$ до 0,46 въ зависимости отъ состоянія поверхности точильнаго камня; для мелкозернистаго камня имѣемъ въ среднемъ для чугуна $\mu = 0{,}72$, стали $\mu = 0{,}94$, желѣза $\mu = 1{,}0$.

7. **Коэффиціенты общаго тренія для телѣгъ** *).

Гладкая дорога изъ гранитныхъ плитъ . . .	0,006.
Рельсы городскихъ дорогъ въ среднемъ	0,006 до 0,008.
Хорошая асфальтовая мостовая	0,010.
Отличная булыжная мостовая	0,015.
Шоссированная обыкновеннымъ щебнемъ дорога въ хорошемъ состояніи	0,016.
Хорошая деревянная мостовая.	0,018.
Хорошая булыжная мостовая .	0,020.
Шоссированная дорога въ хорошемъ состояніи.	0,023.
„ „ покрытая пылью	0,028.
Плохая булыжная мостовая	0,033.
Шоссированная дорога, покрытая грязью.	0,035.
Грунтовыя дороги очень хорошія	0,045.
Шоссированный путь, плохо построенный. . . .	0,050.
Грунтовыя дороги разныя	0,080 до 0,160.
Сыпучій песокъ.	0,15 до 0,30.

8. **Треніе полозьевъ** съ деревянной обдѣлкой по гладкому каменному или деревянному пути:

Безъ смазки	$\mu =$ 0,38.
При смазкѣ сухимъ мыломъ.	$\mu =$ 0,15.
„ „ саломъ . .	$\mu =$ 0,07.
Деревянные полозья по снѣгу и льду. .	$\mu =$ 0,035.
„ обитые желѣзомъ, по снѣгу и льду	$\mu =$ 0,02.

*) См. Handbuch. d. Baukunde, I, стр. 552; также Centralbl. d. Bauverw. 1888 стр. 543.

НТБ ДНУЗТ

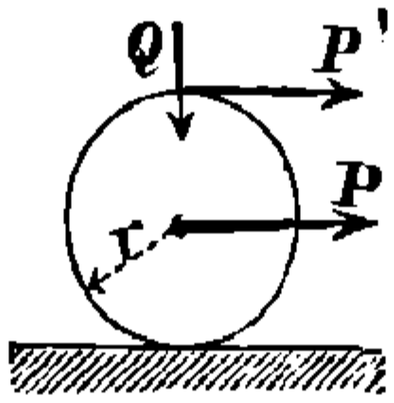
9. Сопротивленія тренію желѣзно-дор. подв. состава см. ч. II. отдѣлъ XI, для судовъ см. часть II, отдѣлъ XII. Для желѣзнодорожнаго подвижного состава (на прямомъ горизонтальномъ пути) можно принимать коэффиціентъ общаго тренія въ среднемъ 0,004 до 0,005, для судовъ 0,000 3 до 0,000 5.

c. Треніе при катаніи.

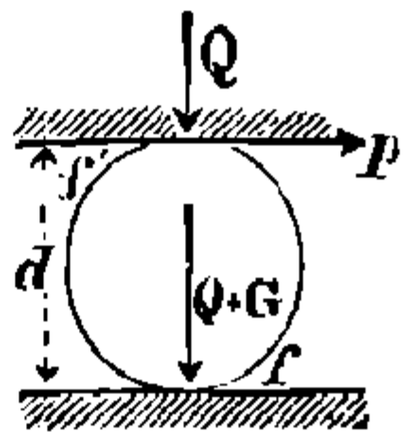
1. Если по плоской подставкѣ катать безъ скольженія цилиндръ, который производитъ на эту подставку давленіе Q (черт. 142), то для достиженія вращенія около точки опоры необходимо преодолѣть дѣйствіе пары силъ, моментъ которой $M = Qf$. Величина f (въ **cm**), плечо или **коэффиціентъ тренія при катаніи**, равна:

Черт. 142.

Черт. 143.



Черт. 144.



для бакаута по бакауту $f = 0{,}047$ cm,
„ вяза по бакауту. $f = 0{,}081$ cm,
„ желѣза по желѣзу (и стали по стали) $f = 0{,}05$ cm.

2. Если, напр., пара силъ M преодолѣвается силой P, приложенной къ центру тяжести (черт. 143), то имѣемъ соотношеніе для P:

$$Pr = M = Qf.$$

Если сила P' приложена на окружности діаметрально противоположно точкѣ опоры, то имѣемъ:

$$P'.2r = M = Qf$$

3. Если грузъ Q перемѣщается по валику (черт. 144) и f означаетъ коэффиціентъ тренія при катаніи для валика и подставки, а f' тотъ же коэффиціентъ для валика и груза, G собственный вѣсъ валика, то:

$$Pd = M = Qf' + (Q + G)f.$$

4. Цилиндръ радіуса r начинаетъ катиться по наклонной плоскости, когда послѣдняя имѣетъ наклонъ $\operatorname{tg}\alpha = f : r$, отсюда слѣдуетъ $f = r \operatorname{tg}\alpha$ (см. примѣръ стр. 213).

B. Соотношенія силъ и работъ въ частяхъ передачъ.

a. Общіе законы.

Если Q полезное сопротивленіе передачи въ kg,
q путь, проходимый этимъ сопротивленіемъ, въ m,
P дѣйствительная движущая сила въ kg,

НТБ ДНУЗТ

p путь, проходимый точкой приложенія движущей силы въ то времн, когда сила Q проходитъ путь q,

тогда: $\eta = \frac{Qq}{Pp} = \frac{\text{полезной работѣ}}{\text{общ. израсходов. работу}} =$ **степень полезнаго дѣйствія передачи**. **Работа тренія** $A_r = Pp - Qq$.

Если P_0 теоретическая движущая сила, которая въ состояніи была бы удержать въ равновѣсіи полезный грузъ Q, если бы не было сопротивленія отъ тренія, и Q_0 теоретическій полезный грузъ, который могла бы преодолѣть движущая сила P, если бы движеніе могло происходить безъ тренія, то

$$\eta = \frac{P_0}{P} = \frac{Q}{Q_0}.$$

Если при обратномъ движеніи передачи $\eta \leqq 0$, то передача наз. **самотормазящей**; вслѣдствіе различныхъ сопротивленій отъ тренія, обратное движеніе отъ дѣйствія самихъ грузовъ въ этомъ случаѣ невозможно.

Если передача состоитъ изъ отдѣльныхъ элементарныхъ передачъ со степенями полезнаго дѣйствія η_1, η_2, η_3 ., то **общая степень полезнаго дѣйствія** будетъ:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad *).$$

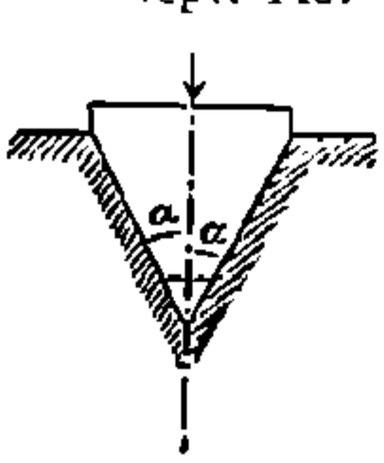
Отношеніе работы тренія $A_r = Pp - Qq$ къ полезной работѣ $A_n = Qq$ назыв. **удѣльною потерею работы** $\mathfrak{B} = A_r \; A_n$. Для η и $\mathfrak{B}$ имѣемъ соотношенія:

$$\mathfrak{B} = \frac{A_r}{A_n} = \frac{Pp}{Qq} \quad 1 \qquad \eta = \frac{1}{1+\mathfrak{B}}$$

b. Клинья.

1. Движеніе въ призматическихъ желобахъ.

Черт. 145.



Если на призму, находящуюся въ призматическомъ желобѣ (черт. 145), съ угломъ наклоненія граней $= 2\alpha$, произвести давленіе силою Q, то сопротивленіе отъ тренія, которое необходимо преодолѣть при движеніи призмы вдоль ея оси по длинѣ желоба, будетъ:

$$W = Q \frac{\mu}{\sin \alpha} = Q\mu'$$

$$\left(\mu' = \frac{\mu}{\sin \alpha} = \left\{ \begin{array}{c} \text{коэффиціенту тренія при движеніи} \\ \text{призмъ по призматическимъ желобамъ.} \end{array} \right. \right)$$

---

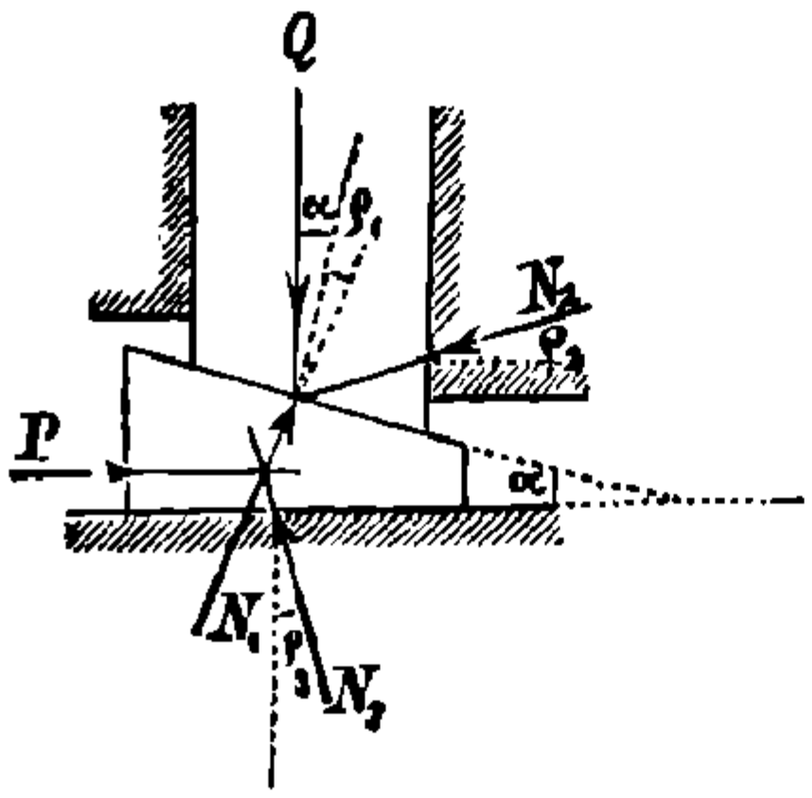
*) Графическое опредѣленіе η, см. G. Herrmann, Zur graphischen Statik der Maschinengetriebe; Braunschweig, 1897. F. Vieweg.

НТБ ДНУЗТ

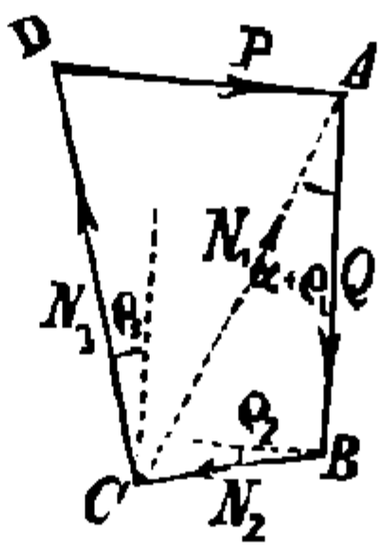
2. Клиновый прессъ.

Клинъ перемѣщается по направленію P (черт. 146); вслѣдствіе этого перемѣщенія преодолѣвается сила Q. Давленія въ опорныхъ плоскостяхъ N_1, N_2, и N_3, равно какъ и P, получаются посредствомъ чертежа (черт. 147), если ϱ_1, ϱ_2 и ϱ_3 означаютъ соотвѣтственные углы тренія.

Черт. 146.



Черт. 147.



Проводимъ AC подъ угломъ $\alpha + \varrho_1$ къ Q, $BC \parallel N_2$, т. е. подъ угломъ ϱ_2 къ горизонтали; чрезъ точку пересѣченія C проводимъ $CD \parallel N_3$, т. е. подъ угломъ ϱ_3 къ вертикали. Горизонтальная прямая, проведенная черезъ A и равная AD, будетъ тогда $= P$. Аналитически находимъ:

$$N_1 : Q = \cos \varrho_2 \cos (\alpha + \varrho_1 + \varrho_2),$$

$$P : N_1 = \sin (\alpha + \varrho_1 + \varrho_3) : \cos \varrho_3; \quad \text{отсюда:}$$

$$P : Q = \frac{\cos \varrho_2 \sin (\alpha + \varrho_1 + \varrho_3)}{\cos \varrho_3 \cos (\alpha + \varrho_1 + \varrho_2)}.$$

Напр., для $\varrho_1 = \varrho_2 = \varrho_3 = \varrho$: $P = Q \operatorname{tg} (\alpha + 2\varrho)$.

Полезное дѣйствіе: $\eta = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} (\alpha + 2\varrho)$.

Сила P_1, необходимая для того, чтобы ослабить клинъ:

$$P_1 = Q \operatorname{tg} (2\varrho - \alpha).$$

Самотормаженіе будетъ происходить до тѣхъ поръ, пока $\alpha < 2\varrho$ и соотвѣт. $< \varrho_1 + \varrho_3$.

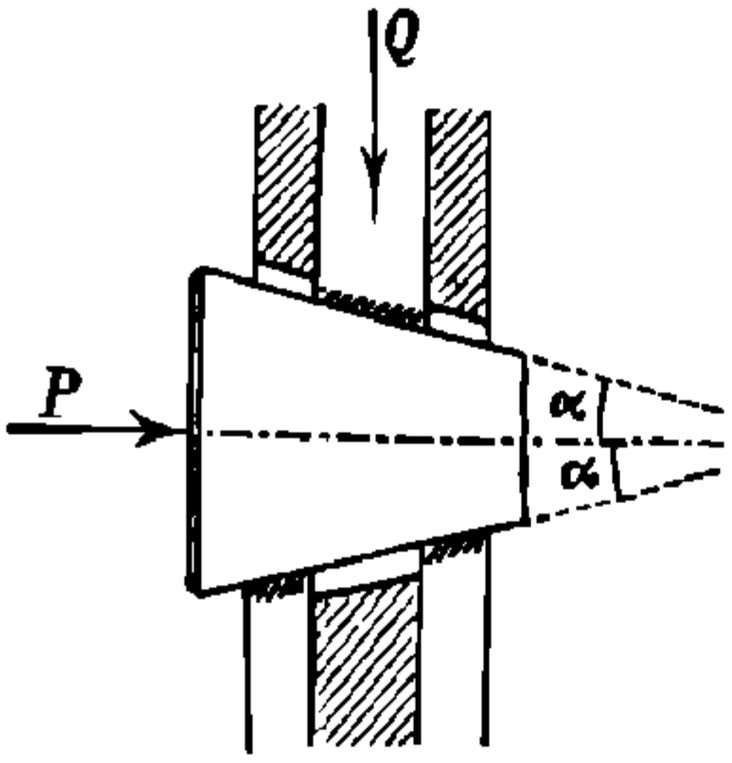
Для клиноваго пресса черт. 148 имѣемъ (черт. 149):

$$P = \frac{2\,Q \cos \varrho \sin (\alpha + \varrho)}{\cos (\alpha + 2\varrho)} = \frac{2\,Q \operatorname{tg} (\alpha + \varrho)}{1 - \operatorname{tg} \varrho \operatorname{tg} (\alpha + \varrho)} \backsim 2\,Q \operatorname{tg} (\alpha + \varrho).$$

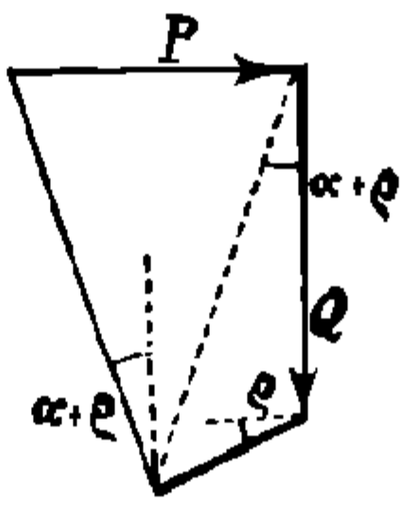
$$P_1 \backsim 2\,Q \operatorname{tg} (\varrho - \alpha).$$

$$\eta = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} (\alpha + \varrho).$$

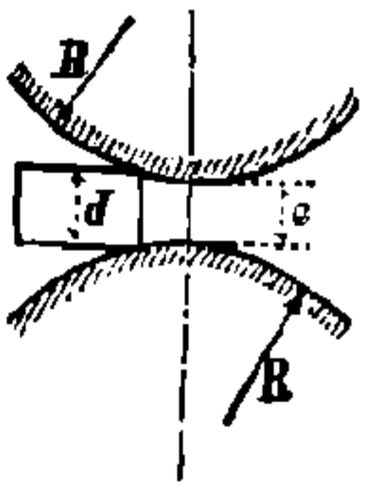
Черт. 148.



Черт. 149.



Черт. 150.



НТБ ДНУЗТ

Самотормаженіе будетъ происходить до тѣхъ поръ, пока $\alpha < \varrho$ и соотвѣт. $2\alpha < \varrho_1 + \varrho_3$.

3. Процессъ прокатки.

Для выполненія процесса прокатки (черт. 150) должно быть:
$d - e \gtrless 2R(1 - \cos\varrho)$, гдѣ $\operatorname{tg}\varrho = \mu$ (см. стр. 216).

Напр., для раскаленнаго желѣза между чугунными вальцами (при $\mu = \operatorname{tg}\varrho = 0{,}1$) должно быть:

$$d - e \gtrless 0{,}01\ R.$$

c. Цапфы.

1. Давленіе на поверхность цапфы и сопротивленіе отъ тренія *).

Пусть означаютъ: P давленіе, производимое на цапфу въ kg,
l длина и $d = 2r$ діаметръ цапфы въ cm,
df элементъ поверхности цапфы въ qcm,
y разстояніе df до оси вращенія въ cm,
p нормальное давленіе въ kg на 1 qcm площади df,
φ уголъ между нормалью къ элементу df и направленіемъ силы P.

Кромѣ того: μ коэффиціентъ скользящаго тренія (стр. 216 и 217),
μ_1 коэффиціентъ тренія цапфы.

Тогда имѣемъ:

Моментъ тренія цапфы $M = \mu \int p.df.y$, въ cmkg,

работа тренія при одномъ оборотѣ: $A_r = 2\pi M$ въ cmkg,
а при n оборотахъ въ минуту:

работа тренія въ секунду $E = \frac{2\pi\mu n}{60} \int p.df.y = \frac{\pi n}{30} M$ въ cmkg.

Давленіе на **единицу поверхности** цапфы p можетъ быть при новыхъ цапфахъ принято одинаковымъ для всѣхъ df и не зависящимъ отъ φ, т. е. опредѣлено изъ $p = P : f$, если f проекція поверхности цапфы на плоскость, нормальную къ направленію дѣйствія силы P. Для приработавшихся цапфъ получимъ p, въ предположеніи, что износъ, измѣренный по направленію силы P, для всѣхъ элементовъ df поверхности одинаковъ, изъ:

$$p = \text{const.}\frac{\cos\varphi}{y}, \text{ пользуясь уравненіемъ:}$$

$$P = \int p.df.\cos\varphi = \text{const.}\int \frac{\cos^2\varphi}{y}\,df.$$

*) См. F. Reuleaux. Zapfenreibung, Zeitsh.d. V. d. Ing. 1891, стр. 932.

НТБ ДНУЗТ

$p_m = \frac{P}{2rl} = \frac{\pi}{4} p_{max} = 0{,}7854\ p_{max}$ есть **среднее вертикальное давленіе,**

$p_r = \frac{2}{\pi} p_{max} = 0{,}81\ p_m$ есть **среднее радіальное давленіе.**

Выраженіе $\mu_1 = \frac{4}{\pi}\mu = 1{,}273\,24\ \mu$ (см. таблицу стр. 228) наз. **коэффиціентомъ тренія цапфъ**; онъ опредѣляется непосредственно изъ опыта*), а именно слѣд. образомъ.

$$M = \mu_1 Pr \text{ и } E = \frac{\pi n}{30} M,$$

слѣд.
$$\mu_1 = \frac{30}{\pi}\frac{E}{Prn} = 9{,}5493\ \frac{E}{Prn}.$$

Коэффиціентъ тренія μ_1 зависитъ отъ рода смазки. При хорошей смазкѣ рѣпнымъ или минеральнымъ масломъ, минеральнымъ саломъ, или смѣсью ихъ съ керосиномъ, для хорошо приточенныхъ цапфъ, въ бронзовыхъ подшипникахъ $\mu_1 = 0{,}003$ до $0{,}03$. При плохой смазкѣ и на открытомъ мѣстѣ $\mu_1 = 0{,}08$ до $0{,}10$ (см. ниже **2.**).

Цапфа является при работѣ тѣмъ болѣе выгодною, чѣмъ меньше ея моментъ тренія и чѣмъ меньше ея износъ.

Изъ всѣхъ формъ пятъ, въ предположеніи, что давленіе P и наибольшій радіусъ R даны, наименьшимъ моментомъ тренія обладаетъ полная плоская пята.

Наименьшій износъ имѣетъ мѣсто у полной плоской пяты и у цилиндрической поддерживающей цапфы.

При **графическихъ разсчетахъ** треніе цапфъ выражается тѣмъ, что противодавленіе подшипника проводятъ не черезъ ось цапфы, а проводятъ его касательнымъ къ кругу, наз. кругомъ тренія цапфы; его радіусъ a для цилиндрической цапфы находится изъ $a = \mu_1 r$, если r радіусъ цапфы, μ_1 коэффиціентъ тренія цапфы.

2. Коэффиціенты тренія цапфъ μ_1.

1. По Тоуеру и Турстону.

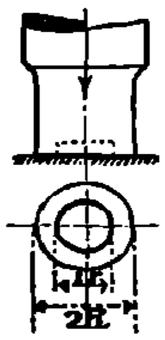
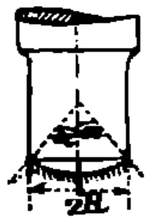
Наблюденія надъ стальною цапфою въ бронзовомъ подшипникѣ; $d = 102$ mm, $l = 152$ mm.

(Продолженіе на стр. 228).

*) Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 935.

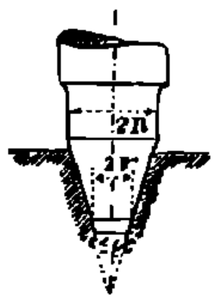
НТБ ДНУЗТ

1. Пяты. (Давленіе P дѣйствуетъ по направленію оси).

Цапфы.		Давленіе на единицу поверхности p: новыя цапфы.	Давленіе на единицу поверхности p: приработавшіяся цапфы. p	Давленіе на единицу поверхности p: приработавшіяся цапфы. p_{max}	Моментъ трепія M: новыя цапфы.	Моментъ трепія M: приработавшіяся цапфы.
Черт. 151. 	Плоская кольцевая поверхность; кольчатая пята.	$\frac{P}{\pi (R^2 - r^2)}$	$\frac{P}{2\pi (R-r)\, y}$	$\frac{P}{2\pi (R-r)\, r}$	$\frac{2}{3}\mu P \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$	$\frac{1}{2}\mu P (R+r)$
	Полная плоская пята.	$\frac{P}{\pi R^2}$	$\frac{P}{2\pi R y}$	∞	$\frac{2}{3}\mu P R$	$\frac{1}{2}\mu P R$
Черт. 152. 	Шаровой сегментъ. $\left(\alpha = \frac{\alpha^0}{180}\pi\right)$	$\frac{P}{\pi R^2}$	$\frac{P(\sin\alpha\cos\alpha + \alpha)}{\pi R^2 \operatorname{tg}\varphi}$	∞	$\mu P R \frac{\alpha - \sin\alpha\cos\alpha}{\sin^2\alpha}$	$\mu P R \frac{\sin^2\alpha}{\alpha + \sin\alpha\cos\alpha}$
	Полушаръ.	$\frac{P}{\pi R^2}$	$\frac{P}{2R^2 \operatorname{tg}\varphi}$	∞	$\frac{\pi}{2}\mu P R$	$\frac{2}{\pi}\mu P R$

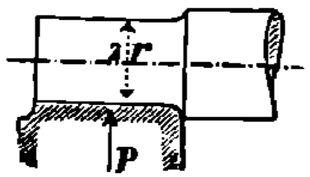
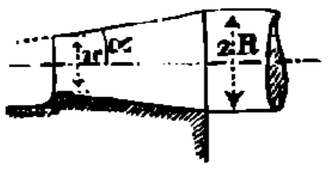
НТБ ДНУЗТ

Черт. 153.



Усѣченный конусъ.	$\frac{P}{\pi(R^2-r^2)}$	$\frac{P}{2\pi(R-r)y}$	$\frac{P}{2\pi(R-r)r}$	$\frac{2}{3}\mu P\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2}\frac{1}{\sin\alpha}$	$\frac{1}{2}\mu P\frac{R+r}{\sin\alpha}$
Полный конусъ.	$\frac{P}{\pi R^2}$	$\frac{P}{2\pi Ry}$	∞	$\frac{2}{3}\mu P\frac{R}{\sin\alpha}$	$\frac{1}{2}\mu P\frac{R}{\sin\alpha}$

2. Поддерживающія цапфы. (Давленіе P дѣйствуетъ нормально къ оси).

Цапфы. (Длина цапфы $= l$).		Давленіе повыя цапфы.	на единицу поверхности p: приработавшіяся цапфы. p	p_{max}	Моментъ тренія M. новыя цапфы.	приработавшіяся цапфы.
Черт. 154. 	Цилиндрическая, на половину окруженная.	$\frac{P}{2rl}$	$\frac{4}{\pi}\frac{P}{2rl}\cos\varphi$	$\frac{4}{\pi}\frac{P}{2rl}=\frac{4}{\pi}p_m$	$\frac{\pi}{2}\mu Pr$	$\frac{4}{\pi}\mu Pr=\mu_1 Pr$
	То же, но давленіе, производимое на крышку подшипника $= Q$.	$\frac{P+2Q}{2rl}$	$\frac{4}{\pi}\frac{P+2Q}{2rl}\cos\varphi$	$\frac{4}{\pi}\frac{P+2Q}{2rl}$	$\frac{\pi}{2}4(P+2Q)r$	$\mu_1(P+2Q)r$
Черт. 155. 	Усѣченный конусъ.	Давленіе D, которое дѣйствуетъ по направленію оси и при конической цапфѣ является вслѣдствіе стремленія ея соскользнуть, равно: $D=\frac{\pi}{2}P\operatorname{tg}\alpha$ для новой цапфы. $D=(4:\pi)P\operatorname{tg}\alpha$ для приработ.			$\frac{\pi}{3}\mu P\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2}\frac{1}{\cos\alpha}$	$\frac{2}{\pi}\mu P\frac{R+r}{\cos\alpha}$
	Полный конусъ.				$\frac{\pi}{3}\mu P\frac{R}{\cos\alpha}$	$\frac{2}{\pi}\mu P\frac{R}{\cos\alpha}$

Примѣчаніе. Для разсмотрѣнныхъ видовъ цапфъ могутъ служить слѣдующія два правила, какъ для новыхъ, такъ и для приработавшихся уже цапфъ:

α) Если на коноидальную цапфу дѣйствуетъ давленіе P по направленію оси и P_1 нормально къ оси, то общій моментъ тренія вычисляется въ предположеніи, что давленіе P дѣйствуетъ на цапфу какъ на пятникъ, а давленія P_1 совсѣмъ нѣтъ.

Для цилиндрическихъ цапфъ съ плоскими основаніями, наоборотъ, надо сложить моментъ тренія отъ P (на основаніе, какъ для кятниковъ) и отъ P_1 (на цилиндрическую поверхность, какъ для горизонтальныхъ цапфъ).

β) Если обѣ коноидальныя цапфы горизонтальнаго вала одинаковы и на одну изъ нихъ дѣйствуетъ давленіе P, а на другую меньшее давленіе P_1 нормально къ оси, то сумма моментовъ тренія обѣихъ цапфъ равна моменту, который получился бы для одной цапфы, подверженной давленію $2P$.

Для двухъ цилиндрическихъ цапфъ при этомъ вмѣсто $2P$ надо поставить $P+P_1$.

НТБ ДНУЗТ

Цапфа горизонтальная, односторонняя нагрузка сверху, въ масляной ваннѣ.

Родъ масла.	**Сопротивленіе отъ тренія** W для масляной ванны при скорости на окружности 1,6 m въ секунду и $p_m = 7{,}0$ до 21,8 kg/qcm. kg на 1 qcm поверхности цапфы.	Скорость въ m въ секунду.	Среднее давленіе kg/qcm p_m	μ_1.
Оливковое масло	0,0460	Отсюда находимъ $\mu_1 = \frac{W}{p_m}$ (См. 3, стр. 229).	0,8	36,5	0,0008
Топленое масло.	0,0458		1,06	36,5	0,0010
Рѣпное масло .	0,0360		2,13	36,5	0,0015
Минеральн. сало.	0,0737		0,8	36,5	0,0010
			2,13	36,5	0,0018
Спермац. масло.	0,0340		0,8	29,2	0,0015
			2,13	29,2	0,0021
Минерал. масло.	0,0438		0,8	36,5	0,00123
			2,13	36,5	0,00178
Минеральн. сало .			2,13	7,0	0,014
Оливковое масло и топленое сало.			2,13	7,0	0,008

Относительно вліянія различныхъ способовъ смазки Тоуеръ опредѣлилъ для вышеприведенной цапфы при 150 оборотахъ ея въ минуту и при рѣнномъ маслѣ (скорость на окружности 0,8 m въ секунду) *):

для масляной ванны и $p_m = 18{,}5$ kg/qcm: $\mu_1 = 0{,}001\,39$
„ смазки фитилемъ и $p_m = 17{,}1$ kg/qcm: $\mu_1 = 0{,}009\,80$
трущихъ подушекъ и $p_m = 19{,}1$ kg/qcm: $\mu_1 = 0{,}009\,00$

2. По Морену.

Трущіяся тѣла. ($p_m = 2{,}5$ до 10 kg/qcm).	Смазка	
	обыкновенная.	непрерывная.
Бронза по бронзѣ	0,10	—
„ „ чугуну	0,09	0,045 до 0,052
Чугунъ по бронзѣ .	0,075	—
„ „ чугуну . .	0,075	0,054
„ „ бакаут. дереву	(0,10 жирн. смаз.)	(0,28 съ водой)
	0,07	0,090
Бакаут. дер. по бакаут. дер.	—	0,07
Желѣзо по чугуну или бронзѣ .	(0,25 слаб. смазка)	
	0,07	0,054 **)
бакаут. дереву	(0,19 жирн. смаз.)	—
	0,11	

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1885, стр. 836 и слѣд.
**) По Валтье и Рюльману 0,02 до 0,03.

НТБ ДНУЗТ

3. По **Броуну** *), на основаніи опытовъ Тоуера и Турстона, слѣдуетъ:

1. Для **обильно смазываемыхъ** (посредствомъ масляной ванны) цапфъ: коэффиціентъ тренія μ_1, при среднихъ давленіяхъ и скоростяхъ, приблизительно обратно пропорціоналенъ давленію на единицу поверхности цапфы; т. е. треніе на единицу площади приблизительно постоянно; при одинаковомъ давленіи треніе увеличивается съ увеличеніемъ поверхности тренія.

2. При треніи **безъ смазки** величина μ_1 постоянна; треніе не
чины поверхности тренія.

3. При скоростяхъ тренія, увеличивающихся отъ 0,05 до 0,5 m въ секунду, величина μ_1 уменьшается. При 0,5 m происходитъ перемѣна, а при скоростяхъ свыше 0,5 m въ секунду μ_1 увеличивается съ корнемъ квадратнымъ изъ скорости, и слѣд. при скорости въ 2 m увеличивается на 100%.

4. При увеличеніи температуры въ извѣстныхъ предѣлахъ (0^0 до 40^0) уменьшается μ_1, и это уменьшеніе μ_1 приблизительно обратно пропорціонально температурѣ выше нуля.

4. Для стальныхъ шеекъ осей желѣзнодорожныхъ вагоновъ, смазываемыхъ сурѣннымъ масломъ (смазка фитилемъ и упругой подушкой), при подшипникахъ, залитыхъ баббитомъ, $\mu_1 = 0{,}009$ до 0,01, для бронзовыхъ подшипниковъ $\mu_1 = 0{,}014$. При этомъ обнаружилось, что μ_1 не зависитъ отъ нагрузки и скорости, измѣнявшейся отъ $n = 10$ до 360 оборотовъ въ минуту.

d. Винтъ.

1. Прямоугольная нарѣзка.

r радіусъ средней винтовой линіи,

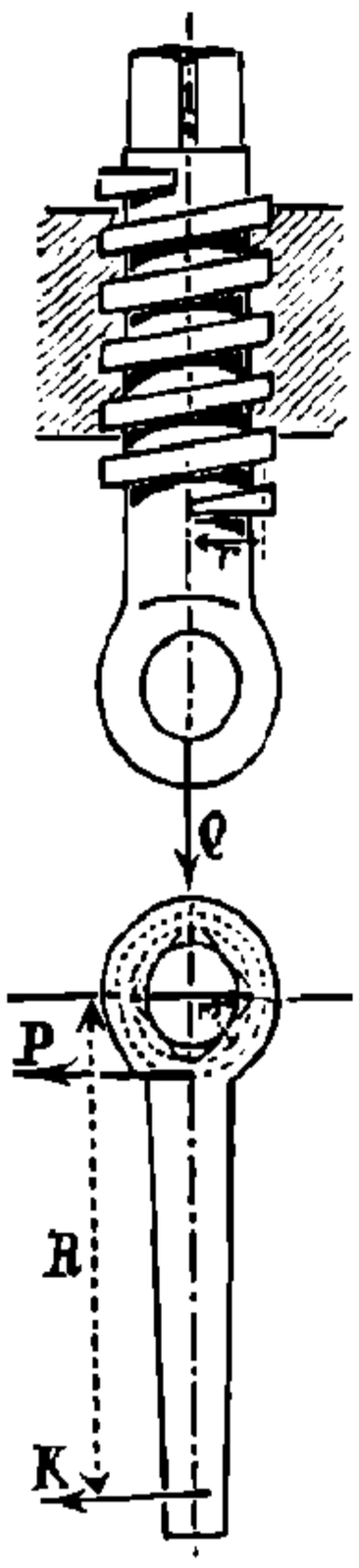
h ходъ винта или подъемъ,

α уголъ подъема $\left(\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{2\pi r} \right)$ средней винтовой линіи,

$\mu_0 = \operatorname{tg} \varrho_0$ коэффиціентъ тренія для покоя (стр. 215),

$\mu = \operatorname{tg} \varrho$ коэффиціентъ скользящаго тренія (стр. 216).

Черт. 156.



1. **Равновѣсіе** будетъ имѣть мѣсто при

$$Q \operatorname{tg}(\alpha - \varrho_0) < P < Q \operatorname{tg}(\alpha + \varrho_0) = Q \frac{h + 2\pi r \mu_0}{2\pi r - \mu_0 h},$$

если сила P приложена перпендикулярно къ оси винта на разстояніи r отъ послѣдней (черт. 156).

Сила K, оказывающая то же дѣйствіе, что и P, но приложенная на плечѣ R, опредѣлится изъ

$$Pr = KR.$$

Винтъ не вращается обратно, если $\alpha \leqq \varrho_0$.

2. Для **движенія винта** (черт. 157) имѣемъ:

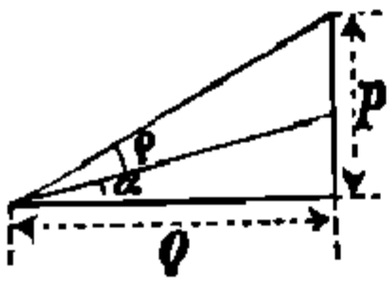
$$P = Q \operatorname{tg}(\alpha \pm \varrho) = Q \frac{h \pm 2\pi r \mu}{2\pi r \mp \mu h},$$

верхній знакъ берется въ случаѣ движенія по направленію, противоположному Q, а нижній знакъ для направленія движенія, совпадающаго съ Q.

*) Engineer, 1884, томъ 58, стр. 57 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 157.



Степень полезнаго дѣйствія: $\eta = \operatorname{tg}\alpha : \operatorname{tg}(\alpha+\varrho)$,
и соотв.: $\eta = \operatorname{tg}(\alpha-\varrho) : \operatorname{tg}\alpha$.

η будетъ maximum для $\alpha = 45^0 - {}^1/_2\,\varrho$, напр. для $\mu = 0{,}1$ η max. $= 0{,}81$ при $\alpha = 42^0$. Въ виду того, что только для α до $\sim 20^0$ величина η сильно увеличивается, обыкновенно принимаютъ $\alpha = 20^0$; для этого случая $\eta = 0{,}74$. Для прессовъ, гдѣ требуется большая передача силы, принимаютъ α до 3^0, причемъ $\eta = 0{,}27$. (См. также отд. VI, рабочія машины).

2. Треугольная (остроугольная) нарѣзка.

r радіусъ средней винтовой линіи,
h подъемъ или шагъ винта,
α уголъ подъема $\left(\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{h}{2\pi r}\right)$ средней винтовой линіи,
β половина угла при вершинѣ (сѣченія) винтовой нарѣзки,
P и Q, а равно μ_0 и μ имѣютъ значеніе какъ въ **1.**

1. **Равновѣсіе** сохраняется до тѣхъ поръ, пока

$$P < Q\,\frac{\sin\alpha\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha+\operatorname{tg}^2\beta}+\mu_0}{\cos\alpha\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha+\operatorname{tg}^2\beta}-\mu_0\operatorname{tg}\alpha}$$ и

$$P > Q\,\frac{\sin\alpha\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha+\operatorname{tg}^2\beta}-\mu_0}{\cos\alpha\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha+\operatorname{tg}^2\beta}+\mu_0\operatorname{tg}\alpha}$$

α всегда очень мало по сравненію съ β, поэтому имѣемъ приблизительно:

$$\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha+\operatorname{tg}^2\beta} = 1 : \cos\beta.$$

Опредѣляя ϱ'_0 изъ $\operatorname{tg}\varrho'_0 = \mu_0\,\dfrac{\cos\beta}{\cos\alpha}$, будемъ имѣть:

$$Q\operatorname{tg}(\alpha-\varrho'_0) < P < Q\operatorname{tg}(\alpha+\varrho'_0).$$

Винтъ не развинчивается въ обратную сторону, если $\alpha \leqq \varrho'_0$.

2. Для **движенія** винта имѣемъ:

$$P = Q\,\frac{\sin\alpha\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha+\operatorname{tg}^2\beta}\pm\mu}{\cos\alpha\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha+\operatorname{tg}^2\beta}\mp\mu\operatorname{tg}\alpha}.$$

Опредѣляя ϱ' изъ:

$$\operatorname{tg}\varrho' = \frac{\mu}{\cos\alpha\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha+\operatorname{tg}^2\beta}} = \frac{\mu}{\sqrt{1+\cos^2\alpha\operatorname{tg}^2\beta}},$$

или приблизительно $\operatorname{tg}\varrho' = \dfrac{\mu\cos\beta}{\cos\alpha}$, будемъ имѣть:

$$P = Q\operatorname{tg}(\alpha\pm\varrho').$$

Верхній знакъ соотвѣтствуетъ движенію по направленію обратному Q, нижній знакъ—по направленію, совпадающему съ Q.

Степень полезнаго дѣйствія: $\eta = \operatorname{tg}\alpha : \operatorname{tg}(\alpha+\varrho')$
и соотв. $\eta = \operatorname{tg}(\alpha-\varrho') : \operatorname{tg}\alpha$.

НТБ ДНУЗТ

Въ виду того, что $\varrho' < \varrho$, для треугольной нарѣзки степень полезнаго дѣйствія больше, чѣмъ для прямоугольной нарѣзки; для $\beta = 0$ значеніе η будетъ minimum.

Напримѣръ:

$\alpha = 2^0 10'$; $\beta = 27^0 30'$; $\mu = \operatorname{tg} \varrho = 0{,}16$, слѣд. $\varrho = 9^0 5{,}5'$.

Имѣемъ:

$$\operatorname{tg} \varrho' = \frac{0{,}16 \cdot \cos 27^0 30'}{\cos 2^0 10'} = 0{,}142\,02; \quad \varrho' = 8^0 5'.$$

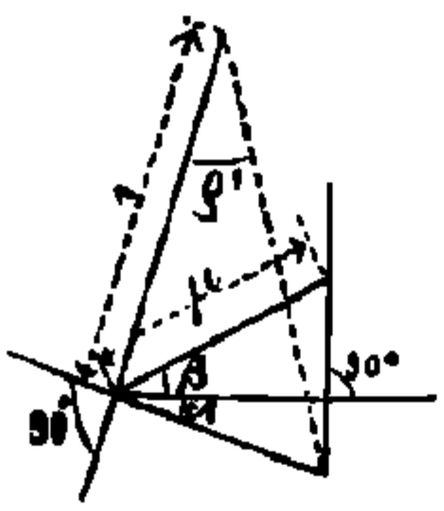
$$P = Q \operatorname{tg} (\alpha + \varrho') = Q \operatorname{tg} 10^0 15' = 0{,}181\ Q; \quad \eta = \frac{\operatorname{tg} 2^0 10'}{\operatorname{tg} 10^0 15'} = 0{,}209.$$

Для прямоугольной нарѣзки было бы:

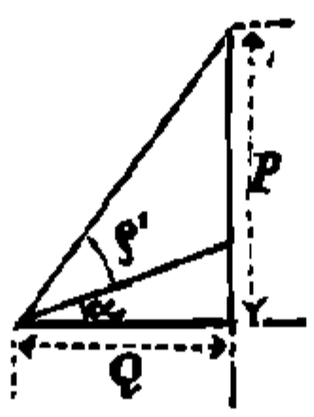
$$P = Q \operatorname{tg} (\alpha + \varrho) = 0{,}199\ Q; \quad \eta = 0{,}190.$$

Самотормаженіе въ обоихъ случаяхъ.

Черт. 158.



Черт. 159.



Графическое опредѣленіе P видно на черт. 158 и 159, причемъ предварительно опредѣлнется ϱ'

3. Если винтъ съ треугольной нарѣзкой имѣетъ наружній діаметръ нарѣзки d, внутренній d_1, и если s_0, отверстіе ключа (ср. V отдѣлъ—детали машинъ, I. B), то:

$$r = \frac{d + d_1}{4}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{2h}{\pi (d + d_1)}; \quad \operatorname{tg} \varrho' = \frac{\mu \cos \beta}{\cos \alpha};$$

$$r_0 = \frac{d + s_0}{4} \sim 1{,}4\, r.$$

Чтобы **нажать гайку**, необходимо развить вращающій моментъ:

$$M = Pr + Qr_0 \mu' = [\operatorname{tg} (\alpha + \varrho') + 1{,}4\, \mu']\ Qr,$$

и для **ослабленія гайки:**

$$M = [\operatorname{tg} (\varrho' - \alpha) + 1{,}4\, \mu']\ Qr,$$

гдѣ μ' коэффиціентъ тренія между гайкою и подкладкою и r_0 средній радіусъ опорной площади гайки.

Примѣръ. Для винта съ рѣзьбой Делиля*) при $d = 20$ mm, $d_1 = 16{,}4$ mm, $h = 2{,}4$ mm, $2\beta = 53^0 8'$, $r = 9{,}1$ mm, $\operatorname{tg} \alpha = 0{,}04197$, $\alpha = 2^0 24' 13''$. Полагая $\mu = \mu' = 0{,}41$ (см. стр. 217), имѣемъ $\varrho' = 20^0 9' 17''$.

Для нажатія гайки нуженъ:

$$M = (\operatorname{tg} 22^0 33' 30'' + 1{,}4.0{,}41)\ Qr = 0{,}989\ Qr = 9{,}0\ Q \text{ въ mmkg}$$

Для ослабленія гайки:

$$M = (\operatorname{tg} 17^0 15' 4'' + 1{,}4.0{,}41)\ Qr = 0{,}894\ Qr = 8{,}1\ Q \text{ въ mmkg}.$$

---

*) См. пятый отдѣлъ, детали машинъ, I, B.

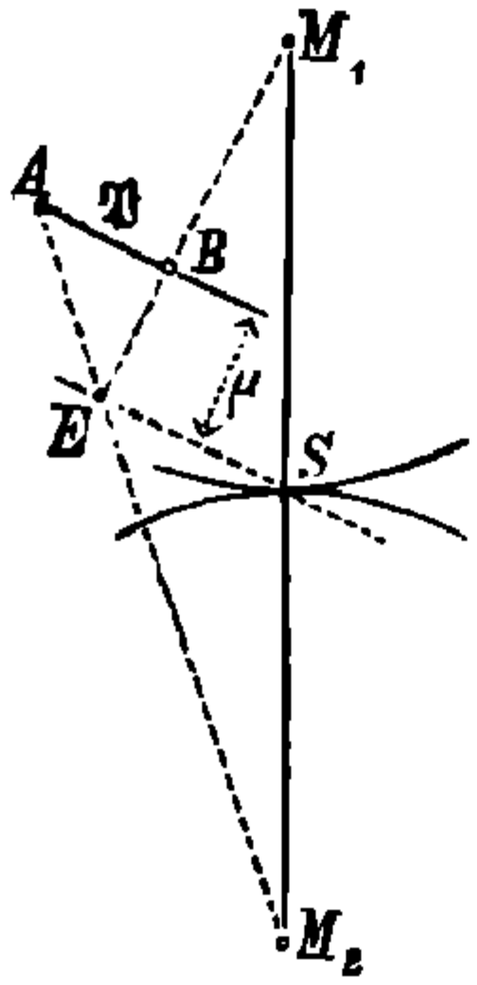
НТБ ДНУЗТ

c. Зубчатыя колеса.

1. Цилиндрическія колеса.

Опредѣленіе относительной потери работы $\mathfrak{V}$.

Черт. 160.



Если двѣ профили (черт. 160) прикасаются въ E, прямая ES нормаль въ точкѣ прикосновенія, M_1 и M_2 центры обоихъ колесъ, то для даннаго положенія находимъ относительную потерю работы $\mathfrak{V}$, если къ ES, на разстояніи μ, проведемъ параллельную. Оба радіуса M_1E и M_2E отсѣкаютъ на этой прямой отрѣзокъ AB, который, будучи измѣренъ въ томъ же масштабѣ, какъ и μ, даетъ значеніе величины $\mathfrak{V}$. (μ коэффиціентъ скользящаго тренія).

Для употребительныхъ профилей зубьевъ величина $\mathfrak{V}$ весьма близко пропорціональна длинамъ дугъ зацѣпленія e*), измѣреннымъ отъ центральной прямой M_1M_2. Средняя величина $\mathfrak{V}$ для дуги зацѣпленія e_1 получается равной (при зацѣпленіи только одного зуба) $^1/_2\ \mathfrak{V}_1$ если $\mathfrak{V}_1$ есть значеніе $\mathfrak{V}$, соотвѣтствующее конечной точкѣ дуги зацѣпленія e_1.

Если дуги зацѣпленія съ обѣихъ сторонъ центральной прямой между собой равны, то эта величина и представляетъ среднюю относительную потерю работы $\mathfrak{V}_m$ для всей зубчатой передачи.

Если дуги зацѣпленія e_1 и e_2 различны, а значенія величины $\mathfrak{V}$, соотвѣтствующія конечнымъ точкамъ этихъ дугъ, будутъ $\mathfrak{V}_1$ и $\mathfrak{V}_2$, то, по Грасгофу, можно принимать за среднее значеніе:

$$\mathfrak{V}_m = \frac{\mathfrak{V}_1 e_1 + \mathfrak{V}_2 e_2}{2\,(e_1 + e_2)}.$$

Если z_1 и z_2 числа зубцовъ сцѣпляющихся колесъ, t дѣленіе, $\tau_1 = \frac{e_1}{t}$, $\tau_2 = \frac{e_2}{t}$, $\tau = \tau_1 + \tau_2$ (продолжительность зацѣпленія), то находимъ также:

$$\mathfrak{V} = \pi\mu\left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2}\right)\frac{\tau_1^2 + \tau_2^2}{\tau_1 + \tau_2} \sim \pi\mu\left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2}\right)\frac{\tau}{2}.$$

Такъ какъ при продолжительности зацѣпленія τ между 1 и 2 въ зацѣпленіи находятся поперемѣнно 1 и 2 зуба, то находимъ для $\mathfrak{V}$ болѣе точно:

$$\mathfrak{V} = \pi\mu\left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2}\right)(\tau_1^2 + \tau_2^2 - \tau_1 - \tau_2 + 1), \text{ или:}$$

$$\mathfrak{V} \sim \pi\mu\left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2}\right)\left(\frac{\tau^2}{2} - \tau + 1\right) = \pi\mu\left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2}\right)\psi.$$

Знакъ $+$ для наружняго зацѣпленія, знакъ $-$ для внутренняго.

*) См. пятый отдѣлъ, детали машинъ, II.

НТБ ДНУЗТ

Въ среднемъ можно положить $\mu = 0{,}16$, $\pi\mu = 0{,}5$.

Для $\tau=1$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$\psi=0{,}5$	0,505	0,520	0,545	0,58	0,625	0,68	0,745	0,82	0,905	1,0.

Величины τ_1 и τ_2 при обыкновенныхъ условіяхъ для циклоидальныхъ и эвольвентныхъ зацѣпленій зависятъ только отъ числа зубьевъ z_1 и z_2, а именно:

Циклоидальное зацѣпленіе:

$z_1=$	7	10	15	20	30	40	50	∞
$\tau_1=$	0,58	0,60	0,64	0,66	0,68	0,69	0,71	0,75

Эвольвентное зацѣпленіе:

$z_1=$	20	25	30	40	50	60	∞
$\tau_1=$	0,84	0,90	0,92	0,97	0,99	1,02	1,24

Если дана форма зубца, то рекомендуется способъ, указанный во II. A, въ V отдѣлѣ, детали машинъ.

При **графическомъ** опредѣленіи потерь на треніе въ зубцахъ зубчатой передачи, необходимо принимать давленіе зубцовъ другъ на друга проходящимъ не черезъ точку касанія S обѣихъ начальныхъ окружностей, а черезъ ту точку линіи центровъ, которая отстоитъ отъ S по направленію къ центру ведомаго колеса на величину

$$\xi = \mu \frac{\psi}{2} t.$$

2. Коническія колеса.

Формулы, приведенныя въ **1.**, примѣняются и здѣсь, если вмѣсто $\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2}$ подставить: $\sqrt{\frac{1}{z_1^2} + \frac{1}{z_2^2} + \frac{2\cos\varepsilon}{z_1 z_2}}$,

гдѣ ε уголъ между осями обоихъ колесъ.

3. Винтовыя колеса.

Къ тренію зубцовъ прибавляется еще значительно большее треніе, появляющееся отъ скольженія зубцовъ по направленію ихъ длины. Если γ и γ_1 углы наклоненія обоихъ винтовыхъ колесъ, то потери работы, зависящая отъ этого скольженія, будетъ:

$$\mathfrak{V}_s = \frac{\sin\gamma_1 \sin(\gamma+\varrho)}{\sin\gamma \sin(\gamma_1-\varrho)} - 1.$$

Для особаго случая **безконечнаго винта** (гдѣ $\gamma_1 = 90^0 - \gamma$) будемъ имѣть:

$$\mathfrak{V}_s = \frac{\operatorname{tg}(\gamma+\varrho)}{\operatorname{tg}\gamma} 1 = \frac{1+\frac{2\pi r}{t}\mu}{1-\frac{t}{2\pi r}\mu} - 1,$$

гдѣ t дѣленіе, r средній радіусъ винта (червяка) и $\mu = \operatorname{tg}\varrho$ коэффиціентъ скользящаго тренія.

Потеря на треніе въ зубцахъ въ этомъ случаѣ составляетъ:

$\mathfrak{V} = \frac{\pi\mu}{z}\psi$ (z = числу зубцовъ винтового колеса, ψ см. выше).

НТБ ДНУЗТ

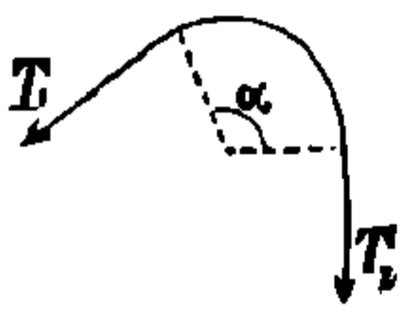
f. Гибкія тѣла.

1. Соотношенія силъ.

Если гибкое тѣло (ремень, канатъ, тормазная лента) обхватываетъ цилиндръ (черт. 161), то равновѣсіе между силами T_1 и T_2 будетъ имѣть мѣсто до тѣхъ поръ, пока:

$$T_2 e^{-\mu_0 \alpha} \leqq T_1 \leqq T_2 e^{\mu_0 \alpha},$$

Черт. 161.



гдѣ α уголъ между конечными нормалями, μ_0 коэффиціентъ тренія для покоя (см. стр. 215), e — основаніе натуральныхъ логариемовъ (см. стр. 40).

Сила $P = T - t$, которая развивается **на окружности** цилиндра благодаря жесткости, будетъ наибольшая:

$$P = \frac{e^{\mu_0 \alpha} - 1}{e^{\mu_0 \alpha}} T = (e^{\mu_0 \alpha} - 1) t,$$

если T будетъ большее, а t меньшее изъ двухъ натяженій, такъ что

$$T \; t = e^{\mu_0 \alpha}.$$

Значеніе $e^{\mu_0 \alpha}$ см. табл. стр. 235; $e^{\pi} = 23{,}1407$; $\log e^{\pi} = 1{,}3643764$.

Если между цилиндромъ и гибкимъ тѣломъ будетъ происходить относительное перемѣщеніе, то $T = t e^{\mu \alpha}$, и **сопротивленіе отъ тренія** на окружности цилиндра или гибкаго тѣла будетъ:

$$W = \frac{e^{\mu \alpha} - 1}{e^{\mu \alpha}} T = (e^{\mu \alpha} - 1) t,$$

гдѣ μ коэффиціентъ скользящаго тренія (см. стр. 216).

$$\alpha = 2 \pi \frac{\alpha^0}{360} = 2 \pi n \text{ (см. стр. 235).}$$

2. Потери работы.

α. Потеря работы отъ жестности гибкаго тѣла.

1. Если P натяженіе гибкаго тѣла въ томъ мѣстѣ, гдѣ послѣднее сбѣгаетъ, въ kg,
Q то же натяженіе въ мѣстѣ набѣганія въ kg,
d діаметръ каната или толщина цѣнного желѣза (или соотв. шарнирнаго болта) въ cm,
R радіусъ навиванія въ cm,

то внутреннее **треніе отъ жесткости** гибкаго тѣла при сбѣганіи (для P) вызываетъ укороченіе плеча R на ξ_1 (въ cm), а при набѣганіи (для Q) — удлиненіе этого плеча R на ξ_2 (въ cm).

Для одновременнаго навиванія и свиванія имѣемъ:

$$P(R - \xi_1) = Q(R + \xi_2).$$

НТБ ДНУЗТ

Таблица величинъ $e^{\mu_0 \alpha}$.

Отношеніе охваченной дуги ко всей окружности. $\frac{\alpha}{2\pi} = n$	Кожаные ремни на шкивахъ изъ дерева: немного жири 0,47	Кожаные ремни на шкивахъ изъ чугуна: очень жирный. $\mu_0 =$ 0,12	немного жир. 0,28	сырой. 0,38	Пеньковые канаты: на желѣзныхъ шкивахъ $\mu_0=0,25$	на деревянныхъ шкивахъ $\mu_0=0,4$	на шероховатомъ деревѣ. $\mu_0=0,5$	на полированномъ деревѣ. $\mu_0=0,33$	Тормазныя ленты по желѣзнымъ шкивамъ. $\mu_0 = \mu = 0,18$.
0,1	1,34	1,01	1,19	1,27	1,17	1,29	1,37	1,23	1,12
0,2	1,81	1,16	1,42	1,61	1,37	1,65	1,87	1,51	1,25
0,3	2,43	1,25	1,69	2,05	1,60	2,13	2,57	1,86	1,40
0,4	3,26	1,35	2,02	2,60	1,87	2,73	3,51	2,29	1,57
0,425	3,51	1,38	2,11	2,76	1,95	2,91	3,80	2,41	1,62
0,45	3,78	1,40	2,21	2,93	2,03	3,10	4,11	2,54	1,66
0,475	4,07	1,43	2,31	3,11	2,11	3,30	4,45	2,68	1,71
0,5	4,38	1,46	2,41	3,30	2,19	3,51	4,81	2,82	1,76
0,525	4,71	1,49	2,52	3,50	2,28	3,74	5,20	2,97	1,81
0,55	5,63	1,51	2,63	3,72	2,37	3,98	5,63	3,13	1,86
0,6	5,88	1,57	2,81	4,19	2,57	4,52	6,59	3,47	1,97
0,7	7,90	1,66	3,43	5,32	3,00	5,81	9,00	4,27	2,21
0,8	10,6	1,83	4,09	6,75	3,51	7,47	12,34	5,25	2,47
0,9	14,3	1,97	4,87	8,57	4,11	9,60	16,90	6,46	2,77
1,0	19,2	2,12	5,81	10,9	4,81	12,35	23,14	7,95	3,10
1,5	—	—	—	—	10,55	43,38	111,16	22,42	5,45
2,0	—	—	—	—	23,14	152,4	535,47	63,23	9,60
2,5	—	—	—	—	50,75	535,5	2576,0	178,5	16,9
3,0	—	—	—	—	111,3	1881	12392	502,9	29,8
3,5	—	—	—	—	244,2	6611	59610	1418	52,4

Приблизительно имѣемъ: $\xi_1 = \xi_2 = \xi$, и слѣд. $\xi_1 + \xi_2 = 2\xi$, такъ что съ достаточною точностью

$$P = \left(1 + \frac{2\xi}{R}\right) Q.$$

Если происходитъ лишь одно навиваніе, то ξ_1 пропадаетъ, и

$$P = \left(1 + \frac{\xi}{R}\right) Q.$$

Для пеньковыхъ канатовъ принимаютъ $\xi = 0{,}03\, d^2$ до $0{,}09\, d^2$, въ зависимости отъ строенія канатовъ.

Для проволочныхъ канатовъ нѣтъ теперь опытныхъ данныхъ (см. отд. VI, рабочія машины, II).

НТБ ДНУЗТ

Для цѣпей приблизительно $2\xi = \mu d$, гдѣ $\mu = 0{,}2$ до $0{,}3$ коэффиціентъ тренія цѣпныхъ звеньевъ или шарнирныхъ болтовъ.

2. **Упругая жесткость** матеріала, т. е. количество работы, необходимое для измѣненія формы гибкаго тѣла при одновременномъ навиваніи и свиваніи, въ разсчетъ не принимается, такъ какъ плечо R при сбѣганіи и набѣганіи увеличивается на одну и ту же величину. Работа, затраченная при набѣганіи для изгиба гибкаго тѣла, снова выигрывается при сбѣганіи выпрямленіемъ гибкаго тѣла.

Если, напротивъ того, происходитъ только навиваніе, то необходимо, особенно при проволочныхъ канатахъ, принимать въ разсчетъ работу, необходимую для изгиба гибкаго тѣла.

β. Потери вслѣдствіе скольженія гибкаго тѣла по окружности барабана, которое происходитъ отъ удлиненія, вызываемаго измѣненіемъ натяженія отъ того мѣста, гдѣ гибкое тѣло набѣгаетъ, до того мѣста, гдѣ оно сбѣгаетъ съ барабана.

Для передачи шкивами, изъ которыхъ одинъ шкивъ ведущій, а другой ведомый, имѣемъ относительную потерю работы (или скорости):

$$\mathfrak{B} = \frac{T-t}{F}\,\alpha = \frac{P}{F}\,\alpha = \frac{P}{FE} = \frac{p}{E},$$

гдѣ $P = T - t$ сила, получаемая съ ведомаго шкива въ kg, (см. стр. 234),

гдѣ F сѣченіе гибкаго тѣла въ qcm,

$p = P : F$ сила, которая должна быть передаваема, въ kg/qcm,

$\alpha = (1 : E)$ коэффиціентъ удлиненія,

„ $E = (1 : \alpha)$ модуль упругости матеріала гибкаго тѣла, въ kg/qcm (см. IV отдѣлъ, Сопротивленіе матеріаловъ, I).

Среднія значенія величины E *).

Для новыхъ кожаныхъ ремней.	1 250 kg/qcm.
„ старыхъ и ремней, бывшихъ въ употребленіи . .	2 250
новыхъ пеньковыхъ канатовъ толщ. 50 до 55 mm изъ пеньки Манилья, слабо скрученныхъ . .	8 000
новыхъ пеньковыхъ канатовъ толщ. 50 до 55 mm изъ пеньки Манилья, сильно скрученныхъ	9 500

*) По опытамъ K. Баха, см. Z. d. V. d. Ing. 1887, стр. 221 и слѣд., стр. 241 и слѣд., стр. 891 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Для повыхъ пеньковыхъ канатовъ толщ. 50 до 55 mm изъ баденской пеньки, слабо скрученныхъ 10 500 kg/qcm
„ то же для сильно скрученныхъ . 12 500 „
(для новыхъ канатовъ толщиною 35 до 40 mm можно допускать числа на 20% меньшiн).
„ новыхъ проволочныхъ канатонъ. 700 000 „

Значенія, данныя выше для канатовъ, относятся до дѣйствительнаго сѣченія канатовъ (т.-е. для проволочнаго каната—сумма сѣченій всѣхъ проволокъ, составляющая 40% отъ $^1/_4\,\pi d^2$, а для пеньковаго каната—сумма сѣченiя всѣхъ прядей—около 60% отъ $^1/_4\,\pi d^2$). Слѣдуетъ замѣтить, что (по К. Баху) для приводныхъ пеньковыхъ и проволочныхъ канатовъ, а равно и ремней кожаныхъ и тканныхъ E **не постоянно, а увеличивается съ увеличеніемъ напряженія.**

Величина $\mathfrak{V}$ опредѣляется:

a) для новыхъ кожаныхъ ремней, при $p = 12{,}5$ kg/qcm и $E = 1250$ kg/qcm:

$$\mathfrak{V} = \frac{12{,}5}{1250} = 0{,}01, \text{ т.-е. } 1\%;$$

b) для кожаныхъ ремней, бывшихъ въ употребленiи, при $p = 10$ kg/qcm и $E = 2250$ kg/qcm:

$$\mathfrak{V} = \frac{10}{2250} = 0{,}0044, \text{ т.-е. } 0{,}44\%;$$

c) для новыхъ пеньковыхъ канатовъ, при $p = 10$ kg/qcm $E = 8000$ kg/qcm:

$$\mathfrak{V} = \frac{10}{8000} = 0{,}00125, \text{ т.-е. } 0{,}125\%;$$

d) для новыхъ проволочныхъ канатовъ, при $p = 350$ kg/qcm и $E = 700\,000$ kg/qcm:

$$\mathfrak{V} = \frac{350}{700000} = 0{,}0005, \text{ т.-е. } 0{,}05\%.$$

Эти четыре значенiя $\mathfrak{V}$ относятся между собою какъ 20: 8,8: 2,5: 1.

V. СТАТИКА ЖИДКИХЪ ТѢЛЪ.

1. Основной законъ В. Паскаля.

Если жидкое тѣло подвержено давленiю и остается при этомъ въ равновѣсiи, то давленiе это распространяется черезъ всю жидкую массу по всѣмъ направленiямъ равномѣрно, и каждая частица жидкой массы подвергается одинаковому давленiю.

НТБ ДНУЗТ

2. Основныя уравненія Л. Эйлера.

Если:

p давленіе на единицу площади въ нѣкоторой точкѣ P жидкости,

x, y, z координаты точки P,

X, Y, Z составляющія дѣйствующей въ точкѣ P ускорнющей силы по координатнымъ осямъ,

g ускореніе силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec^2.,

γ вѣсъ единицы объема жидкости,

то условія равновѣсія безконечно малаго параллелепипеда, у котораго стороны равны dx, dy и dz и одна изъ вершинъ находится въ P, будутъ:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\gamma}{g} X; \qquad \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\gamma}{g} Y; \qquad \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\gamma}{g} Z;$$

$$dp = \frac{\gamma}{g}(X.dx + Y.dy + Z.dz).$$

Для свободной поверхности жидкости, равно какъ и для всѣхъ поверхностей съ одинаковымъ давленіемъ (поверхностей уровня) имѣемъ:

$$X.dx + Y.dy + Z.dz = 0.$$

Равнодѣйствующая трехъ силъ X, Y, Z нормальна въ каждой точкѣ къ поверхности уровня.

3. Гидростатическое давленіе.

Примемъ пересѣченіе плоской части стѣнки сосуда съ уровнемъ жидкости за ось y-овъ; прямую, къ ней перпендикулярную и лежащую въ плоскости стѣнки сосуда,—за ось x-овъ и назовемъ:

F площадь плоской части стѣнки сосуда,

z_0 вертикальное разстояніе центра тяжести площади F до уровня жидкости,

x_0 разстояніе центра тяжести F оть оси y-овъ,

S статическій моментъ, J моментъ инерціи } площади F относительно оси y-овъ,

γ вѣсъ единицы объема жидкости,

тогда **нормальное давленіе** на площадь F будетъ:

$$D = \gamma F z_0;$$

координаты центра давленія:

$$\xi = \frac{J}{S} = \frac{J}{F x_0}; \qquad \eta = \frac{\int\int xy.dx.dy}{S} = \frac{\int\int xy.dx.dy}{F x_0}.$$

Если одна изъ прямыхъ представляетъ ось симметріи площади F, то центръ давленія находится на этой оси.

Тѣ же формулы служатъ и для опредѣленія **горизонтальнаго давленія** на любую плоскость или кривую поверхность, если F представляетъ проекцію этой поверхности на плоскость, нормальную къ направленію давленія.

НТБ ДНУЗТ

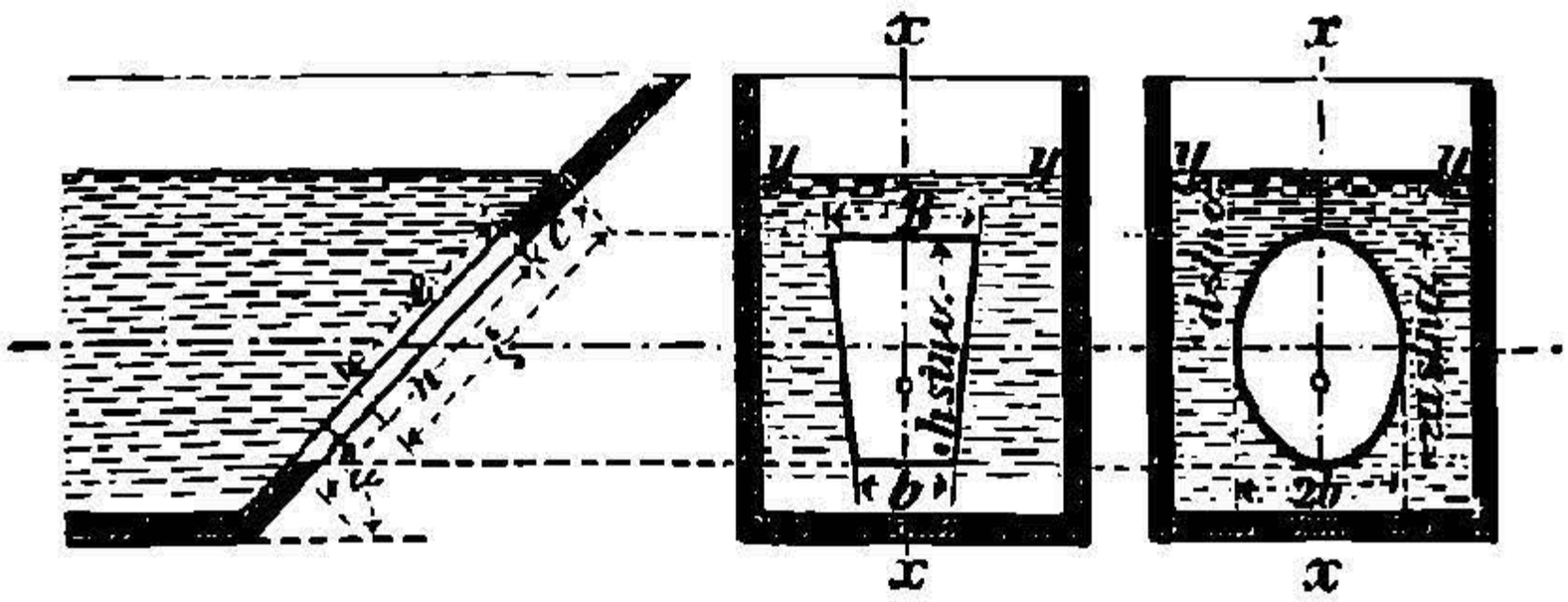
1. Для **трапеціи**, у которой параллельныя стороны B и b горизонтальны (черт. 162), разстояніе e центра давленія отъ верхней горизонтальной стороны B трапеціи будетъ:

$$e = \xi - c = \frac{h}{2}\,\frac{2c(B+2b)+h(B+3b)}{3c(B+b)+h(B+2b)}.$$

При $c = 0$, т. е. если сторона B совпадаетъ съ уровнемъ жидкости, имѣемъ:

$$\xi = \frac{h}{2}\,\frac{B+3b}{B+2b}$$

Черт. 162.



2. Для **треугольника**, у котораго основаніе совпадаетъ съ уровнемъ жидкости: $\xi = {}^1/_2 h$;
а если вершина треугольника лежитъ на уровнѣ жидкости, то

$$\xi = {}^3/_4 h.$$

3. Для **прямоугольника** (см. 1.) имѣемъ:

$$e = \xi - c = \frac{h}{3}\,\frac{3c+2h}{2c+h};$$

при $c = 0$ имѣемъ: $\xi = {}^2/_3 h$.

4. Для **эллипса**, у котораго (черт. 162) главная ось $2b$ горизонтальна, ось $2a$ вертикальна и центръ котораго удаленъ на величину d отъ оси y-овъ, имѣемъ разстояніе центра давленія отъ оси y-овъ:

$$\xi = d + {}^1/_4\,\frac{a^2}{d}.$$

Если $d = a$, т. е. эллипсъ касается уровня жидкости, то

$$\xi = {}^5/_4\, a.$$

Тѣ же формулы примѣняются и къ **кругу** радіуса a.

Вертикальное давленіе на плоскость или поверхность равно вѣсу столба жидкости, находящагося надъ данною поверхностью. Равнодѣйствующая этого давленія имѣетъ точку приложенія въ центрѣ тяжести давящаго столба жидкости.

4. Давленіе снизу вверхъ и метацентръ.

Пусть тѣло, вѣсъ котораго $= K$, погружено частью или вполнѣ въ жидкость. Вертикальная сила A, приложенная въ центрѣ тяжести

НТБ ДНУЗТ

вытѣсненнаго объема жидкости и направленная вверхъ, наз. давленіемъ снизу вверхъ; **это давленіе равно вѣсу вытѣсненнаго тѣломъ объема жидкости** (законъ этотъ справедливъ и въ случаѣ газа).

1. Если $A < K$, то тѣло **тонетъ**, такъ какъ равнодѣйствующая $K - A$ направлена вертикально внизъ.

2. Если $A = K$, то тѣло **плаваетъ** въ жидкости (въ какомъ угодно мѣстѣ), ибо равнодѣйствующая $K - A = 0$.

3. Если $A > K$, то тѣло **всплываетъ** на поверхность жидкости, такъ какъ равнодѣйствующая $A - K$ направлена вертикально вверхъ; всплываніе тѣла прекращается, когда $A - K$ обратится въ нуль ($A = K$), тѣло плаваетъ на поверхности жидкости причемъ часть его погружена въ жидкость. Слѣд., плавающее тѣло погружается въ жидкость такъ, что вѣсъ вытѣсненной имъ жидкости (т. наз. водоизмѣщеніе) равенъ вѣсу тѣла K. При помощи этого правила можно опредѣлить глубину погруженія.

Плавающее тѣло находится въ равновѣсіи, когда его центръ тяжести s и центръ тяжести w вытѣсняемой имъ жидкости находятся на одной вертикали. Эта соединительная прямая, имѣющая при равновѣсіи вертикальное положеніе, паз. **осью плаванія**. Если плавающее тѣло будетъ выведено изъ положенія равновѣсія вращеніемъ около s, то, обозначая черезъ a горизонтальное разстояніе между равными силами A и K, получимъ пару силъ съ моментомъ Aa, которая будетъ стремиться или возвратить тѣло въ прежнее (устойчивое) положеніе равновѣсія, или же еще болѣе отклонить отъ прежняго (неустойчиваго) положенія равновѣсія.

Сила A пересѣкаетъ тогда наклонную ось плаванія sw въ точкѣ m, наз. **метацентромъ**. Если m выше s, то равновѣсіе **устойчивое**; если m ниже s, то оно—**неустойчивое**; если m и s совпадаютъ ($Aa = 0$), то равновѣсіе **безразличное**. Равновѣсіе всегда устойчивое, если точка w выше, чѣмъ s.

Дальнѣйшее см. часть II, отдѣлъ XIII—Судостроеніе.

VI. ДИНАМИКА ЖИДКИХЪ ТѢЛЪ.

A. Общіе законы.

a. Основныя уравненія Л. Эйлера.

Принявъ обозначенія, указанныя на стр. 238, и обозначая черезъ: u, v, w составляющія скорости элемента жидкости P во время по направленію трехъ координатныхъ осей, имѣемъ:

НТБ ДНУЗТ

1. $$\frac{g}{\gamma}\frac{\partial p}{\partial x} = X - \frac{\partial u}{\partial t} - u\frac{\partial u}{\partial x} - v\frac{\partial u}{\partial y} - w\frac{\partial u}{\partial z},$$

2. $$\frac{g}{\gamma}\frac{\partial p}{\partial y} = Y \quad \frac{\partial v}{\partial t} - u\frac{\partial v}{\partial x} - v\frac{\partial v}{\partial y} - w\frac{\partial v}{\partial z},$$

3. $$\frac{g}{\gamma}\frac{\partial p}{\partial z} = Z - \frac{\partial w}{\partial t} - u\frac{\partial w}{\partial x} - v\frac{\partial w}{\partial y} - w\frac{\partial w}{\partial z}.$$

4. Соотношеніе между p и γ обусловливается физическимъ строеніемъ жидкаго тѣла. Для жидкостей несжимаемыхъ $\gamma = \text{const}$.

5. $$\frac{d\gamma}{dt} + \gamma\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) = 0.$$ (Уравненіе неразрывности).

Для жидкостей несжимаемыхъ уравненіе превращается въ

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$

b. Общія соотношенія для протока жидкости, истеченія и сопротивленій; гидравлическіе коэффиціенты.

1. Теченіе жидкости по трубопроводамъ. Пусть (черт. 163):

F_1 и F_2 площади двухъ сѣченій трубопровода въ qm,

h_2 вертикальное разстояніе между F_1 и F_2 въ m,

v_1 и v_2 среднія скорости жидкости въ сѣченіяхъ F_1 F_2 въ m/sec.,

p_1 и p_2 давленія въ сѣченіяхъ F_1 и F_2 при движеніи жидкости (наз. также боковыми давленіями) въ kg/qm,

w_1 и w_2 высоты, соотвѣтствующія сопротивленію при движеніи жидкости отъ начала трубы до F_1 и соотв. до F_2, въ m,

g ускореніе силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec.^{2},

γ вѣсъ 1 единицы объема жидкости въ kg/cbm,

H_1 и H_2 **высоты, соотвѣтствующія гидростатическимъ давленіямъ** въ F_1 и F_2, т. е. пьезометрическія высоты для жидкости въ покоѣ, въ m,

$\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$ высоты, соотвѣтствующія **гидравлическимъ давленіямъ** въ F_1 и F_2, т. е. пьезометрическія высоты при движеніи жидкости, въ m,

$\frac{v_1^2}{2g}$ и $\frac{v_2^2}{2g}$ высоты, **соотвѣтствующія скорости (скоростной напоръ)**, въ m.

НТБ ДНУЗТ

Тогда имѣемъ:

$$F_1 v_1 = F_2 v_2;$$

$$H_1 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + w_1;$$

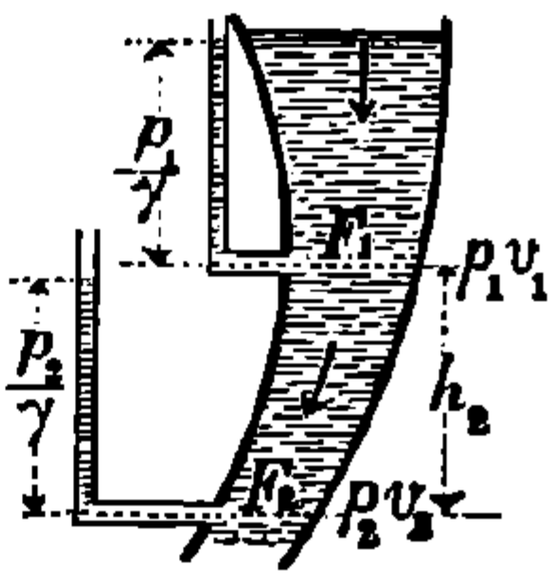
$$H_2 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + w_2 = H_1 + h_2,$$

слѣд.,

$$\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + w_2 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + w_1 + h_2.$$

Въ состояніи покоя высота, соотвѣтствующая скорости, обращается въ высоту напора.

Черт. 163.



При равныхъ сѣченіяхъ имѣемъ $v_1 = v_2$, и разность пьезометрическихъ высотъ для F_1 и F_2 равна высотѣ, соотвѣтствующей сопротивленію $w_2 - w_1$ для длины h_2. Если площадь F_1 очень велика сравнительно съ F_2, то можно пренебречь величиной v_1^2 сравнительно съ v_2^2.

Боковыя давленія p_1 и p_2 могутъ быть уменьшены до абсолютной величины давленія на поверхность жидкости; при дальнѣйшемъ уменьшеніи столбъ жидкости обрывается въ трубопроводѣ, и движеніе жидкости происходитъ, какъ въ открытой трубѣ.

2. Истеченіе изъ трубопровода (черт. 164). Если:

H_a полезная высота напора надъ отверстіемъ въ m,

h_a вертикальное разстояніе между свободной поверхностью жидкости и отверстіемъ въ m,

q_e давленіе на поверхности жидкости въ kg/qm.

q_a давленіе у отверстіи въ kg/qm,

v_e слагающая скорости притока къ свободной поверхности по направленію протеканія жидкости у свободной поверхности, въ m/sec.,

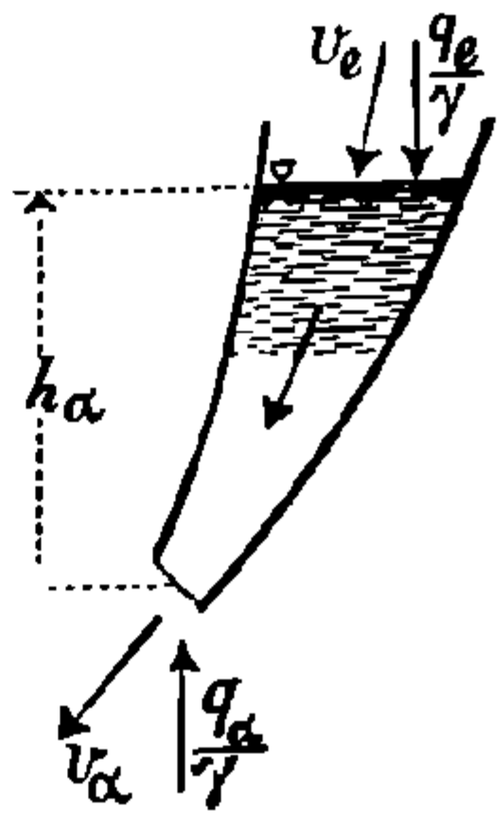
v_a скорость истеченія въ m/sec.,

Σw сумма высотъ, соотвѣтствующихъ отдѣльнымъ сопротивленіямъ въ трубопроводѣ. въ m,

g и γ см. **1.**, то

$$H_a = h_a + \frac{v_e^2}{2g} + \frac{q_e}{\gamma} - \frac{q_a}{\gamma} = \frac{v_a^2}{2g} + \Sigma w.$$

Черт. 164.



Если отверстіе находится подъ уровнемъ жидкости, то

$$h_a - \frac{q_a}{\gamma}$$

равно вертикальному разстоянію между верхней и нижней свободной поверхностью. Если верхнее сѣченіе значительно больше нижняго, то величиной v_e^2 можно пренебречь сравнительно съ v_a^2.

3. Протокъ или истеченіе со сжатіемъ струи. Сжатіе наступаетъ непосредственно позади того мѣста, гдѣ струя жидкости встрѣчаетъ на своемъ пути уменьшеніе сѣченія съ недостаточно закругленными

НТБ ДНУЗТ

ребрами. **Совершенное** сжатіе происходитъ въ томъ случаѣ, если струя встрѣчаетъ очень острыя ребра, когда, притомъ, скоростью притока къ уменьшенному сѣченію вслѣдствіе ея незначительной величины можно пренебречь сравнительно со скоростью протеканія (или соотв. истеченія). Обозначимъ черезъ:

F площадь суженнаго сѣченія (въ свѣту) или соотв. отверстія, въ qm,

v_0 среднюю достижимою теоретическую (безъ сжатія) скорость въ F, въ m/sec.,

F_α наименьшее сѣченіе струи непосредственно за уменьшеннымъ сѣченіемъ въ qm,

v_α уменьшенную вслѣдствіе сжатія среднюю скорость въ F_α, въ m/sec.,

$Q_0 = F v_0$ теоретическій объемъ протекающей (или истекающей) жидкости, въ cbm/sec.,

$Q_\alpha = F_\alpha v_\alpha$ дѣйствительный объемъ протекающей или истекающей жидкости въ cbm/sec.,

H полезную высоту напора для сѣченія F въ m,

w сопротивленіе въ трубѣ (до F) въ m, наз. также **высотою соотвѣтствующей сопротивленію,**

ζ **коэффиціентъ сопротивленія**, соотвѣтствующій v_α

Теоретическая величина H (см. стр. 146 и 147):

$$H = \frac{v_0^2}{2g}, \quad \text{или} \quad v_0 = \sqrt{2gH} = 4{,}429\sqrt{H},$$

$\alpha = \dfrac{F_\alpha}{F}$ **коэффиціентъ сжатія,**

$\varphi = \dfrac{v_\alpha}{v_0}$ **коэффиціентъ скорости,**

$\mu = \dfrac{Q_\alpha}{Q_0} = \dfrac{F_\alpha v_\alpha}{F v_0} = \alpha\varphi$ **коэффиціентъ расхода** (степень полезнаго дѣйствія).

Далѣе: $w = \zeta \dfrac{v_\alpha^2}{2g}$ и $H - w = \dfrac{v_\alpha^2}{2g}$. Отсюда

$$H = (1+\zeta)\frac{v_\alpha^2}{2g}, \quad \text{кромѣ того} \quad H = \frac{v_0^2}{2g},$$

слѣд.: $$\zeta = \left(\frac{v_0}{v_\alpha}\right)^2 - 1 = \frac{1}{\varphi^2} - 1.$$

Для частнаго случая, при $\alpha = 1$, имѣемъ:

$$\zeta = \frac{1}{\mu^2} - 1 \text{ и } \mu = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}}.$$

НТБ ДНУЗТ

Значенія для ζ и μ приведены въ слѣд. таблицѣ:

$\mu =$	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
$\zeta =$	0,00	0,10	0,23	0,38	0,56	0,78	1,04	1,37	1,78	2,31	3,00
$\mu =$	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0,025	0,00
$\zeta =$	3,94	5,25	7,16	10,1	15,0	24,0	43,4	99,0	399	1599	∞

Неполное сжатіе имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, когда сжатіе струи происходитъ не со всѣхъ сторонъ отверстія.

Несовершенное сжатіе происходитъ тогда, когда площадь отверстія не настолько мала сравнительно съ сѣченіемъ (площадью) стѣнки, въ которой это отверстіе находится, чтобы воду передъ отверстіемъ можно было предположить въ покоѣ.

Въ послѣднихъ двухъ случаяхъ коэффиціенты α и β больше, чѣмъ при совершенномъ и полномъ сжатіи. Это увеличеніе зависитъ отъ многихъ причинъ, напр., отъ формы реберъ отверстія, отъ формы сѣченія, отъ глубины отверстія подъ свободной поверхностью, отъ скорости притока жидкости къ отверстію и т. д. Точныхъ цифръ до сихъ поръ нѣтъ *).

c. Теоретическій расходъ при постоянномъ давленіи.

Если, кромѣ обозначеній F, Q_0, v_0 и g на стр. 243, dx высота элемента площади вертикальн. отверстія стѣнки,

y ширина этого элемента,

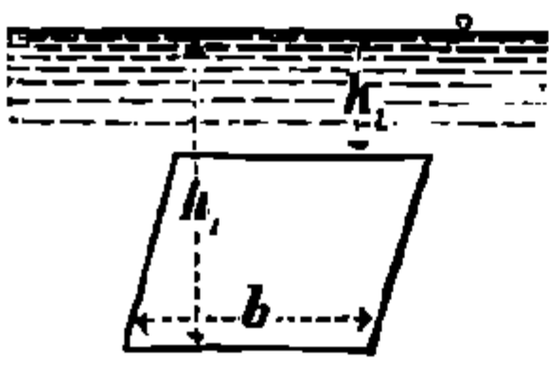
x разстояніе этого элемента до уровня жидкости, то

$$v_0 = \frac{Q_0}{F} \quad \text{и} \quad Q_0 = \sqrt{2g}\int y x^{1/2}\, dx.$$

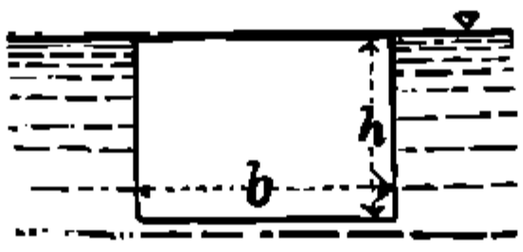
Если площадь истеченія представляетъ **параллелограммъ** (черт. 165), у котораго двѣ противоположныя стороны параллельны уровню жидкости и расположены подъ послѣднимъ, то:

$$v_0 = {}^2/_3 \sqrt{2g}\,\frac{h_1^{3/2} - h_2^{3/2}}{h_1 - h_2}; \qquad Q_0 = {}^2/_3 \sqrt{2g}\,(h_1^{3/2} - h_2^{3/2})\, b.$$

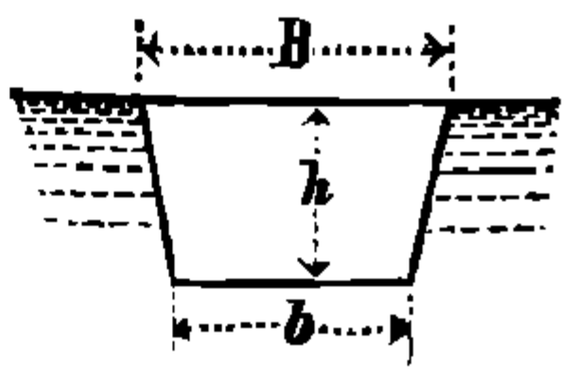
Черт. 165.



Черт. 166.



Черт. 167.



Для **прямоугольнаго водослива** имѣемъ (черт. 166):

$$v_0 = {}^2/_3 \sqrt{2gh}; \qquad Q_0 = {}^2/_3\, b h \sqrt{2gh};$$

*) См. J. Weisbach, Experimental-Hydranlik.

НТБ ДНУЗТ

для **трапецоидальнаго водослива** (черт. 167):

$$v_0 = {}^4/_{15}\frac{2B+3b}{B+b}\sqrt{2gh}; \qquad Q_0 = {}^2/_{15}(2B+3b)h\sqrt{2gh}.$$

Если отверстіе, черезъ которое происходитъ истеченіе, представляетъ **кругъ** радіуса r, центръ котораго отстоитъ на величину h отъ уровня жидкости, то приблизительно:

$$v_0 = \sqrt{2gh}\left[1-\frac{1}{32}\left(\frac{r}{h}\right)^2-\frac{5}{1024}\left(\frac{r}{h}\right)^4\right];$$

$$Q_0 = \pi r^2\sqrt{2gh}\left[1-\frac{1}{32}\left(\frac{r}{h}\right)^2-\frac{5}{1024}\left(\frac{r}{h}\right)^4\right]$$

Если h' разстояніе центра тяжести площади истеченія до уровня жидкости, то можно принимать приблизительно:

для параллелограмма: $Q_0 = b(h_1-h_2)\sqrt{2gh'}$
для круга: $Q_0 = \pi r^2\sqrt{2gh'}$
} ; $v_0 = \sqrt{2gh'}$

Для практики формулы эти достаточно точны, если:

$$h' \geqq 2(h_1-h_2) \text{ и соотв. } h' \geqq 4r.$$

d. Теоретическій расходъ при измѣняющемся давленіи.

1. Пусть, кромѣ обозначеній F, Q_0 и g, на стр. 243:
h первоначальная высота напора въ m,
G горизонтальное сѣченіе сосуда (принятое за постоянное), изъ котораго происходитъ истеченіе, въ qm.

Если количество притекающей воды больше или меньше вытекающаго количества воды $Q_0 = Fv_0 = F\sqrt{2gh}$, то уровень воды въ сосудѣ повышается или понижается до тѣхъ поръ, пока высота напора сдѣлается равной $\frac{1}{2g}\left(\frac{Q_0}{F}\right)^2$, и съ этого момента высота напора и скорость истеченія дѣлаются постоянными.

Если притокъ воды въ сосудъ прекратить, то уровень понижается, равномѣрно замедляясь, и **время**, необходимое **для полнаго опорожненія сосуда**, будетъ въ секундахъ:

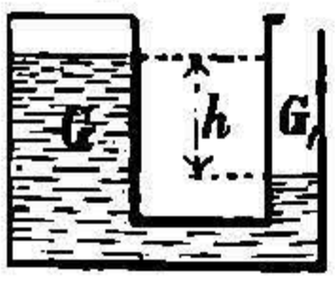
$$t = \frac{2Gh}{Q_0} = \frac{2Gh}{F\sqrt{2gh}} = 0{,}452\frac{G}{F}\sqrt{h}.$$

Время, въ которое напоръ переходитъ изъ h въ h' (въ m), опредѣляется при свободномъ истеченіи:

$$t = \frac{2G}{F\sqrt{2g}}(\sqrt{h}-\sqrt{h'}) = 0{,}452\frac{G}{F}(\sqrt{h}-\sqrt{h'}),$$

НТБ ДНУЗТ

Черт. 168.



а при истеченіи въ сообщающійся сосудъ (черт. 168) съ постояннымъ сѣченіемъ G_1:

$$t = \frac{2\,G\,G_1\,(\sqrt{h} - \sqrt{h'})}{F(G + G_1)\sqrt{2g}}.$$

B. Истеченіе воды изъ отверстій.

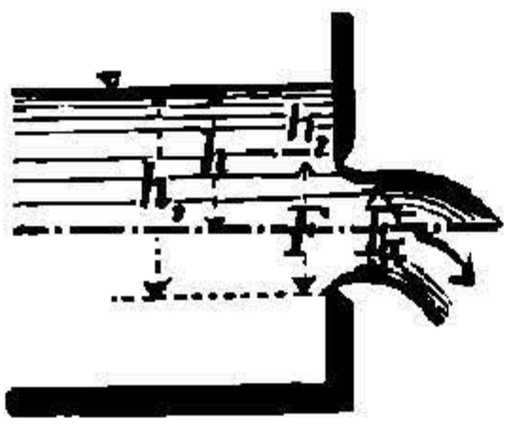
Въ нижеслѣдующемъ Q (вмѣсто Q_α см. стр. 243) обозначаетъ дѣйствительный объемъ воды, вытекающій въ 1 секунду, въ cbm.

a. Отверстія съ заостренными ребрами.

1. При полномъ и совершенномъ сжатіи имѣемъ въ среднемъ, для вполнѣ заостренныхъ реберъ (см. стр. 243):

$$\alpha = 0{,}64, \quad \varphi = 0{,}96, \quad \mu = \alpha\varphi = 0{,}615, \quad \zeta = 0{,}085.$$

Черт. 169.



Если ребра отверстія недостаточно заострены, то α и μ возрастаютъ; соотв. ζ уменьшается по формулѣ:

$$\zeta = \left[1 : \left(\frac{\mu}{\alpha}\right)^2\right] - 1.$$

По Понселе и Лесбросу, для истеченія изъ прямоугольныхъ вертикальныхъ отверстій въ тонкой стѣнкѣ, при заостренныхъ ребрахъ, въ случаѣ, если h_2 (въ m) измѣрено на достаточномъ разстояніи отъ сѣченія (вверхъ) и измѣрено отъ верхняго ребра отверстія (черт. 169), имѣемъ слѣдующія значенія для μ:

h_2 m	Вышина отверстія въ m = 0,20	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01	h_2 m	Вышина отверстія въ m = 0,20	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01
0,05	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	1,0	0,61	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63
0,1	0,59	0,61	0,63	0,64	0,65	0,67	1,3	0,60	0,61	0,62	0,62	0,63	0,62
0,3	0,60	0,62	0,63	0,63	0,64	0,65	1,5	0,60	0,61	0,62	0,62	0,62	0,61
0,5	0,60	0,62	0,63	0,63	0,64	0,64	2,0	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
0,8	0,60	0,62	0,63	0,63	0,64	0,64	3,0	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61

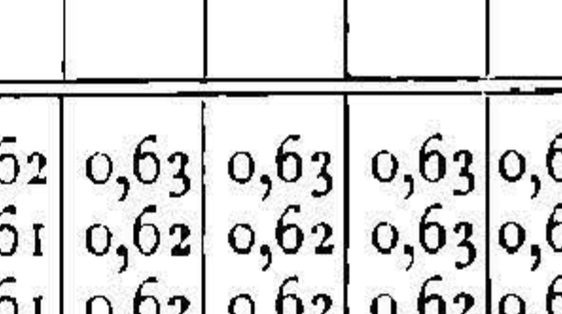
Примѣчаніе. Данныя этой таблицы однѣ и тѣ же для случая, когда большая сторона прямоугольника вертикальна или горизонтальна, лишь бы большій размѣръ прямоугольника не превышалъ меньшаго размѣра болѣе, чѣмъ въ 20 разъ.

По Вейсбаху, тѣ же величины относятся и до круглыхъ сѣченій, а по Гашетту и до сѣченій любой формы безъ вдающихся becъ угловъ.

2. При сжатіи не со всѣхъ сторонъ (неполное) **для прямоугольныхъ водосливовъ** (см. стр. 244, черт. 166) имѣемъ:

$$v_0 = {}^2/_3\sqrt{2gh}; \quad Q = {}^2/_3\mu F\sqrt{2gh}; \quad F = bh.$$

Черт. 170.



1. При совершенномъ сжатіи: если скорость притока очень мала, ребра отверстія заострены, имѣется также боковое сжатіе, и если высота напора h (въ m) измѣрена на разстояніи не менѣе 1 m отъ отверстія (черт. 170), то коэф-

НТБ ДНУЗТ

фиціентъ μ можно опредѣлить (по Понселе и Лесбросу) по слѣдующей таблицѣ, для различныхъ h и b:

$b = 0{,}2$ m и $h =$	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0.15	0,20 m
$\mu =$	0,636	0,626	0,611	0,602	0,596	0,593	0,590	0,585 ;
$b = 0{,}6$ m и $h =$	0,06	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60 m
$\mu =$	0,618	0,609	0,600	0,593	0,588	0,587	0,586	0,585.

2. При **несовершенномъ сжатіи**, для вертикальнаго порога, по Вейсбаху, если n отношеніе сѣченія струи переливающейся воды (измѣреннаго надъ порогомъ) къ сѣченію канала (на нѣкоторомъ разстояніи отъ порога), то коэффиціентъ расхода:

$\mu_1 = \mu(1 + 1{,}718\, n^4)$, въ случаѣ, если ширина водослива не равна ширинѣ канала (боковое сжатіе),

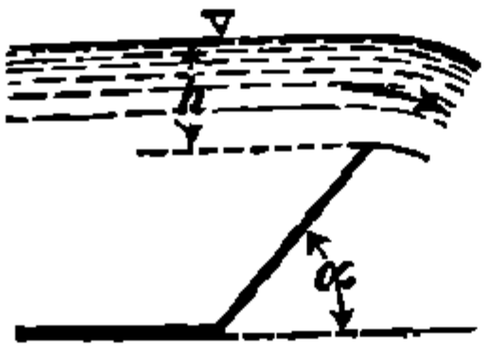
$\mu_2 = \mu(1{,}041 + 0{,}3693\, n^2)$, если ширина водослива равна ширинѣ канала (безъ бокового сжатія).

Значенія для μ берутся изъ приведенныхъ выше таблицъ.

По этимъ даннымъ вычислена слѣдующая таблица:

$n =$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
$\frac{\mu_1}{\mu} =$	1,000	1,001	1,003	1,007	1,014	1,026	1,044	1,070	1,107
$\frac{\mu_2}{\mu} =$	1,045	1,049	1,056	1,064	1,074	1,086	1,100	1,116	1,133

Черт. 171.



Для наклоннаго порога (черт. 171) имѣемъ:

для $\alpha = 45^0$ . . $\mu_3 = 0{,}70$;

„ $\alpha = 63^1/_2{}^0$ . . . $\mu_3 = 0{,}67$.

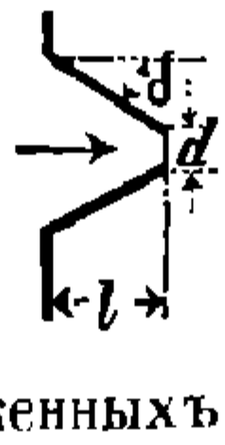
b. Истеченіе изъ отверстій съ насадками.

1. Наконечники.

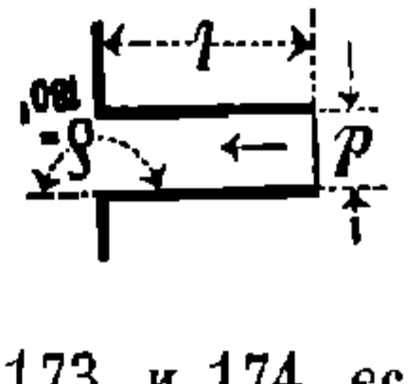
Наконечникъ (черт. 172) въ нижней своей половинѣ на длинѣ $0{,}3d$ имѣетъ цилиндрическую форму; коэффиціентъ истеченія $\mu = 0{,}96$ до 0,998 и зависитъ отъ степени гладкости поверхности истеченія и отъ діаметра наконечника, т. е. почти равенъ единицѣ.

Черт. 172.

Черт. 173.



Черт. 174.



Для наконечниковъ, изображенныхъ на черт. 173 и 174, если $l \sim 3d$ и ребра заострены, имѣемъ:

НТБ ДНУЗТ

для $\delta =$	0^0	11^0	22^0	45^0	67^0	90^0	112^0	135^0	157^0	180^0
$\mu =$	0,96	0,92	0,90	0,75	0,68	0,63	0,60	0,58	0,56	0,54

2. Насадки.

1. При совершенномъ сжатіи и очень небольшой скорости притока коэффиціентъ μ для разныхъ отношеній ε между длиной и діаметромъ цилиндрической насадки измѣняется слѣд. образомъ:

для $\varepsilon =$	1	2 до 3	12	24	36	48	60
„ $\mu =$	0,88	0,82	0,77	0,73	0,68	0,63	0,60.

При одинаковой площади отверстія истеченія имѣемъ для насадокъ **коническихъ съ производящими сходящимися** (по направленію струи) коэффиціентъ расхода большій, для **конич. насадокъ съ расходящимися производящими**—меньшій, чѣмъ у насадокъ цилиндрическихъ. При углѣ конической насадки въ $13^1/_2{}^0$ со сходящимися производящими коэфф. расхода наибольшій, а именно $\mu = 0{,}95$ до $0{,}97$.

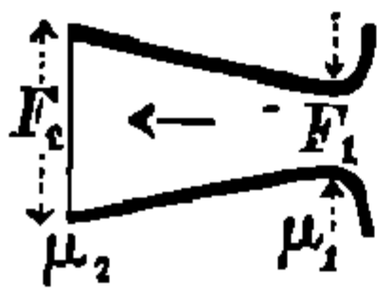
2. Когда вода подходитъ къ насадкѣ **со скоростью, которою нельзя пренебрегать,** то она течетъ въ насадку при **несовершенномъ сжатіи.** Если m отношеніе сѣченія насадки къ площади отверстія въ стѣнкѣ, μ' коэффиціентъ расхода при несовершенномъ и μ при совершенномъ сжатіи, то:

$$\mu' = \mu(1 + 0{,}102\,m + 0{,}067\,m^2 + 0{,}046\,m^3).$$

По этой формулѣ имѣемъ для:

$m =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\frac{\mu'}{\mu} =$	1,013	1,027	1,043	1,060	1,080	1,102	1,127	1,152	1,181

Черт. 175.



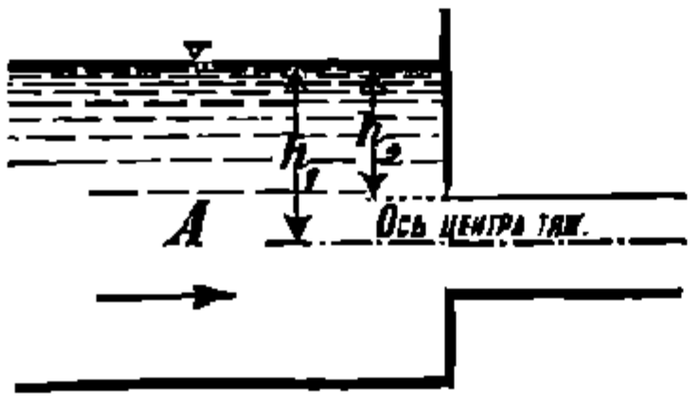
3. Безъ сжатія, при закругленныхъ ребрахъ, для цилиндрической насадки, длина которой равна тройному діаметру, $\mu =$ приблиз. 0,90.

Для насадки (черт. 175), гдѣ $F_2 = \sim 3{,}2\,F_1$, имѣемъ $\mu_1 = 1{,}55$ относительно F_1 и $\mu_2 = 0{,}48$ относительно F_2.

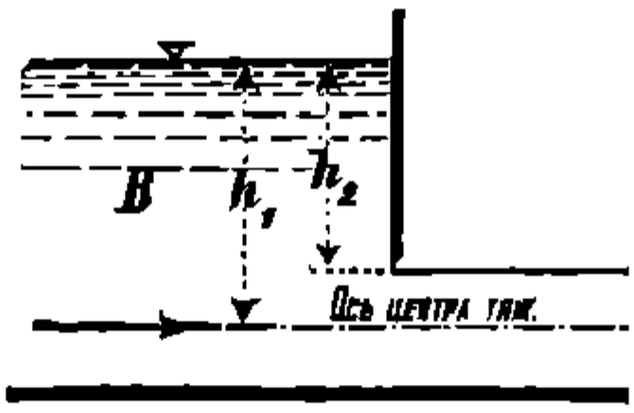
3. Желоба.

Расходъ воды вообще: $Q = \mu F \sqrt{2\,h_1 g}$.

Черт. 176.



Черт. 177.



1. **Если отверстіе вертикально** и желобъ плотно къ нему прилегаетъ такъ что верхняя часть отверстія представляетъ лишь заостренную стѣнку (черт. 176 и 177), то, по опытамъ Лесброса, коэффиціенты расхода μ:

НТБ ДНУЗТ

Высота отверстія.	Форма отверстія.	Высота напора h_2 надъ верхнимъ ребромъ отверстія, измѣренная выше отверстія, въ m:								
		0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	3
0,20 m	A	0,480	0,511	0,542	0,574	0,599	0,601	0,601	0,601	0,601
	B	0,480	0,510	0,538	0,566	0,592	0,600	0,602	0,602	0,601
	B_1	0,527	0,553	0,574	0,592	0,607	0,610	0,610	0,609	0,608
0,05 m	A	0,488	0,577	0,624	0,631	0,625	0,624	0,619	0,613	0,606
	B	0,487	0,571	0,605	0,617	0,626	0,628	0,627	0,623	0,618
	B_1	0,585	0,614	0,632	0,645	0,652	0,651	0,650	0,650	0,649

При опытахъ Лесброса, отверстія истеченія имѣли въ ширину 0,2 метра и въ сравненіи съ сѣченіемъ канала были малы. У A и B были надѣты горизонтальные желоба длиной 3 m, у B_1 (отверстіе какъ у B) желобъ имѣлъ въ длину 2,5 m и уклонъ въ $^1/_{10}$.

2. Если **стѣнка**, въ которой продѣлано отверстіе для истеченія, **наклонна** и сжатіе струи ни у дна, ни съ боковъ отверстія мѣста не имѣетъ, то, если α число градусовъ угла наклоненія стѣнки къ горизонту, коэффиціентъ расхода:

$$\mu = 0{,}944 - 0{,}0032\,\alpha.$$

При $\alpha = 40^0$	45^0	50^0	55^0	60^0,
имѣемъ $\mu = 0{,}816$	0,800	0,784	0,768	0,752.

C. Треніе воды въ трубопроводахъ.

a. Прямой трубопроводъ.

Обозначимъ для опредѣленнаго мѣста прямой, какъ угодно наклоненной трубы съ постояннымъ сѣченіемъ:

F сѣченіе трубы въ свѣту въ qm,
u периметръ сѣченія F въ m,
$r = F : u$ такъ назыв. гидравлическій радіусъ въ m, стр. 257,
l разсматриваемую длину трубы въ m,
v скорость воды въ трубѣ въ m/sec.,
g ускореніе силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec^2., } см. стр. 148,
$Q = Fv$ объемъ воды, протекающей въ 1 сек., въ cbm,
w напоръ соотвѣтств. тренію или потерю напора (т. е. высоту напора, теряющуюся вслѣдствіе тренія) въ m,
$i = w : l$ такъ назыв. потерю наклона, т. е. наклонъ трубы, соотвѣтствующій высотѣ w — потери напора,
ϱ коэффиціентъ напора соотв. тренію, т. е. отношеніе напора, теряющагося отъ тренія, къ скоростному напору для 1 qm поверхности трубы, 1 qm поперечнаго сѣченія, 1 пог. m длины трубы,

НТБ ДНУЗТ

d діаметръ въ свѣту цилиндрич. трубы въ m.

Треніе прямо пропорціонально периметру сѣченія и длинѣ трубы и обратно пропорціонально площади сѣченія, слѣд. вообще будемъ имѣть:

$$w = \left(\varrho \frac{v^2}{2g}\right) \frac{u}{F} l,$$

$$w = \varrho \frac{l}{r} \frac{v^2}{2g}; \qquad i = \frac{w}{l} = \frac{\varrho}{r} \frac{v^2}{2g};$$

$$v = \sqrt{\frac{2g}{\varrho} r i} = \sqrt{\frac{2g}{\varrho}} \sqrt{r i} = c \sqrt{r i.}$$

Въ частности, для **трубы круглаго сѣченія:**

$$r = \frac{F}{u} = \frac{{}^1/_4 \pi d^2}{\pi d} = \frac{d}{4}; \qquad Q = \frac{\pi d^2}{4} v;$$

$$\frac{v^2}{2g} = \left(\frac{4Q}{\pi d^2}\right)^2 : 2g = 0{,}083 \frac{Q^2}{d^4}; \qquad w = 4\varrho \frac{l}{d} \frac{}{2g}.$$

Обыкновенно полагаютъ $4\varrho = \lambda$ и называютъ λ **коэффиціентомъ тренія** между водой и стѣнкой трубы; послѣдній зависитъ отъ v (по другимъ отъ d, см. стр. 251).

Тогда: $$w = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = 0{,}083 \lambda l \frac{Q^2}{d^5}$$

$$i = \frac{w}{l} = \frac{\lambda}{d} \frac{v^2}{2g} = 0{,}083 \lambda \frac{Q^2}{d^5};$$

$v = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{\frac{id}{4}}$, гдѣ полагаютъ: $\sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = \frac{8{,}859}{\sqrt{\lambda}} = c.$

При горизонтальномъ трубопроводѣ i представляетъ уклонъ прямой, соединяющей пьезометрическіе уровни жидкости.

Значенія для Q (въ литрахъ въ секунду) и w (въ m) см. таб. стр. 252 и 253.

Для **прямоугольнаго сѣченія** трубы, со сторонами a и b:

$$r = \frac{F}{u} = \frac{ab}{2(a+b)}. \qquad \text{слѣд.:} \quad w = \lambda \frac{a+b}{2ab} l \frac{v^2}{2g}.$$

Коэффиціентъ тренія λ для воды.

1. По опытамъ **Вейсбаха,** для трубъ круглаго сѣченія:

$$\lambda = 0{,}01439 + \frac{0{,}009\,471\,1}{\sqrt{v}}.$$

НТБ ДНУЗТ

Таблицу значеній λ для $v = 0{,}02$ до 20 m въ секунду см. II ч., отд. XIV—Отопленіе и вентиляція.

2. По опытамъ **Дарси**:

$$\lambda = \left(0{,}01989 + \frac{0{,}000\,507\,8}{d}\right)\sigma,$$

гдѣ $\sigma = 1$ для трубъ съ гладкими стѣнками; при трубахъ, покрытыхъ внутри ржавчиной или другими осадками, σ, въ зависимости отъ чистоты воды и состоянія внутренней поверхности трубы, измѣняется отъ 1 до 2.

3. По **Дюпюи**, для городскихъ водопроводовъ принимаютъ:

$$\lambda = 0{,}030\,25.$$

Въ этой величинѣ заключаются уже всѣ сопротивленія движенію воды по колѣнамъ, закругленіямъ, нѣтямъ и при измѣненіяхъ поперечнаго сѣченія трубы. Коэффиціентъ Дюпюи $\lambda = 0{,}03025$ соотвѣтствуетъ коэффиціенту тренія λ по Дарси, взятому для трубъ средняго діаметра б е з ъ сопротивленія отъ колѣнъ, отводовъ или сжатыхъ сѣченій, съ множителемъ $\sigma = 1{,}5$. Для $\lambda = 0{,}03025$:

$$i = \left(\frac{Q}{20}\right)^2 \frac{1}{d^5}, \text{ или } d = 0{,}3017 \sqrt[5]{Q^2 : i}.$$

4. При сравненіи всѣхъ опытовъ, произведенныхъ раньше, **Вестонъ** (1889) даетъ:

1) для гладкихъ и чистыхъ трубъ:

$$\lambda = 0{,}0126 + \frac{0{,}0173 - 0{,}1085\,d}{\sqrt{v}};$$

2) для новыхъ чугунныхъ (или подобныхъ имъ) трубъ, коэффиціентъ λ Дарси;

3) для трубопроводовъ, на стѣнкахъ которыхъ имѣются осадки:

$$\text{при } d \leqq 0{,}50 \text{ m} : \lambda = 0{,}0156 + \frac{0{,}035}{v};$$

$$\text{при } d = 0{,}50 \text{ до } 0{,}92 \text{ m} : \lambda = \frac{0{,}048}{v} - 0{,}0143 \text{ до } \lambda = \frac{0{,}055}{v} - 0{,}0225;$$

4) то же, при незначительныхъ осадкахъ:

$$\lambda = 0{,}03978 + \frac{0{,}01}{d}.$$

5. Новѣйшіе опыты **Ланга** подтвердили правильность величины λ по Вейсбаху и по Вестону (первое выраженіе) до м е н ь ш а г о предѣла v_k скорости v.

Для цилиндрическихъ, прямыхъ трубъ Лангъ полагаетъ вообще, если $v > v_k$:

$$\lambda = \alpha + \frac{\beta}{\sqrt{v}}.$$

Предѣльная скорость v_k (въ m/sec.) зависитъ отъ діаметра трубы d (въ m), а именно для:

$d =$	0,006	0,010	0.040	болѣе 0,040 m
$v_k =$	0,3 до 1,0	0,2 до 0,7	0,08 до 0,1	0 до 0,07 m/sec.

Коэффиціенты α и β имѣютъ слѣдующія среднія значенія:

а) для гладкихъ трубъ изъ свинца, мѣди, сварочнаго желѣза, олова и стекла, съ совершенно гладкими и непрерывными стыками

(Продолженіе см. стр. 254).

НТБ ДНУЗТ

Количества воды

Діаметръ трубы d въ mm.	Скорость воды v							
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
100	0,393	0,785	1,178	1,571	1,963	2,356	3,142	3,927
125	0,614	1,227	1,841	2,454	3,068	3,682	4,909	6,136
150	0,884	1,767	2,651	3,534	4,418	5,301	7,069	8,836
200	1,571	3,142	4,712	6,283	7,854	9,425	12,566	15,708
250	2,454	4,909	7,363	9,818	12,272	14,726	19,635	24,544
300	3,534	7,069	10,603	14,137	17,671	21,206	28,274	35,343
350	4,811	9,621	14,432	19,242	24,053	28,863	38,485	48,106
400	6,283	12,566	18,850	25,133	31,416	37,699	50,266	62,832
450	7,952	15,904	23,856	31,809	39,761	47,713	63,617	79,522
500	9,818	19,635	29,453	39,270	49,088	58,905	78,540	98,175
550	11,879	23,758	35,637	47,517	59,396	71,275	95,033	118,79
600	14,137	28,274	42,411	56,549	70,686	84,823	113,10	141,37
650	16,592	33,183	49,775	66,366	82,958	99,549	132,73	165,92
700	19,242	38,485	57,727	76,969	96,211	115,45	153,94	192,42
750	22,089	44,179	66,268	88,357	110,45	132,54	176,72	220,89
800	25,133	50,266	75,398	100,53	125,66	150,80	201,06	251,33
850	28,373	56,745	85,118	113,49	141,86	170,24	226,98	283,73
900	31,809	63,617	95,426	127,23	159,04	190,85	254,47	318,09
950	35,441	70,882	106,32	141,76	177,21	212,65	283,53	354,41
1000	39,270	78,540	117,81	157,08	196,35	235,62	314,16	392,70

Потери напора $w = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$ **въ m, для гладкихъ чугунныхъ**

100	0,0048	0,0166	0,0348	0,0590	0,0892	0,1252	0,2147	0,3209
125	0,0039	0,0133	0,0278	0,0472	0,0714	0,1019	0,1717	0,2615
150	0,0032	0,0111	0,0232	0,0393	0,0595	0,0835	0,1431	0,2179
200	0,0024	0,0083	0,0174	0,0295	0,0446	0,0626	0,1073	0,1635
250	0,0019	0,0067	0,0139	0,0236	0,0357	0,0509	0,0859	0,1308
300	0,0016	0,0055	0,0116	0,0197	0,0297	0,0417	0,0716	0,1090
350	0,0014	0,0048	0,0099	0,0169	0,0255	0,0358	0,0613	0,0934
400	0,0012	0,0042	0,0087	0,0148	0,0223	0,0313	0,0537	0,0817
450	0,0011	0,0037	0,0077	0,0131	0,0198	0,0278	0,0477	0,0726
500	0,0010	0,0033	0,0070	0,0118	0,0178	0,0250	0,0429	0,0654
550	0,0009	0,0030	0,0063	0,0107	0,0162	0,0228	0,0390	0,0594
600	0,0008	0,0028	0,0058	0,0098	0,0149	0,0209	0,0358	0,0545
650	0,0007	0,0026	0,0054	0,0091	0,0137	0,0193	0,0330	0,0503
700	0,0007	0,0024	0,0050	0,0084	0,0127	0,0179	0,0309	0,0467
750	0,0006	0,0022	0,0046	0,0079	0,0119	0,0167	0,0286	0,0436
800	0,0006	0,0021	0,0043	0,0074	0,0111	0,0157	0,0268	0,0409
850	0,0006	0,0020	0,0041	0,0069	0,0105	0,0147	0,0253	0,0385
900	0,0005	0,0018	0,0039	0,0066	0,0099	0,0139	0,0239	0,0363
950	0,0005	0,0018	0,0037	0,0062	0,0094	0,0132	0,0226	0,0344
1000	0,0005	0,0017	0,0035	0,0059	0,0089	0,0125	0,0215	0,0327

НТБ ДНУЗТ

$Q = 1000 \frac{\pi d^2}{4} v$ **въ литрахъ, въ 1 секунду.**

въ m въ секунду.									Діаметръ трубы d въ mm.
0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
4,712	5,498	6,283	7,069	7,854	9,817	11,781	13,744	15,708	**100**
7,363	8,590	9,817	11,045	12,272	15,340	18,408	21,476	24,544	**125**
10,603	12,370	14,137	15,904	17,672	22,089	26,507	30,925	35,343	**150**
18,850	21,991	25,133	28,274	31,416	39,270	47,124	54,978	62,832	**200**
29,452	34,361	39,270	44,179	49,087	61,359	73,631	85,903	98,175	**250**
42,411	49,480	56,549	63,617	70,686	88,357	106,03	123,70	141,37	**300**
57,727	67,348	76,969	86,590	96,211	120,26	144,32	168,37	192,42	**350**
75,398	87,965	100,53	113,10	125,66	157,08	188,50	219,91	251,33	**400**
95,426	111,33	127,23	143,14	159,04	198,80	238,57	278,33	318.09	**450**
117,81	137,45	157,08	176,72	196,35	245,44	294,53	343,61	392,70	**500**
142,55	166,31	190,07	213,82	237,58	296,98	356,37	415.77	475,17	**550**
169,65	197,92	226,19	254,47	282,74	353,43	424,11	494,80	565,49	**600**
199,10	232,28	265,46	298,65	331,83	414,79	497,75	580,70	663,66	**650**
230,91	269,39	307,88	346,36	384,85	481,06	577,27	673,48	769,69	**700**
265,07	309,25	353,43	397,61	441,79	552,23	662,68	773,13	883,58	**750**
301,59	351,86	402,12	452,39	502,66	628,32	753,98	879,65	1005,3	**800**
340,47	397,22	453,96	510,71	567,45	709,31	851,18	993,04	1134,9	**850**
381,70	445,32	508,94	572,56	636,17	795,22	954,26	1113,3	1272,3	**900**
425,29	496,18	567,06	637,94	708,82	886,03	1063,2	1240,4	1417,6	**950**
471,24	549,78	628,32	706,86	785,40	981,75	1178,1	1374,4	1570,8	**1000**

трубъ съ раструбами при $l = 100$ m. $\left(\lambda = 0{,}02 + \frac{0{,}004}{\sqrt{v}}\right.$ по Лангу. $\left.\right)$

0,4617	0,6189	0,7983	0,9998	1,2232	1,8777	2,6681	3,5938	4,6541	**100**
0,3694	0,4951	0,6386	0,7998	0,9786	1,5021	2,1345	2,8750	3,7233	**125**
0,3078	0,4126	0,5322	0,6665	0,8155	1,2518	1,7787	2,3959	3,1027	**150**
0,2309	0,3094	0,3991	0,4999	0,6116	0,9388	1,3341	1,7969	2,3271	**200**
0,1847	0,2476	0,3193	0,3999	0,4893	0,7511	1,0672	1,4375	1,8616	**250**
0,1539	0,2063	0,2661	0,3333	0,4077	0,6259	0,8894	1,1979	1,5514	**300**
0,1319	0,1768	0,2281	0,2856	0,3495	0,5365	0,7623	1,0268	1,3297	**350**
0,1154	0,1547	0,1996	0,2499	0,3058	0,4694	0,6670	0,8985	1,1635	**400**
0,1026	0,1375	0,1774	0,2222	0,2718	0,4173	0,5929	0,7986	1,0342	**450**
0,0923	0,1238	0,1597	0,2000	0,2446	0,3755	0,5336	0,7188	0,9308	**500**
0,0839	0,1125	0,1451	0,1818	0,2224	0,3414	0,4851	0,6534	0.8462	**550**
0,0770	0,1031	0,1330	0,1666	0,2039	0,3129	0,4447	0,5990	0,7757	**600**
0,0700	0,0952	0,1228	0,1538	0,1882	0,2889	0,4105	0,5529	0,7160	**650**
0,0659	0,0884	0,1140	0,1428	0,1747	0,2682	0,3812	0,5134	0,6649	**700**
0,0616	0,0825	0,1064	0,1333	0,1631	0,2504	0,3557	0,4792	0,6205	**750**
0,0577	0,0774	0,0998	0,1250	0,1529	0,2347	0,3335	0,4492	0,5818	**800**
0,0543	0,0728	0,0939	0,1176	0,1439	0,2209	0,3139	0,4228	0,5475	**850**
0,0513	0,0688	0,0887	0,1111	0,1359	0,2086	0,2965	0,3993	0,5171	**900**
0,0486	0,0651	0,0840	0,1052	0,1288	0,1977	0,2809	0,3783	0,4899	**950**
0,0462	0,0619	0,0798	0,1000	0,1223	0,1878	0,2668	0,3594	0,4654	**1000**

НТБ ДНУЗТ

(т.-е. безъ раструбовъ и безъ шероховатыхъ поверхностей, какъ у чугунныхъ трубъ):

$\alpha = 0{,}015$ для $d \geqq 0{,}006$ m и $\beta = 0{,}009$ для $d \geqq 0{,}10$ m;

кромѣ того:

для $d =$	0,006	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05 m,
$\beta =$	0,022	0,015	0,012	0,011	0,010	0,0095.

b) Для чистыхъ, гладкихъ чугунныхъ трубъ съ раструбами:

$$\alpha = 0{,}02, \quad \beta = 0{,}004 \text{ для } d \geqq 0{,}036 \text{ m}.$$

Табл. величинъ w, соотвѣтствующихъ приведеннымъ значеніямъ α и β, см. стр. 252 и 253.

c) Для чугунныхъ трубъ съ осадками на внутренней поверхности: Дарси и Ибенъ даютъ $\beta = 0{,}004$; α мѣняется въ зависимости отъ d:

При $d =$	0,036	0,080	0,243	0,297	0,305 m,
$\alpha =$	0,074	0,048	0,026	0,023	0,125.

Четыре трубопровода діаметромъ $d = 0{,}036$ до $0{,}297$ m (Дарси) обнаружили внутренніе осадки толщиною отъ 1 до 2 mm. Въ опытѣ же Ибена съ трубой $d = 0{,}305$ m толщина слоя осадковъ была прибл. 30 mm; продолжительность службы ея была 22 года. При опредѣленіи α здѣсь принимался первоначальный діаметръ ($d = 0{,}305$) чистой трубы, вслѣдствіе чего α значительно больше, чѣмъ въ остальныхъ случаяхъ.

b. Особыя сопротивленія.

(Обозначенія см. стр. 249).

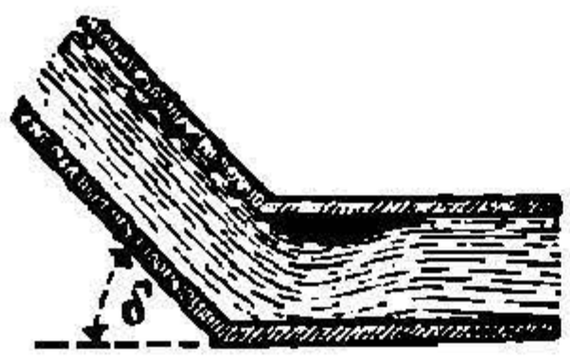
1. Цилиндрическія колѣна.

1. Черт. 178 (вступленіе воды слѣва):

$$w = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad \text{гдѣ} \quad \zeta = 0{,}9457 \sin^2 1/2\,\delta + 2{,}047 \sin^4 1/2\,\delta.$$

При $\delta =$	20°	40°	60°	80°	90°	100°	120°	140°
$\zeta =$	0,046	0,139	0,364	0,740	0,984	1,260	1,861	2,431.

Черт. 178.



Черт. 179.

2. Черт. 179 (вступленіе воды слѣва), если $r \leqq 5\,a$:

$$w = \zeta' \frac{\beta^0}{90} \frac{v^2}{2g} = \zeta \frac{v^2}{2g}, \text{ гдѣ } \zeta' = 0{,}131 + 0{,}163 \left(\frac{2a}{r}\right)^{3,5}.$$

$(2a \quad r) =$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\zeta' =$	0,138	0,158	0,206	0,294	0,440	0,661	0,977	1,408	1,979.

2. Потеря напора вслѣдствіе измѣненія кругового сѣченія.

1. Черт. 180. По опытамъ Вейсбаха и Флигнера *):

*) A. Fliegner. Civilingenieur. 1875, стр. 98.

НТБ ДНУЗТ

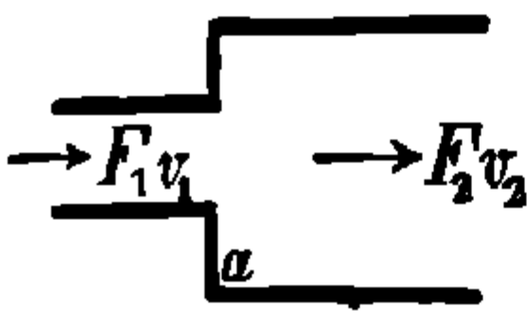
$$w = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g}\left[\frac{F_2}{F_1}\left(\frac{F_2}{F_1} - 1\right)\right]^2 = \frac{v_2^2}{2g}\left[\frac{F_2}{F_1} - 1\right]^2;$$

уменьшеніе потери напора, обусловленное ударомъ и предусмотрѣнное въ этой формулѣ, опредѣляется по формулѣ:

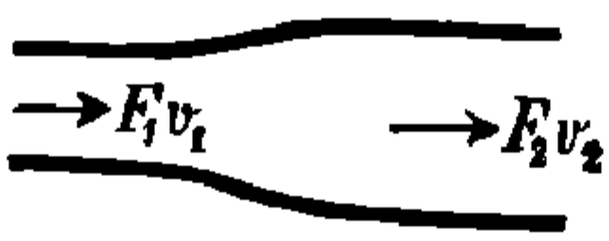
$$w_s = 2\frac{v_1^2}{2g}\frac{F_1}{F_2}\left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right) = 2\frac{v_2^2}{2g}\left(\frac{F_2}{F_1} - 1\right).$$

Эти формулы примѣнимы только до тѣхъ поръ, пока F_2 совершенно заполнено водой, такъ что вода выходитъ изъ F_2 параллельными (не метлообразными) струями, и пока у a высота всасыванія не превосходитъ 10 m. Въ противномъ случаѣ здѣсь надо примѣнять отношенія, приведенныя на стр. 246, для свободнаго истеченія изъ F_1.

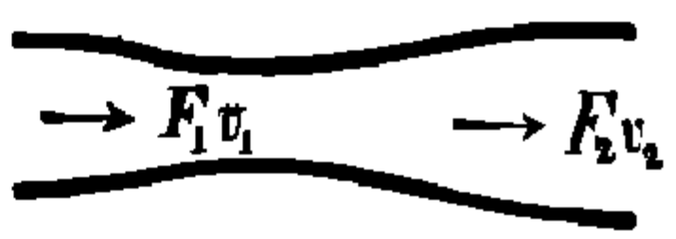
Черт. 180.



Черт. 181.



Черт. 182.



2. Для случая черт. 181, по опытамъ Флигнера, w равняется отъ 0,5 до 0,12 величины, приведенной въ 1. (въ зависимости отъ формы и скорости).

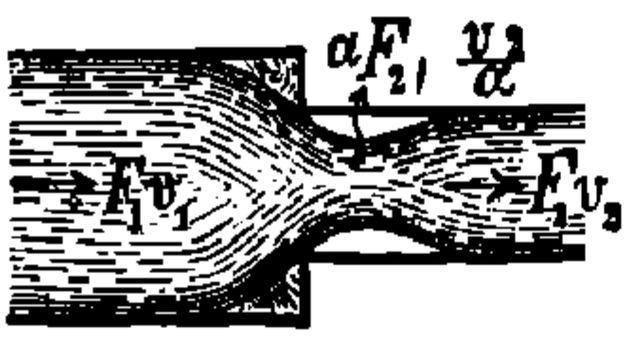
Для случая черт. 182: $w =$ почти 0.

3. Черт. 183:

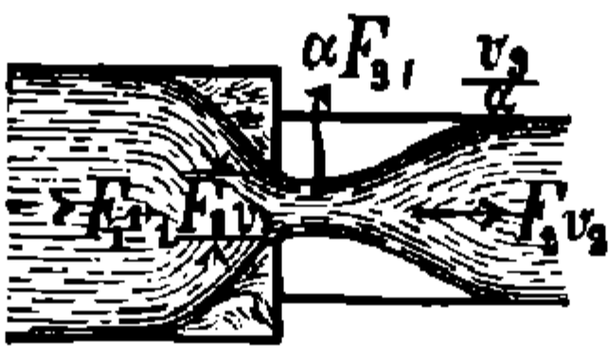
$$w = \frac{v_2^2}{2g}\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)^2 = \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g}, \text{ гдѣ приблизительно:}$$

Для $F_2 : F_1 =$	0,01	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
$\alpha =$	0,60	0,60	0,61	0,63	0,67	0,73
$\zeta_2 =$	0,50	0,50	0,42	0,33	0,25	0,15

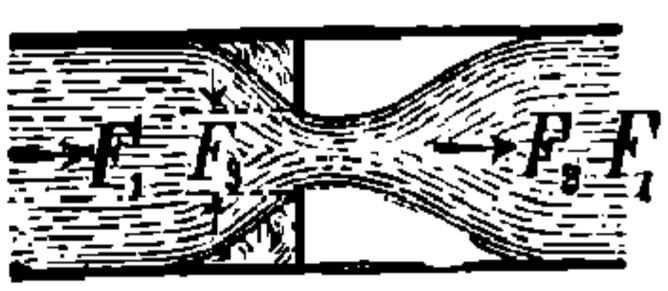
Черт. 183.



Черт. 184.



Черт. 185.



4. Для случая, представленнаго на черт. 184:

$$w = \frac{\left(\frac{v_3}{\alpha} - v_2\right)^2}{2g} = \left(\frac{F_2}{\alpha F_3} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{1}{\alpha}\frac{F_3}{F_2}\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} - \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g} = \zeta_3 \frac{v_3^2}{2g}.$$

Если $F_3 \leqq 0{,}1\, F_1$, то для всякихъ отношеній F_3 F_2 величина α почти одна и та же и $= 0{,}62$; кромѣ того, при:

F_3 $F_2 =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta_3 =$	2,3	2,0	1,7	1,4	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5.

НТБ ДНУЗТ

Если $F_3 \geqq 0{,}1\, F_1$, то при:

$F_3 : F_1 =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\alpha =$	0,62	0,63	0,64	0,66	0,68	0,71	0,75	0,81	0,90	1,00

5. Для случая черт. 185, гдѣ $F_1 = F_2$, въ выраженіи для w нужно подставить слѣдующія значенія для α и ζ_3. Если:

$F_3 : F_2 =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\alpha =$	0,62	0,63	0,64	0,66	0,68	0,71	0,75	0,81	0,90	1,00
$\zeta_3 =$	2,3	2,0	1,6	1,2	1,0	0,65	0,4	0,2	0,05	0,00

3. Запорные приборы.

(По опытамъ Вейсбаха, К. Баха и Ланга).

Обозначенія:

F свободное сѣченіе сѣдалища клапана или трубы,

F_1 свободная площадь прохода жидкости для даннаго положенія клапана, крана, заслонки и т. п.

ζ средній коэффиціентъ сопротивленія для F (см. стр. 251),

ζ_1 средній коэффиціентъ сопротивленія для перемѣннаго сѣченія F_1, не принимая въ разсчетъ сопротивленія коробки и сѣдалища.

Устройство запора.		$F_1 : F =$ 0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
		Среднія значенія для ζ_1.				
Обыкновенный плоскій круглый клапанъ, съ верхнею направляющею и какою угодно нижнею поверхностью.	Струя направлена къ нижней поверхности клапана.	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0
Обыкновенный плоскій круглый клапанъ, имѣющій направляющія ребра въ сѣдалищѣ .		2,3	2,8	3,5	4,3	5,2
Коническій клапанъ съ верхнимъ направленіемъ, нижняя поверхность плоская . .		0,00	— 0,14	0,20	0,65	1,16
То же съ нижнею шаровою поверхностью		0,00	— 0,04	0,18	0,48	0,82
То же „ „ „ коническою. .		— 0,04	0,29	0,52	0,56	0,73
Шаровой клапанъ, поверхность прилеганія шириною въ 1 mm.		1,9	2,2	2,5	3,6	5,0
То же, но струя направлена къ верхней поверхности клапана.		1,6	1,8	2,2	3,2	4,4
Коническій клапанъ съ пологими производящими, струя направлена къ нижней поверхности . . .		0,2	0,4	—	—	—
Тонкая задвижка въ прямоугольной трубѣ . .		0,69	0,45	0,06	— 0,10	0,00
„ „ „ „ круглой трубѣ		1,00	0,60	0,17	— 0,05	0,00
Кранъ съ прямымъ и прямоугольнымъ проходомъ.		2,35	1,65	0,70	— 0,02	0,00
Дроссельный клапанъ прямоугольный, запираетъ при поворотѣ на 90°.		0,50	0,32	0,05	— 0,04	0,00
Дроссельный клапанъ круглый, запираетъ при поворотѣ на 90°		0,88	0,45	0,06	— 0,03	0,00
Прямоугольный створчатый клапанъ, запираетъ при поворотѣ на 90° по направленію струи воды . .		0,78	0,28	0,06	— 0,04	0,00
То же, съ запоромъ противъ движенія водяной струи.		0,41	0,60	0,23	0,08	0,00
Коробчатый золотн. съ острыми ребрами для протока воды, золотникъ прямоугольный.	впускное отверстіе .	1,0	1,6	1,8	2,0	2,2
	выпускное отверстіе.	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6
Коробчатый золотникъ съ закругленными ребрами для протока воды . .	впускное отверстіе .	0,11	0,18	0,21	0,23	0,24
	золотн. прямоугольн. выпускн. отверстіе .	0,04	0,13	0,35	0,64	1,04
	золотн. круглый, выпускн. отверстіе . .	0,04	0,11	0,23	0,35	0,49

НТБ ДНУЗТ

Значенія ζ при вполнѣ открытыхъ запорныхъ приборахъ.

1) Шаровая клапанная коробка, діам. клапана 25 mm.	Струя ударяетъ въ нижнюю поверхность конуса	$\zeta = 5{,}3$
	Струя ударяетъ въ верхнюю поверхность конуса	$\zeta = 4{,}4$
2) Шаровая клапанная коробка короткая, плоскій клапанъ діам. 34 mm	Струя ударяетъ въ нижнюю поверхность клапана	$\zeta = 16{,}6$
	Струя ударяетъ въ верхнюю поверхность клапана	$\zeta = 12{,}5$
3) Угловыя клапанныя коробки, отклоненіе струи 90°, діам. клап. 32 и 22 mm.	Струя ударяетъ въ нижнюю поверхность клапана	$\zeta = 2{,}1$
	Струя ударяетъ въ верхнюю поверхность клапана	$\zeta = 2{,}6$
4) Задвижки, діам. 34 mm		$\zeta = 0{,}3$

D. Рѣки, каналы и сооруженія на нихъ.

a. Движеніе воды въ рѣкахъ и каналахъ.

1. Равномѣрное движеніе.

Обозначенія:
Q объемъ воды, протекающей въ 1 сек., въ cbm,
F поперечное сѣченіе (поперечная профиль) воды въ qm,
v средняя скорость въ сѣченіи F въ m/sec.,
u периметръ сѣченія, омываемый водой, въ m,
b ширина свободной поверхности въ m,
h (въ m) уклонъ поверхности воды на длинѣ l (въ m),
$i = h : l$ средній уклонъ,
$t = F : b$ средняя глубина въ m,
$r = F : u$ средній гидравлическій радіусъ профили (ср. стр. 249) въ m.

Подъ v разумѣется средняя скорость, которая должна быть во всѣхъ точкахъ (x, y) поперечнаго сѣченія F для того, чтобы въ единицу времени протекало количество воды

$$Q = Fv = \int\int v.dx.dy \text{ *}).$$

Отсюда можно опредѣлить v: 1) вычисленіемъ посредствомъ формулъ, полученныхъ на основаніи прежнихъ измѣреній, или 2) непосредственнымъ измѣреніемъ въ данномъ поперечномъ сѣченіи F. Средній уклонъ рѣкъ i измѣняется отъ 0,000 005 до 0,000 6. Выгодные уклоны каналовъ см. стр. 261.

1. **Опредѣленіе v вычисленіемъ** **). Если c опытный коэффиціентъ, то, какъ и при проходѣ воды по трубопроводамъ (см. стр. 249), вообще имѣемъ:

$$v = c\sqrt{ri}.$$

---

*) См. R. Jasmund, Die mittlere Geschwindigkeit im Stromquerschnitte, Centralbl. d. Bauverw. 1897, стр. 101.

**) Подробный разборъ различныхъ формулъ для v, а также подробныя данныя см. Rühlmann, Hydromechanik, II изданіе, стр. 397 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

На основаніи измѣреній въ небольшихъ каналахъ, **Базенъ** даетъ:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{r}}}.$$

Значенія для α и β зависятъ отъ строенія стѣнокъ (степени шероховатости) канала и имѣютъ слѣдующія среднія величины:

Случай I. Строганые брусья и цементъ . . $\alpha = 0{,}00015$ и $\beta = 0{,}0000045$,
„ II. Лещадныя плиты и нестроганые брусья $\alpha = 0{,}00019$ „ $\beta = 0{,}0000133$,
„ III. Бутовая кладка . $\alpha = 0{,}00024$ „ $\beta = 0{,}00006$,
„ IV. Земля . . . . $\alpha = 0{,}00028$ „ $\beta = 0{,}00035$,
„ V. Гальки и хрящъ . $\alpha = 0{,}00040$ „ $\beta = 0{,}00070$.

Значенія величины c (по Базену).

$r =$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	2,00	3,00	6,00 m
Случай I.	71,6	76,1	77,9	78,8	79,3	79,7	80,2	80,4	81,0	81,2	81,4
„ II.	55,6	62,4	65,3	66,9	67,9	68,7	69,6	70,1	71,3	71,7	72,1
„ III.	34,5	43,0	47,7	50,6	52,7	54,2	56,3	57,7	60,9	62,0	63,2
„ IV.	16,3	22,2	26,3	29,4	31,9	34,0	37,3	39,8	46,9	50,2	54,4
„ V.	11,6	16,0	19,1	21,6	23,6	25,3	28,0	30,2	36,5	39,7	44,0

На основаніи измѣреній Базена и изслѣдованій Гумпрея и Аббота въ рѣкѣ Миссисипи, а также на основаніи обширныхъ изслѣдованій многихъ другихъ рѣкъ, **Гангилье и Куттеръ** составили формулу:

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{r}}}\ ^{*}),$$

гдѣ n коэффиціентъ шероховатости омываемой водой части профили; а именно, для:

	n	$\frac{1}{n}$
1. Каналовъ изъ тщательно обстроганнаго дерева или гладко цементированныхъ .	0,010	100
2. Каналовъ изъ досокъ	0,012	83
3. Каналовъ изъ тесаннаго лещаднаго камня или изъ хорошо уложеннаго кирпича .	0,013	77
4. Каналовъ изъ бутоваго камня . .	0,017	59
5. Каналовъ въ землѣ, ручьевъ и рѣкъ	0,025	40
6. Каналовъ съ водяными растеніями . .	0,030	33

Коэффиціентъ шероховатости въ рѣкахъ вообще уменьшается отъ истоковъ къ устью рѣки. Въ трудности выбора правильной величины для n заключается слабая сторона формулы Гангилье и Куттера.

2. **Опредѣленіе v непосредственнымъ измѣреніемъ.** Дѣлимъ F на n частей f_1, f_2, f_3. . f_n, имѣющихъ одинаковое основаніе $= b : n$;

*) Графическое опредѣленіе величины c см. Zeitschr. d. österreich. Arch.- u. Ing.-Ver. 1869. Табл. 9, черт. XIII; кромѣ того Centralbl. d. Bauverw. 1889, стр. 285.

НТБ ДНУЗТ

опредѣляемъ для каждой части f ея среднюю скорость $v_1\ v_2\ v_3 \ldots\ v_n$; тогда средняя скорость профили F:

$$v = \frac{f_1 v_1 + f_2 v_2 + \ldots\ f_n v_n}{F}.$$

Въ вертикальной плоскости, перпендикулярной направленію теченія, водяная струя, имѣющая среднюю скорость v_i всѣхъ водныхъ струй этой плоскости, находится въ произвольной части f_i, въ разстояніи 0,55 до 0,60 соотвѣтствующей глубины воды t_i отъ ея поверхности. Струя, имѣющая наибольшую скорость v_i' въ f_i, соотвѣтствуетъ (въ зависимости отъ вѣтра) v_i'' скорости на поверхности или v_i' находится въ разстояніи 0,33 всей глубины воды t_i ($= a$ въ m) ниже уровня. У дна скорость наименьшая v_i''' По Зассе, средняя скорость v_i въ любой части профили f_i:

$$v_i = {}^1/_3 \left[(2 v_i' + v_i''') + \frac{a}{t_i} (v_i'' - v_i''') \right].$$

v_{max}—средняя наибольшая скорость и v_{min} средняя скорость у дна по всей профили.

Чѣмъ русло рѣки болѣе шероховато и чѣмъ оно болѣе мелко, тѣмъ меньше v и v_{min} относительно v_{max} *).

Въ общемъ имѣемъ: $\frac{v_{min}}{v_{max}} = 0{,}83$ до $0{,}40$; $\frac{v}{v_{max}} = 0{,}95$ до $0{,}78$.

Болѣе точные результаты даетъ слѣдующая формула Базена:

$$\frac{v}{v_{max}} = \frac{1}{1 + 14 \sqrt{\alpha + \frac{\beta}{r}}}.$$

Здѣсь α и β имѣютъ тѣ же значенія, что на стр. 258.

По этой формулѣ вычислена для различныхъ значеній r слѣдующая таблица.

Значенія величинъ $\frac{v}{v_{max}}$ (по Базену).

$r =$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	2,00	3,00	6,00 m
Случай I.	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
„ II.	0,80	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84
„ III.	0,71	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82
„ IV.	0,54	0,61	0,65	0,68	0,70	0,71	0,72	0,74	0,77	0,78	0,80
„ V.	0,45	0,53	0,58	0,61	0,63	0,65	0,67	0,68	0,72	0,74	0,76

3. Для того, чтобы дно канала не разрушалось теченіемъ воды, скорости въ m въ сек. не должны превосходить нижеслѣдующихъ

допускаемыхъ скоростей воды въ каналахъ:

Русло.	v_{max}	v_{min}	Русло.	v_{max}	v_{min}
Илистый грунтъ или бурая глина	0,15	0,08	Каменистое дно (отдѣльные крупные камни)	1,52	0,94
Чистый песокъ	0,20	0,10	Слоистые и сланцевые камни	2,22	1,49
Жирная глина	0,30	0,16	Отложенія разныхъ горныхъ породъ слоями	2,75	1,82
Жирный рѣчной песокъ	0,60	0,31	Твердыя скалы	4,27	3,14
Гравистое дно	1,22	0,70			

*) См. Annales des ponts et chaussees, 1875, Bazin, Sur la distribution des vitesses.

НТБ ДНУЗТ

Для устраненія возможности образованія осадковъ необходимо придать водѣ, текущей по каналу, среднюю скорость, по крайней мѣрѣ: въ случаѣ, если въ водѣ находится легкая муть: $v = 0{,}25$ m/sec., если можно опасаться осажденія песка, то: $v = 0{,}50$ m/sec.

4. **Наивыгоднѣйшія профили каналовъ**. Наивыгоднѣйшая профиль канала F (въ qm) получается тогда, когда смоченный периметръ u (въ m) minimum.

Черт. 186.

Если (черт. 186):
a глубина канала въ m,
b ширина канала внизу, въ m,
δ уголъ наклоненія откосовъ,
то наивыгоднѣйшая площадь сѣченія канала F будетъ, когда

$$a = \sqrt{\frac{F \sin \delta}{2 - \cos \delta}} \qquad b = \frac{F}{a} - a \operatorname{ctg} \delta.$$

Ширина канала на уровнѣ воды:

$$B = \frac{F}{a} + a \operatorname{ctg} \delta = b + 2\, a \operatorname{ctg} \delta.$$

и смоченный периметръ: $u = b + \dfrac{2\,a}{\sin \delta}$.

Если площадь сѣченія канала принять $= 1$ qm, то имѣемъ для различныхъ угловъ δ въ нижеслѣдующей таблицѣ наивыгоднѣйшія значенія для a, $a \operatorname{ctg} \delta$, b, B и u. Для канала съ сѣченіемъ F необходимо величины графъ 3, 4, 5, 6 и 7 умножить на $\sqrt{F}$.

δ	ctg δ	a	a ctg δ.	b	B	u
90^0	0,000	0,707	0,000	1,414	1,414	2,828
60^0	0,577	0,760	0,439	0,877	1,755	2,632
45^0	1,000	0,740	0,740	0,613	2,092	2,704
40^0	1,192	0,722	0,860	0,525	2,246	2,771
$36^0\,52'$	1,333	0,707	0,943	0,471	2,357	2,828
35^0	1,428	0,697	0,995	0,439	2,430	2,870
$33^0\,40'$	1,501	0,689	1,034	0,418	2,485	2,904
30^0	1,732	0,664	1,150	0,356	2,656	3,012
$26^0\,34'$	2,000	0,636	1,272	0,300	2,844	3,144
Полуокруж.	∞	0,798	∞	0,000	1,596	2,507

Обыкновенно выбираютъ:

Для стѣнъ изъ каменной кладки $\operatorname{ctg} \delta = 0{,}5$.
Для искусственно вырытыхъ каналовъ въ твердомъ грунтѣ съ одеждой береговъ $\operatorname{ctg} \delta = 1{,}0$.
Для вырытыхъ каналовъ въ твердомъ грунтѣ безъ обшивки береговъ. . . . . $\operatorname{ctg} \delta = 1{,}5$.
Для каналовъ въ рыхлой землѣ, пескѣ и др. $\operatorname{ctg} \delta = 2{,}0$.

НТБ ДНУЗТ

Если вода движется въ **закрытой трубѣ** круглаго сѣченія и при томъ такъ, что уровень воды въ ней мѣняется, приближаясь къ наивысшей точкѣ сѣченія, то наибольшая скорость v въ профили будетъ тогда, когда омываемая водой часть трубы образуетъ центральный уголъ въ 257^0, а наибольшее количество воды Q будетъ протекать при центральномъ углѣ въ 308^0,

5. Другія измѣренія каналовъ.

Для **фабричныхъ каналовъ** принимаютъ $v = 0{,}4$ до $0{,}8$ m/sec.; при этомъ каналамъ, приводящимъ воду, придается уклонъ $i = 0{,}0005$ до $0{,}0004$, а нижнимъ каналамъ $i = 0{,}002$ до $0{,}001$.

Для **судоходныхъ каналовъ**, въ которыхъ вода должна спускаться для очистки русла, или которые служатъ также для отвода водъ или для орошенія, средній уклонъ принимается $i = 0{,}000\,005$ до $0{,}000\,040$. Предѣлы для судоходныхъ каналовъ $1 : 600$ до $1 : 500$, во всякомъ случаѣ уклоны свыше $0{,}0002$ не желательны. Испареніе воды принимаютъ около 100 mm въ мѣсяцъ, хотя въ жаркіе дни и при вѣтрѣ можетъ доходить до 10 mm въ день. Потеря воды вслѣдствіе просачиванія можетъ доходить до 50%, почему цѣлесообразно располагать каналъ ниже уровня грунтовыхъ водъ. Среднія величины для потерь въ секунду отъ испаренія и просачиванія въ грунтъ равны 0,15 до 0,18 cbm/km въ лѣтніе мѣсяцы и 0,12 до 0,14 cbm/km—въ остальные мѣсяцы года.

Международный конгрессъ въ Вѣнѣ (1886) установилъ для главныхъ каналовъ и канализованныхъ рѣкъ слѣдующіе наименьшіе размѣры, въ предположеніи судовъ въ 450 t емкости.

Сѣченіе судна, погруженнаго на 1,75 m (наибольшее)—не должно быть болѣе 0,25 F.	
Нормальная глубина фарватера.	2,0 m.
То же подъ мостами и въ туннеляхъ	2,5 m.
Ширина фарватера по дну.	16,0 m.
Увеличеніе ширины по дну въ кривыхъ (наименьшій радіусъ 200 m) равно двойной стрѣлкѣ дуги, хорда которой равна наибольшей длинѣ судна.	
Ширина по дну подъ мостами.	16,0 m.
„ „ „ въ туннеляхъ	7,5 m.
Свободная высота подъ мостами.	4,5 m.
Нормальный шлюзъ:	
Глубина у порога при среднемъ горизонтѣ.	2,5 m.
Ширина въ свѣту у воротъ	7,0 m.
Длина камеры между порогами	75,5 m.

2. Неравномѣрное движеніе.

Основное уравненіе (обозначенія см. стр. 257):

$$dh = \frac{v\,.\,dv}{g} + \frac{1}{r}\,\frac{v^2}{c^2}\,dl, \text{ или } h = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2g} + \int_{l_0}^{l_1} \frac{1}{r}\,\frac{v^2}{c^2}\,dl.$$

НТБ ДНУЗТ

Здѣсь $g = 9{,}81$ m/sec.^{2} Уравненіе это примѣняется въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется опредѣлить форму продольной профили воды выше какой-нибудь плотины.

1. Въ предположеніи, что ширина значительно больше глубины и что v, r, i и F постоянны на длинѣ l, будемъ имѣть по Рюльману, если принять $r = t$:

$$\frac{il}{t} = \frac{1}{3}\ln\frac{Z}{z} + \frac{2}{3}\frac{Z-z}{t} + \frac{1}{9}\frac{Z^2-z^2}{t^2} - \frac{1}{27}\frac{Z^3-z^3}{t^3} + \frac{1}{108}\frac{Z^4-z^4}{t^4}$$
$$- \frac{1}{468}\frac{Z^6-z^6}{t^6} + \frac{1}{567}\frac{Z^7-z^7}{t^7} - \frac{1}{972}\frac{Z^8-z^8}{t^8} = \Phi\left(\frac{Z}{t}\right) - \Phi\left(\frac{z}{t}\right),$$

гдѣ:

Z высота подпертаго горизонта воды надъ первоначальнымъ у нижняго конца разсматриваемой длины рѣки l, въ m,

z та же величина для верхняго конца разсматриваемой длины, въ m,

i первоначальный уклонъ неподпертаго горизонта воды (или дна),

t средняя глубина первоначальнаго неподпертаго горизонта воды, въ m.

Таблица значеній $\Phi\left(\frac{Z}{t}\right)$ и соотв. $\Phi\left(\frac{z}{t}\right)$.

$\frac{Z}{t}$	$\Phi\left(\frac{Z}{t}\right)$	$\frac{Z}{t}$	$\Phi\left(\frac{Z}{t}\right)$	$\frac{Z}{t}$	$\Phi\left(\frac{Z}{t}\right)$	$\frac{Z}{t}$	$\Phi\left(\frac{Z}{t}\right)$
0,01	0,0067	0,2	1,1361	1,2	2,5084	3,0	4,3844
0,02	0,2444	0,3	1,3428	1,3	2,6179	3,5	4,8911
0,03	0,3863	0,4	1,5119	1,4	2,7264	4,0	5,3958
0,04	0,4889	0,5	1,6611	1,5	2,8337	5,0	6,4019
0,05	0,5701	0,6	1,7980	1,6	2,9401	6,0	7,4056
0,06	0,6376	0,7	1,9266	1,7	3,0458	8,0	9,4097
0,07	0,6958	0,8	2,0495	1,8	3,1508	10,0	11,4117
0,08	0,7482	0,9	2,1683	1,9	3,2553	20,0	21,4147
0,09	0,7933	1,0	2,2841	2,0	3,3595	50,0	51,4157
0,10	0,8353	1,1	2,3971	2,5	3,8754	100,0	101,4158

Разстояніе l той точки рѣки, гдѣ подпоръ составляетъ $\frac{z}{t} = 0{,}01$ глубины до нижняго подпертаго конца, опредѣляется:

$$l = \frac{t}{i}\left[\Phi\left(\frac{Z}{t}\right) - 0{,}0067\right].$$

Въ дѣйствительности можно пренебречь колебаніемъ горизонта воды при подпорѣ воды и, слѣд., эту величину l можно разсматривать какъ **часть длины рѣки**, на которой происходитъ подпоръ ея горизонта.

Примѣры: 1. При помощи плотины требуется поднять на 2,1 m уровень въ рѣкѣ, имѣющей средній уклонъ 1 : 2500 и среднюю глубину 3 m. Въ какомъ разстояніи отъ плотины кончается подпоръ воды?

НТБ ДНУЗТ

Имѣемъ: $t = 3{,}0$ m, $i = 0{,}0004$, $Z = 2{,}1$ m, $z = 0$; слѣд.:

$$l = \frac{3{,}0}{0{,}0004}\,\Phi\left(\frac{2{,}1}{3{,}0}\right) = 7500\,\Phi\,(0{,}7) = 7500\,.\,1{,}9266 = 14450\text{ m}.$$

Опредѣлить высоту подпертаго горизонта на разстоянiи 8500 m выше плотины?

$$\frac{0{,}0004\quad 8500}{3{,}0} = \Phi\,(0{,}7) - \Phi\left(\frac{z}{3{,}0}\right) = 1{,}9266 - \Phi\left(\frac{z}{3{,}0}\right)$$

$$\Phi\left(\frac{z}{3{,}0}\right) = 1{,}9266 - \frac{3{,}4}{3} = 1{,}9266 - 1{,}1333 = 0{,}7933.$$

По таблицѣ: $\frac{z}{t} = \frac{z}{3{,}0} = 0{,}09$, слѣд., подпоръ равенъ $z = 0{,}27$ m.

2. Для опредѣленiя высоты подпора воды Z между мостовыми быками и т. п. служитъ формула:

$$Q = {}^2/_3\mu b_1\sqrt{2g}\left[\left(Z + \frac{v^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\frac{v^2}{2g}\right)^{3/2}\right] + \mu b_1 t\sqrt{2g}\sqrt{Z + \frac{v^2}{2g}},$$

гдѣ, кромѣ прежнихъ обозначенiй,

b_1 разстоянiе въ свѣту между быками, въ m,

μ коэффиціентъ истеченiя и

$v = \dfrac{Q}{b(Z+t)}$ скорость воды, въ m/sec.

По Этельвейну имѣемъ:

для быковъ, у которыхъ голова имѣетъ заостренные въ планѣ края: $\mu = 0{,}95$;

для быковъ, у которыхъ голова имѣетъ пологое закругленiе или тупой уголъ: $\mu = 0{,}90$.

b. Водосливы и истеченiе у плотинъ и шлюзовъ.

1. Водосливы глухихъ плотинъ съ узкой горизонтальной площадной.

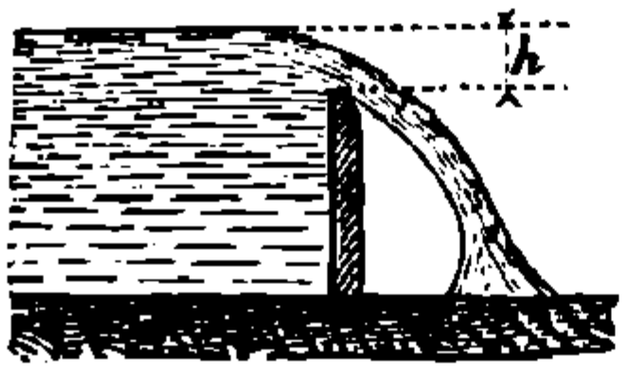
1. **Скоростью**, съ которой вода притекаетъ къ водосливу, **можно пренебречь**. Пусть:

Q количество воды, протекающее черезъ плотину въ секунду, въ cbm,

b ширина плотины въ m.

Для водослива **глухой плотины** *) (черт. 187) имѣемъ:

Черт. 187.

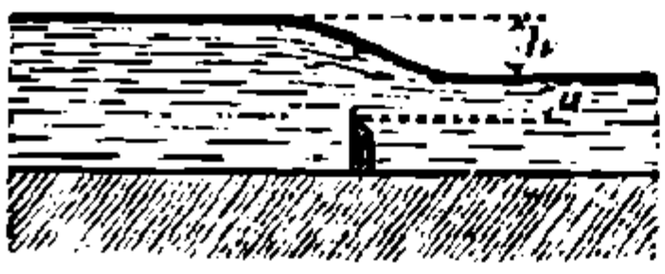


$$Q = {}^2/_3\,\mu_1 b h\sqrt{2gh},$$

гдѣ h высота (въ m) подпертаго уровня воды надъ верхомъ водослива.

Для **подпруды** (черт. 188):

Черт. 188.



$$Q = {}^2/_3\,\mu_1 b h\sqrt{2gh} + \mu_2 b a\sqrt{2gh},$$

гдѣ h (въ m) высота горизонта подпертой (верхней) воды надъ горизонтомъ неподпертой (низовой) воды и a разстоянiе верха подпруды отъ (первоначальнаго) горизонта низовой воды въ m. По Редтенбахеру:

$${}^2/_3\,\mu_1 = 0{,}57^{**}) \qquad \mu_2 = 0{,}62.$$

---

*) См. также R. Maschke, Abflussmengen bei vollkommenen Ueberfallwehren, Centralbl. d. Bauverw. 1892, стр. 175.

**) По Фрезе, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1890, стр. 1285 и слѣд., для $h > 0{,}1$ m:

$$\mu_1 = \left(0{,}615 + \frac{0{,}0021}{h}\right)\left[1 + 0{,}55\left(\frac{h}{t}\right)^2\right]. \qquad (t - \text{глубина канала въ m}).$$

НТБ ДНУЗТ

Если при данной ширинѣ плотины b и данномъ расходѣ Q необходимо произвести подпоръ $= h$, то при

$$Q > 0{,}57\, b h \sqrt{2gh}$$

необходимо устроить подпруду, а при

$$Q < 0{,}57\, b h \sqrt{2gh}$$

— плотину. Вершина плотины должна быть на уровнѣ низовой воды при $Q = 0{,}57\, b h \sqrt{2gh}$.

2. **Скоростью**, съ которой вода притекаетъ къ плотинѣ, **пренебречь нельзя.**

Расходъ воды черезъ водосливъ опредѣляется тогда для **плотинъ**:

$$Q = {}^2/_3\, \mu_1\, b \sqrt{2g}\, [(h+k)^{3}/_2 - k^{3}/_2],$$

а для **подпруды**:

$$Q = {}^2/_3\, \mu_1\, b \sqrt{2g}\, [(h+k)^{3}/_2 - k^{3}/_2] + \mu_2\, b\, a \sqrt{2g} \sqrt{h+k},$$

гдѣ k — высота, соотвѣтствующая скорости воды (въ m) $= \frac{v^2}{2g}$,

если v скорость (въ m) выше плотины.

Для косой плотины слѣдуетъ v умножить еще на sin угла ея съ направленіемъ теченія.

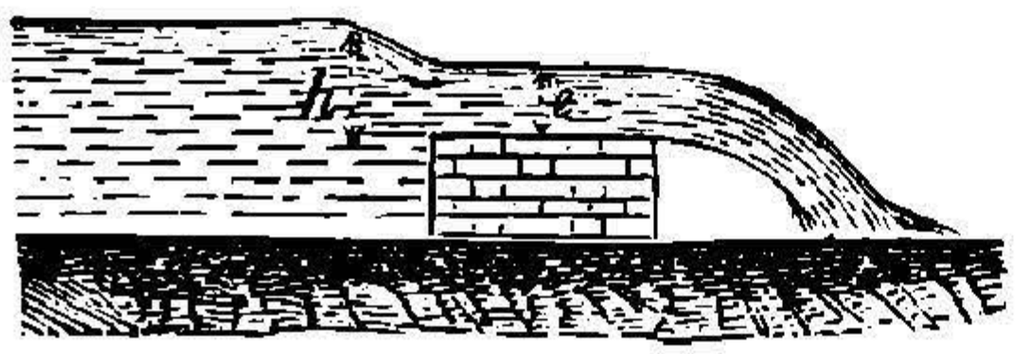
Въ формулу подставлнются величины ${}^2/_3\, \mu_1 = 0{,}57$ и $\mu_2 = 0{,}62$, если вершина подпруды значительно возвышается надъ дномъ; по мѣрѣ приближенія вершины плотины ко дну рѣки коэффиціентъ μ_2 приближается къ 0,83.

Для опредѣленія величины h при данной высотѣ плотины подставляемъ въ вышеприведенныя уравненія $k = 0$ и опредѣляемъ h. Затѣмъ находимъ значеніе k, соотвѣтствующее вычисленной величинѣ h, и по h и k опредѣлимъ Q. Найденный расходъ Q будетъ больше даннаго. Путемъ послѣдовательныхъ проб находимъ меньшую величину для h, которая соотвѣтствуетъ, при найденномъ k, заданному расходу.

2. Водосливы глухихъ плотинъ съ широкой горизонтальной площадкой.

Вода переливается черезъ водосливъ по направленію, параллельному верхней горизонтальной площадкѣ, и толщина переливающагося слоя (черт. 189):

Черт. 189.



$$e = {}^2/_3\, (h+k).$$

Расходъ:

$$Q = 0{,}35\, b \sqrt{2g}\, (h+k)^{3}/_2 .$$

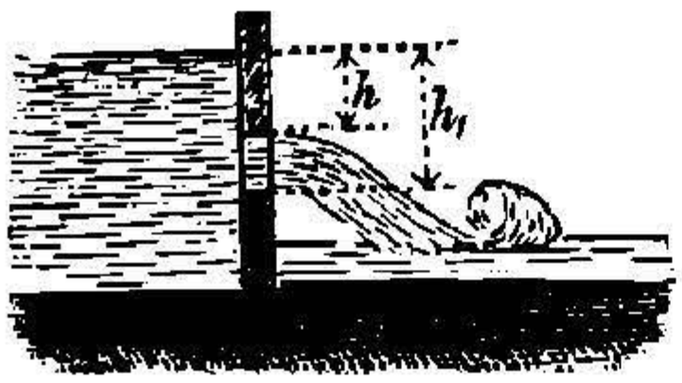
(Обозначенія b, k, g см. стр. 263).

3. Истеченіе воды въ отверстіяхъ плотинъ.

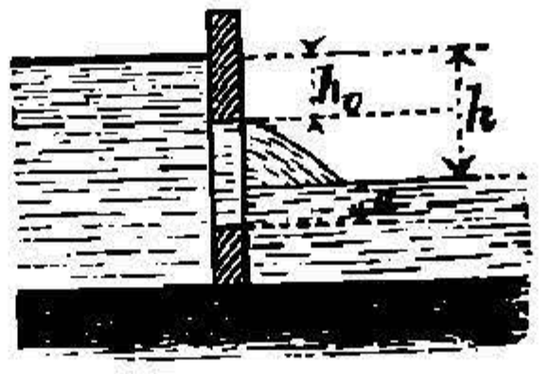
Расходъ опредѣляется въ зависимости отъ того, расположено ли отверстіе истеченія частью или вполнѣ подъ уровнемъ низовой воды, а именно:

НТБ ДНУЗТ

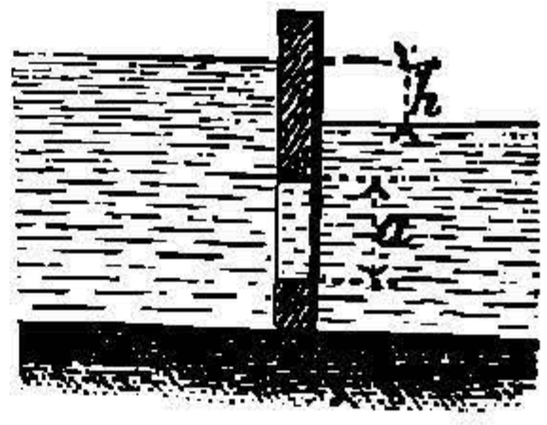
Черт. 190.



Черт. 191.



Черт. 192.



$Q = {}^2/_3 \mu b \sqrt{2g} [(h_1 + k)^{3}/_2 - (h_0 + k)^{3}/_2]$ (черт. 190);

$Q = {}^2/_3 \mu b \sqrt{2g} [(h_1 + k)^{3}/_2 - (h_0 + k)^{3}/_2] + \mu b a \sqrt{2g} \sqrt{h_1 + k}$ (черт. 191);

$Q = \mu b a \sqrt{2g} \sqrt{h + k}$ (черт. 192),

гдѣ $k = v^2 : 2g$,

v скорость притекающей воды въ m/sec. и $g = 9{,}81$ m/sec.^{2}.

При расположеніи нижней грани отверстія выше дна $\mu = 0{,}6$, при расположеніи нижней грани на уровнѣ дна $\mu = 0{,}65$ до $0{,}7$.

4. Истеченіе воды изъ шлюзныхъ камеръ.

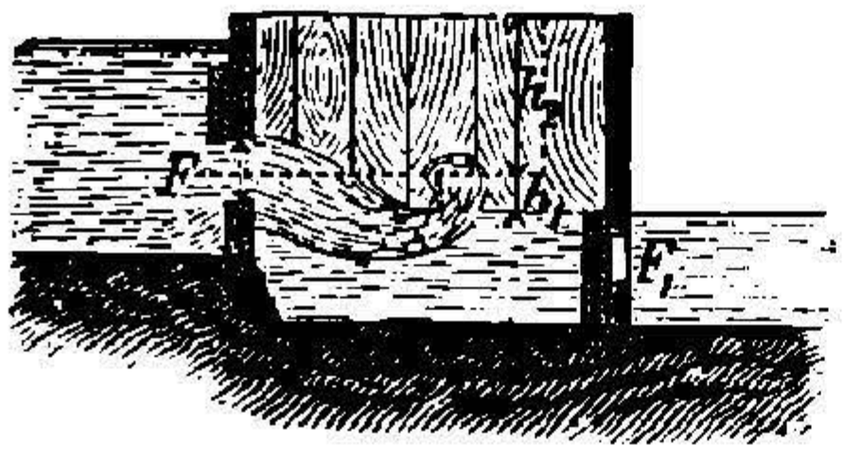
Пусть въ шлюзной камерѣ (черт. 193) h_1 будетъ высота средины отверстія шлюзныхъ воротъ надъ горизонтомъ низовой воды, а h_2 та же высота подъ горизонтомъ высокой воды, въ m,

K горизонтальное сѣченіе шлюзной камеры (площадь воды) въ qm,

F площадь верхняго отверстія въ qm,

F_1 площадь нижняго отверстія въ qm.

Черт. 193.



Время t, необходимое для **наполненія камеры** (въ сек.):

$$t = \frac{(h_1 + 2h_2) K}{\mu F \sqrt{2gh_2}}.$$

Время t (въ сек.), необходимое для **опорожненія камеры**, опредѣляется:

α) если нижнее отверстіе F_1 находится подъ горизонтомъ низкой воды, то

$$t = \frac{2K \sqrt{h_1 + h_2}}{\mu F_1 \sqrt{2g}};$$

β) если нижнее отверстіе F_1 шлюзныхъ воротъ лежитъ частью надъ уровнемъ низкой воды и если, при томъ, часть a_1 высоты отверстія находится выше, а часть высоты a_2 ниже этого уровня, то при ширинѣ отверстія b имѣемъ:

$$t = \frac{2K(h_1 + h_2)}{\mu b \sqrt{2g} [a_1 \sqrt{h_1 + h_2 - {}^1/_2 a_1} + a_2 \sqrt{h_1 + h_2}]}$$

НТБ ДНУЗТ

E. Прохожденіе (просачиваніе) воды черезъ различные грунты *).

1. Если a и b—постоянныя величины, и вода находится на высотѣ H (въ m) надъ почвою, толщина которой $= D$ (въ m), то количество воды Q на 1 qm поверхности фильтра въ 1 часъ, при H около 2,5 m:

$$Q = a + b\,H.$$

a зависить оть рода фильтрующаго грунта и величины зерна. b, кромѣ того, зависитъ отъ D. Въ нижеприведенныхъ таблицахъ указано слѣдуетъ ли принимать Q въ cbm или въ литрахъ.

Постоянныя a и b.

1. По опытамъ водопроводной коммиссіи въ Мюнстерѣ.
Поверхность фильтра = 1 qm; H до 2,5 m; Q въ литрахъ въ часъ для 1 qm.

Родъ фильтра и величина зерна.	a	b для $D =$ 0,2	0,4	0,6	0,8	1,0 m
Песокъ 0,1 до 0,8 mm зерна .	36	131	75	50	32	16
„ 0,1 „ 0,3 „ „ .	1,1	13	11	9,5	8,6	8,0
„ со слѣдами глины .	1,8	—	7,1	3,1	1,7	1,2
Мергель, утрамбов. сырымъ. .	0,004	0,015	0,011	0,008	0,006	0,005
Глина, утрамбованная сырая .	0,0018	0,006	0,005	0,003	0,003	0,002

Примѣчаніе. При увеличеніи высоты H въ опытахъ, приведенныхъ въ 1, свыше 2,5 до 3,0 m, соотношеніе $Q = a + bH$ не имѣетъ мѣста, и Q увеличивается съ высшими (неизвѣстными) степенями H. Для $D = 0{,}2$ m предѣлъ былъ достигнутъ при $H = 2{,}5$ m. для $D = 0{,}4$ m — при $H = 3{,}0$ m.

Гидравлическая высота напора въ различныхъ мѣстахъ по высотѣ фильтрующаго слоя для чистаго песка оказывается такою же, какъ и въ трубопроводѣ весьма малаго діаметра, т.-е. потеря напора пропорціональна толщинѣ D слоя, черезъ который проходитъ вода. Напротивъ того, для глины имѣетъ значеніе высота только для нижняго слоя въ 5 cm, тогда какъ въ выше расположенныхъ слояхъ гидравлическая высота почти равна гидростатической. Отсюда слѣдуетъ, что слой глины не нагруженный размягчается въ водѣ и что при заполненіи **подпорныхъ стѣнокъ** глиной необходимо разсчитывать эти стѣнки на полное гидростатическое давленіе воды, если нѣтъ раціональнаго отведенія воды отъ слоя глины.

2. По опытамъ **Величковскаго**.

Поверхность фильтра = 20 qcm; H до 1,0 m; Q въ cbm/въ часъ и qm.

Родъ фильтра и величина зерна.	a	b для $D =$ 0,25	0,50	0,75	1,00 m
Средній гравій 4,0 до 7,0 mm. .	233	450	250	180	130
Мелкій „ 2,0 „ 4,0 „ .	126	270	190	115	86
Грубый песокъ 1,0 „ 2,0 „ .	21	79	38	24	17
Средній „ 0,33 „ 1,0 „ .	1,9	8,9	3,9	2,4	1,7

*) См. Centralbl. d. Bauverw. 1891, стр. 229; также Zeitschr. f. Bauweson 1877, стр. 351.

НТБ ДНУЗТ

3. По опытамъ **Вольни.**

Поверхность фильтра = 28 qcm; H до 1, 0 m; Q см. въ таблицѣ.

Родъ фильтра и величина зерна.	a	b для $D =$ 0,1	0,2	0,3 m	Q
Песокъ: зерно	1,0 до 2,0 mm	5,0	50	38	34	въ cbm / часъ. qm
„	0,5 „ 0,1 „	2,9	32	21	16	
„	0,25 „ 0,50	0,9	12.8	7,6	5,6	
„	0,17 „ 0,25 „	0,65	3,8	2,9	1,9	
„	0,11 „ 0,17	0,54	2,0	1,2	0,4	
	0,01 „ 0,20	70	320	130	60	литрахъ / часъ. qm
	0,07 „ 0,11 „	50	240	100	50	
Ольденбургск. торфъ	0,01 „ 0,25 „	1,8	29,2	13,2	7,2	
Верхнебаварск. „	0,01 „ 0,114 „	0,5	2,1	0,8	0,2	
Каолинъ.	0,01 0,07	0,07	1,73	1,03	0,29	

4. Для песка **Гамбургскаго фильтра**, при $H = 1,1$ найдено:

$Q = 60\,H$ въ литрахъ въ часъ и qm.

2. Если нѣсколько слоевъ фильтрующей массы наложены другъ на друга, то для Q имѣетъ значеніе масса съ наиболѣе мелкими зернами, хотя бы слой этой массы и не превосходилъ нѣсколькихъ cm.

При смѣшеніи тѣлъ, имѣющихъ зерно различной величины, наибольшая плотность достигается, когда мелкозернистая масса располагается въ промежуткахъ между зернами болѣе крупнозернистой массы; и въ этомъ случаѣ для опредѣленія Q необходимо принимать въ разсчетъ наиболѣе мелко-зернистую массу.

Просушенная глина въ водѣ увеличивается до 2,5 разъ противъ своего первоначальнаго объема. Для засыпки свободно стоящихъ стѣнъ необходимо глину употреблять тонкими слоями и въ сыромъ видѣ. Напротивъ, для уплотненія водонепроницаемыхъ слоевъ утрамбовывать глину съ весьма малымъ содержаніемъ воды и предохранять отъ смыванія насыпкой (загрузкой) слоя песка. Степень пропусканія смоченной глины приблизительно въ 1000 разъ болѣе, чѣмъ плотно утрамбованной слабо-сырой глины.

Водопропускаемость грунтовъ въ значительной степени уменьшается при помощи слоевъ глины, окиси желѣза и т. п. Эти слои достигаютъ наибольшаго дѣйствія уже при толщинѣ въ 5 cm; въ виду возможной осадки грунта эту толщину обыкновенно увеличиваютъ.

НТБ ДНУЗТ

F. Высота подъема и дальность боя свободных водяныхъ струй.

Пусть:

H полезная высота напора у отверстія истеченія въ m (см. стр. 241 и 242).

H_{max} наибольшая принятая при опытахъ высота напора въ m,
S вертикальный подъемъ струи въ m,
W дальность боя наклонной струи въ m,
d діаметръ отверстія наконечника въ mm,
l длина наконечника въ mm.

1. Для нижеслѣдующихъ наконечниковъ, діаметромъ $d = 10$ mm на концѣ, **Вейсбахъ** *) нашелъ:

№ I, коноидальный, переходящій у отверстія истеченія въ цилиндрическій,
„ II, коническій съ внутреннимъ закругленіемъ, $l = 40$ mm, входное отверстіе діаметромъ 20 mm,
„ III, коническій съ внутреннимъ закругленіемъ, $l = 145$, наклонъ производящей $5^3/_4{}^0$,
„ IV, какъ и № III, но $l = 105$ mm,
„ V, какъ и № III, но $l = 245$ mm,
„ VI, цилиндрическая труба съ внутреннимъ закругленіемъ, $l = 150$ mm,

нижеслѣдующіе результаты:

Наконечникъ	H_{max}	$\frac{S}{H}$ для $H =$			Наконечникъ	H_{max}	$\frac{S}{H}$ для $H =$		
№	m	5 m	10 m	15 m	№	m	5 m	10 m	15 m
I	17,8	0,950	0,887	0,801	IV	13,5	0,960	0,928	0,884
II	20,5	0,942	0,886	0,824	V	17,7	0,950	0,927	0,876
III	18,1	0,936	0,881	0,804	VI	19,4	0,753	0,718	0,672

При одинаковой высотѣ напора H, ввиду сопротивленія воздуха, большей величинѣ d соотвѣтствуютъ большія величины S и W.

2. По **Фриману** **), опыты надъ струей, вытекающей изъ наконечника пожарнаго рукава, при діам. наконечника $d = 19$ до 35 mm, дали слѣдующія значенія для высоты подъема водяной струи S и

См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1861, стр. 113.
**) См. Freeman, Verhandlungen der American Society of Civil Engineers, New-York, Nov. 1890; а также Schillings Journal f. Gasbeleuchtung und Wasservers. 1890, № 32—34.

НТБ ДНУЗТ

дальности боя W (послѣдняя опредѣлена при наклонѣ наконечника въ 32^0 къ горизонту).

Высота подъема и дальность боя въ m.		d въ mm.	При напорѣ (у самаго наконечника) H въ m = 5	10	15	20	30	40	50	60	70
S	цѣльной непрерывной струи при свѣжемъ вѣтрѣ.	19	3,7	7,3	11,0	14,4	16,2	21,6	23,6	24,4	25,4
		35	4,0	7,9	11,6	15,2	18,3	24,6	27,7	29,6	31,0
	крайнихъ капель (при безвѣтріи)	19	4,3	8,8	13,1	17,7	25,3	31,0	36,0	39,0	41,0
		35	4,6	9,5	14,0	18,3	27,8	36,0	43,0	48,0	50,0
W	цѣльной непрерывной струи при свѣжемъ вѣтрѣ.	19	4,3	7,0	9,5	11,0	14,0	15,8	17,7	19,5	20,8
		35	5,5	9,5	13,1	15,8	20,4	23,0	25,0	27,0	28,7
	крайнихъ капель (при безвѣтріи).	19	7,8	15,5	23,2	28,6	35,8	41,0	45,0	48,5	51,0
		35	8,8	17,4	26,6	34,2	47,0	55,0	62,0	67,0	72,0

Примѣчаніе. Наконечникъ на разстояніи 20 mm отъ края обточенъ по гладкой цилиндр. поверхности.

Лучшимъ пожарнымъ наконечникомъ, по Фриману, является конической, съ цилиндрическимъ концомъ на длинѣ $= 0{,}5\ d$, съ закругленіемъ въ мѣстѣ перехода; по Вейсбаху, кромѣ этого, еще конической наконечникъ съ уклономъ приблизительно въ 6^0, при $l = 10\,d$.

Лучше примѣнять одну струю съ большимъ сѣченіемъ, чѣмъ двѣ струи меньшаго сѣченія одновременно, такъ какъ первая имѣетъ большую величину S и W и даетъ возможность скорѣе потушить огонь, въ виду того, что струѣ можетъ быть придана движеніемъ мундштука любая зигзагообразная, криволинейная форма.

G. Ударъ воды о твердыя тѣла.

a. Ударъ водяной струи.

Пусть:

P ударъ воды, т. е. гидравлическое давленіе (въ kg) струи воды на нѣкоторую площадь,

F площадь сѣченія водяной струи въ qm,

v скорость струи въ m/sec.,

c скорость, съ которою движется разсматриваемая площадь по направленію водяной струи, въ m/sec.,

Q количество воды въ cbm, которое притекаетъ въ теченіе одной секунды для произведенія удара; $Q = (v - c)\,F$, если ударъ происходитъ постоянно на одну и ту же площадь, и $Q = v\,F$, когда (какъ въ водяныхъ колесахъ) дѣйствію струи подвергается непрерывный рядъ плоскостей.

НТБ ДНУЗТ

γ вѣсъ cbm воды $= 1000$ kg, $g = 9{,}81$ m/sec^2.,
α уголъ, на который отклоняется струя воды,
$h = v^2 : 2g$ скоростной напоръ, соотвѣтствующій v, въ m (см. стр. 146).

1. Прямой ударъ.

1. Вообще имѣемъ:

$$P = \frac{\gamma}{g} Q (v - c) (1 - \cos \alpha).$$

2. Для плоскости, которая нормальна къ направленію струи и настолько велика, что всѣ водяныя струи отклоняются на 90^0, имѣемъ:

$$P = \frac{\gamma}{g} Q (v - c);$$

а если плоскость находится въ покоѣ, т. е. $c = 0$, то

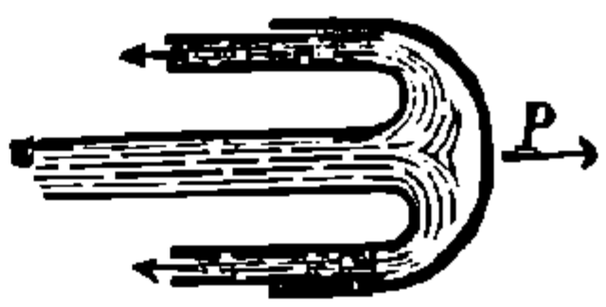
$$P = \gamma F \frac{v^2}{g} = 2\gamma F h.$$

Вмѣсто $2\gamma Fh$ надо положить γFh, если плоскость и струя имѣютъ одинаковый діаметръ, и $1{,}5\,\gamma Fh$, если діаметръ плоскости, по крайней мѣрѣ, вдвое больше діаметра струи и если плоскость придвинута близко къ отверстію.

3. Если струи воды принуждены, какъ показано на черт. 194, возвращаться обратно по противоположному направленію, то

$$P = 2 \frac{\gamma}{g} Q (v - c);$$

Черт. 194.



если же поверхность находится при этомъ въ покоѣ (слѣд., $c = 0$), то:

$$P = 2\gamma F \frac{v^2}{g} = 4\gamma F h.$$

4. **Работа удара** $E = Pc$ (въ mkg въ секунду) будетъ наибольшая при $c = {}^1/_2 v$, и тогда будемъ имѣть:

для случая 2.: $$E = {}^1/_2 \frac{v^2}{2g} Q\gamma = {}^1/_2 Qh\gamma;$$

для случая 3.: $$E = \frac{v^2}{2g} Q\gamma = Qh\gamma.$$

2. Косой ударъ.

Если **ударъ направленъ подъ угломъ** α **къ плоскости**, то **общая сила удара** по направленію струи будетъ, если струя воды можетъ уходить:

1. только въ одну сторону (черт. 195):

$$P = (1 - \cos \alpha) \frac{v - c}{g} Q\gamma;$$

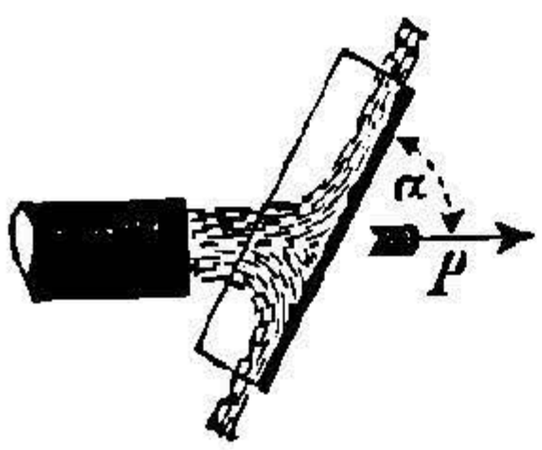
Черт. 195.

НТБ ДНУЗТ

2. въ обѣ стороны (черт. 196):

$$P = \sin^2\alpha \frac{v-c}{g} Q\gamma;$$

Черт. 196.



3. во всѣ стороны:

$$P = \frac{2\sin^2\alpha}{1+\sin^2\alpha} \frac{v-c}{g} Q\gamma.$$

Боковой ударъ S въ kg въ случаяхъ 1. и 2.:

$$S = \sin 2\alpha \frac{v-c}{2g} Q\gamma.$$

b. Ударъ неограниченной массы воды.

Пусть:

P ударъ (т. е. гидравлическое давленіе) воды въ kg,

F наибольшее сѣченіе тѣла подвергаемаго дѣйствію воды, въ qm,

v средняя скорость воды относительно F въ m/sec.,

ψ коэффиціентъ, зависящій отъ длины тѣла, равно какъ и отъ величины и формы передней его поверхности,

l длина тѣла въ m,

g и γ имѣютъ то же значеніе, что и въ **a.**

Вообще имѣемъ: $$P = \psi\gamma F \frac{v^2}{2g}.$$

Причемъ, по Дюбуа и Дюшмену:

1. Для **призматическаго тѣла съ тупыми концами:**

при $\frac{l}{\sqrt{F}} =$		0,03	1,0	2,0	
для неподвижнаго тѣла	$\psi =$	1,86	1,47	1,35	1,33
для тѣла въ движеніи	$\psi =$	1,43	1,17	1,12	1,10

2. Для **призматическаго тѣла съ заостренными концами:**

Длина тѣла предполагается въ 5 до 6 разъ большею его ширины, коэффиціентъ сопротивленія ψ переходитъ въ ψ_1. По Боссю, Даламберту и друг., имѣемъ:

1. при **заостренномъ переднемъ концѣ:**

половина угла заостренія =	90^0	78^0	66^0	54^0	42^0	30^0	6^0
ψ_1 ψ =	1,00	0,96	0,85	0,69	0,54	0,44	0,40;

2. при **заостренномъ заднемъ концѣ:**

половина угла заостренія =	69^0	48^0	24^0	12^0
ψ_1 ψ =	0,94	0,89	0,86	0,84.

По измѣреніямъ (1842—1880) ударъ морскихъ волнъ составлялъ maximum 32000 kg/qm. У маяка Шерри (Sherry) были на высотѣ 12 метровъ сорваны массивы вѣсомъ 13000 kg.

НТБ ДНУЗТ

Высота морскихъ волнъ въ бурю 14, длина волны 150 до 200 m, скорость до 61 km въ часъ.

c. Сопротивленія движенію судовъ въ рѣкахъ и каналахъ*).

Пусть:
W сопротивленіе движенію судна въ kg,
F наибольшее погруженное въ воду сѣченіе судна въ qm,
v_1 скорость судна въ m/sec.,
v_2 „ теченія воды въ m/sec.,
n отношеніе смоченнаго сѣченія канала къ F,
ψ, γ и g имѣютъ тѣ же значенія, что и въ b.
Вообще, имѣемъ:

$$W = \psi \gamma F \frac{(v_1 \pm v_2)^2}{2g}$$

гдѣ знакъ + для движенія противъ теченія, знакъ — по теченію.

Беллингратъ даетъ формулу:

$$W = \psi \gamma F \frac{(v_1 \pm v_2)^2}{2g} \left(\frac{n}{n-1}\right)^2$$

Приблизительно $v_{1max} = 4$ m; $v_{2max} = 3$ m въ сек.; $n \geqq 4$.

Для хорошо построенныхъ рѣчныхъ пароходовъ $\psi = 0{,}16$ до 0,20; для хорошо построенныхъ рѣчныхъ судовъ $\psi = 0{,}21$ до 0,27; для шара $\psi = 0{,}7886$.

Среднее соотношеніе между глубиной, шириной и длиной судовъ для каналовъ 1 4 30.

Дальнѣйшія подробности см. II, отдѣлъ XII—Судостроеніе.

H. Обмѣръ воды.

a. Опредѣленіе напора въ трубопроводахъ

при небольшомъ давленіи всего удобнѣе и вѣрнѣе при помощи **пьезометра**, въ которомъ вода сама подымается.

При большомъ давленіи пользуются **дифференціальными жидкими** водяными или ртутными **столбами**, а также **пружинными манометрами.**

Соединеніе пьезометра съ трубопроводомъ производится черезъ отверстіе діам. 1 до 2 mm въ стѣнкѣ трубы, строго нормально къ направленію струи. Остающіеся при сверленіи дыръ заусенцы металла должны быть безусловно удалены. Равнымъ образомъ, долженъ быть удаленъ воздухъ изъ всѣхъ частей пьезометра. Потеря напора (или сопротивленіе) трубопровода опредѣляется разностью высотъ, по меньшей мѣрѣ, двухъ пьезометровъ. Оба пьезометра должны быть уставлены въ тѣхъ мѣстахъ трубопровода, гдѣ сѣченіе его строго одинаково, чтобы избѣжать вліянія сжатія струи.

---

*) Новѣйшія сочиненія по этому вопросу: Schmitt, Beschreibung eines Projectes für einen Kanal von Strassburg bis Speyer; Graevell, Civiling. 1887, стр. 97; Dietze, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1889, стр. 559; de Mas, Zugwiderstand der Schiffe, 1892.

НТБ ДНУЗТ

b. Опредѣленіе скоростей.

1. На поверхности непосредственно при помощи **поплавковъ**, которые погружаются не болѣе 0,3 m; **жезлъ Кабео**, для какой угодно глубины, представляетъ жестяную трубку ($d \leqq 2$ cm), съ дномъ и крышкой; трубка наполняется дробью для опусканія въ вертикальномъ положеніи, по возможности ближе ко дну. При помощи поплавковъ скорость опредѣляется раздѣленіемъ пути, пройденнаго поплавкомъ (въ m), на время плаванія поплавка (въ сек.).

Трубка **Пито Дарси** представляетъ трубку, загнутую подъ прямымъ угломъ, съ длиннымъ вертикальнымъ концомъ и короткимъ горизонтальнымъ концомъ. Если h_1 и h_2 высоты воды надъ уровнемъ рѣки въ вертикальной трубкѣ при направленіи горизонтальнаго конца по теченію и противъ теченія, то скорость воды будетъ:

$$v = \psi \sqrt{2\,g\,(h_1 + h_2)} = \psi_1 \sqrt{h_1 + h_2},$$

гдѣ ψ или ψ_1 опредѣляются путемъ опытовъ. При $v = 1{,}65$ m/sec., имѣемъ $\psi = 0{,}89$ и $\psi_1 = 3{,}94$. Важно при опредѣленіи скоростей у дна. Усовершенствованная **Франкомъ** трубка позволяетъ опредѣлить среднюю скорость (см. стр. 258) посредствомъ одного только измѣренія *).

При помощи **вертушки Вольтмана** **) съ электрическимъ указателемъ, исправленнымъ Амслеромъ, скорость опредѣляется въ зависимости отъ числа оборотовъ u:

$$v = \alpha u + \beta;$$

α и β опредѣляются при перемѣщеніи крыльевъ съ опредѣленною скоростью въ стоячей водѣ.

2. Для **трубопроводовъ** и **водяныхъ струй** пользуются трубкой **Пито** (см. выше), горизонтальный конецъ которой заостренъ и направленъ противъ струи текучей воды; такимъ образомъ, боковое давленіе равно нулю, и показаніе вертикальнаго конца трубки даетъ скоростной напоръ. Средняя скорость получается (по стр. 258) изъ скоростей, соотвѣтствующихъ скоростнымъ напорамъ въ различныхъ точкахъ сѣченія (опыты Фримана, Базена и др.). Трубка Пито при помощи сальника вставляется въ стѣнку трубы и можетъ быть перемѣщаема по діаметру сѣченія трубопровода.

Для трубопроводовъ большого діаметра d, для которыхъ хотя приблизительно извѣстны коэффиціенты для измѣряемой скорости v (см. стр. 250), величина послѣдней опредѣляется на основаніи пьезометрическихъ высотъ по формулѣ:

$$w = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \text{ и, слѣд., } v = 4{,}43 \sqrt{\frac{w\,d}{\lambda\,l}},$$

гдѣ w разность пьезометрическихъ уровней въ m.

---

*) См. Deutsche Bauzeitung 1888, стр. 609.
**) См. Wochenbl. f. Baukunde, 1887, стр. 382; Centralbl. d. Bauverw, 1897, стр. 489; Wochenbl. f. Arch. und Ing., 1882, стр. 479.

НТБ ДНУЗТ

c. Опредѣленіе количества воды.

1. Для **рѣкъ** см. стр. 257 и слѣд. Если F поперечная профиль рѣки нормально къ теченію воды (въ qm) и v средняя скорость профили, опредѣленная разсчетомъ или измѣреніемъ, въ m/sec., то количество воды равно $Q = Fv$ въ cbm/sec.

2. Для **небольшихъ ручьевъ** пользуются **водянымъ дюймомъ**—струей, которая проходитъ черезъ отверстіе діам. 1″ прусск. (26,15 mm), при возможно маломъ давленіи. Въ стѣнкѣ, которая возможно плотно заграждаетъ ручей, продѣлано нѣсколько отверстій въ 26,15 mm (а также и отверстія діам. $^1/_2$″, $^1/_4$″, $^1/_8$″). Часть этихъ отверстій затыкается пробками, при томъ такъ, чтобы вода при неизмѣняющемся горизонтѣ касалась верхнихъ краевъ незаткнутыхъ отверстій. По Гагену, водяной дюймъ прусск. = 0,3612 куб. фут./мин. = 11.1683 литр./мин. = 520 куб. фут./день = 16,0784 cbm/день. Способъ этотъ не вполнѣ надеженъ.

3. Для **трубопроводовъ**, а также небольшихъ ручьевъ пользуются также **измѣреніемъ** по способу **Брауера** и **Ганзена** *). При помощи двухъ вертикально установленныхъ наконечниковъ (черт. 172, стр. 247), изнутри выполированныхъ, производится раздѣленіе Q. Оба наконечника подвержены одинаковому давленію и имѣютъ одинаковый коэффиціентъ истеченія $\mu \sim 0{,}99$, поэтому протекающія черезъ нихъ количества воды относятся между собой какъ площади сѣченія наконечниковъ. Меньшій наконечникъ доставляетъ воду въ обмѣренный и калиброванный сосудъ съ водоуказателемъ.

Меньшія количества воды Q въ литр./sec. можно опредѣлять непосредственнымъ **взвѣшиваніемъ** въ пріемномъ сосудѣ.

VII. МЕХАНИКА ГАЗОВЪ И ПАРОВЪ.

(Какъ примѣненіе механической теоріи теплоты, см. III отдѣлъ, теплота).

A. Общія данныя.

Всѣ газы (пары) могутъ быть при болѣе или менѣе сильномъ давленіи и пониженіи температуры приведены въ капельно-жидкое состояніе.

Для каждаго газа существуетъ однако такъ наз. **критическая температура**, при которой еще возможно приведеніе этого газа въ капельно-жидкое состояніе; при болѣе высокой температурѣ никакое давленіе не въ состояніи привести газъ въ капельно-жидкое состояніе. Критическая температура для сѣрнистой кислоты + 156°,

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, стр. 1493 и 1610.

НТБ ДНУЗТ

амміака +131°, углекислоты +31,3°, кислорода —118°, азота —146°, воздуха —140° *).

Паръ данной жидкости называется **насыщеннымъ**, когда, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, достаточно безконечно малаго пониженія температуры для того, чтобы произвести сгущеніе этого пара (конденсацію), и **перегрѣтымъ**, когда для достиженія сгущенія въ капельно-жидкое состояніе необходимо конечное пониженіе температуры. Паръ въ соединеніи съ соотвѣтствующею жидкостью всегда насыщенъ.—Сильно перегрѣтые пары наз. **газами**.

Давленіе газовъ и **паровъ измѣряется**, въ зависимости отъ величины этого давленія, въ миллиметрахъ (или метрахъ) водяного столба, миллиметрахъ ртутнаго столба, kg/qm, kg/qcm, фунтахъ на кв. дюймъ и атмосферахъ **).

1 метрич. (новая) атмосфера ***) = **1 kg на 1 qcm** = 735,51 mm =
= 27,171 париж. дюйм. = 28,958 англ. дюйм. = 28,122 прусск. дюйм. ртутнаго столба.
= 10,000 m водяного столба.
= 14,223 англ. фун. на кв. дюймъ.
= 13,681 прус. фун. на кв. д.
= 15,753 рус. фун. на кв. дюймъ
= 0,967777 старой атмосферы.

1 старая атмосфера = **760 mm** = 28,075 париж. дюйм. =
= 29,922 англ. д. = 29,058 прус. дюйм. ртутн. столба = 1,033296 kg/qcm
= 10,333 m водяного столба.
= 14,696 англ. фун. на кв. дюймъ.
= 14,136 прус. фун. на кв. дюймъ.
= 15,724 рус. фун. на кв. дюймъ.
= 1,033296 метрич. атмосф.

1 mm водяного столба $= \frac{1}{13,596} =$ 0,073 551 mm ртутнаго столба.

1 mm ртутнаго столба = 13,596 mm водяного столба = 0,001 359 6 метр. атмосф. = 0,001 315 8 стар. атмосф.

Для перехода отъ mm ртутнаго столба къ новымъ атмосферамъ можетъ служить таб. на стр. 286 и 287, графы 1 и 2.

Средняя высота барометра при 0° и при

0	100	200	300	400	500 m высоты надъ уровнемъ моря
760	750,6	741,2	732,0	722,9	713,9 mm ртутнаго столба.

При температурѣ 0° и *n*. 100 m высоты надъ уровнемъ моря среднее стояніе барометра = 760 . $0,987567^n$ mm ртутнаго столба; при этомъ lg 760 = 2,880 813 6, а lg 0,987 567 = 0,994 566 6 — 1.

---

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, стр. 681.
**) Уд. вѣсъ ртути принятъ при 0° $\sigma = 13,596$; болѣе точно $\sigma = 13,5956$.
***) Подъ словомъ атмосфера вездѣ будемъ подразумѣвать (**новую**) **метрическую атмосферу**.

НТБ ДНУЗТ

B. Уравненія состоянія газовъ и паровъ.

a. Уравненія для газовъ и перегрѣтыхъ паровъ.

Законъ Маріотта Гей-Люссака

съ достаточнымъ приближеніемъ примѣнимъ для газовъ, которые далеки отъ сгущенія.

1. Если для даннаго состоянія газа:
p давленіе въ kg/qm (удѣльное давленіе),
v объемъ 1 kg газа въ cbm (удѣльный объемъ),
$\gamma = 1 : v$ вѣсъ одного cbm газа въ kg (плотность),
t температура въ градусахъ C,
$T = a + t$ **абсолютная температура,** причемъ
$\frac{1}{a} = \alpha$ объемный коэффиціентъ расширенія

и, кромѣ того, p_1, v_1, γ_1, t_1, T_1—значенія величинъ p, v, γ, t, T для какого-нибудь другого состоянія газа, то

$$\frac{vp}{v_1 p_1} = \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t_1} = \frac{\frac{1}{\alpha}+t}{\frac{1}{\alpha}+t_1} = \frac{a+t}{a+t_1} = \frac{T}{T_1};$$

$$\frac{vp}{T} = \frac{v_1 p_1}{T_1} = \text{const.} = R, \quad \text{слѣд.:} \quad vp = RT = \frac{p}{\gamma}. \qquad \text{I.}$$

Газъ или паръ.	Постоянная R въ mkg на kg	Вѣсъ 1 cbm при давленіи 760 mm и $t = 0^0$. γ (kg)	Вѣсъ 1 cbm при $p = 1$ kg на qcm и $t = 0^0$ γ (kg)	Удѣльный вѣсъ относительно воздуха = 1 при 0^0.	Отношеніе теплоемкостей *) $\varkappa = \frac{c_p}{c_v}$ при 0^0.
Сухой атм. возд.	29,27	1,2932**)	1,2515	1,0000	1,41
Воз. средн. влаж.	29,4	1,2874	1,2459	0,9955	1,41
Кислородъ	26,47	1,4298	1,3837	1,1056	1,40
Азотъ	30,13	1,2562	1,2157	0,9714	1,41
Водородъ.	422,59	0,08957	0,08668	0,06927	1,41
Окись углерода.	30,26	1,2509	1,2106	0,9673	1,41
Водяной паръ . .	46,95	0,8062	0,7802	0,6233	1,30
Углекислота. . .	19,20	1,9774	1,9136	1,5291	—
Амміакъ .	52,64	0,7655	0,7408	0,5920	1,30

*) См. III отдѣлъ, теплота.
**) Для сухого воздуха по Ренью $\gamma = 1{,}293\,187$ kg/cbm (при 0^0 и 760 mm ртутнаго столба); имѣемъ точнѣе $R = 29{,}26853$ mkg/kg и $\log R = 1{,}466\,400\,9$.

НТБ ДНУЗТ

Коэффиціентъ расширенія для всѣхъ газовъ и для всѣхъ температуръ почти одинановъ (см. отдѣлъ III, теплота):

$$\alpha = 0{,}003\,665 = \frac{1}{273}. \qquad (a = \frac{1}{\alpha} = 273).$$

2. Приближаясь къ тому предѣлу, когда газъ сгущается въ жидкость, величина α болѣе или менѣе отклоняется отъ вышеприведенной величины, а закопъ Маріотта Гей-Люссака для этого состоянія газа даетъ лишь приблизительныя значенія. R при этомъ величина не вполнѣ постоянная. См. данныя Дюринга, стр. 278.

Цифры таблицы (стр 276), напечатанныя мелкимъ шрифтомъ, представляютъ среднія значенія R для различнаго состоянія газовъ.

При болѣе точныхъ разсчетахъ слѣдуетъ брать для **перегрѣтаго водяного** пара по **Г. Шмидту**, на основаніи опытовъ Гирна, при сохраненіи закона Маріотта Гей-Люссака:

$$a = 263 \quad \text{и} \quad R = 46{,}83.$$

Цейнеръ рекомендуетъ формулы:

для **перегрѣтаго водяного пара.**

$$pv = 50{,}9\ T - 192{,}5\sqrt[4]{p};$$

для **перегрѣтыхъ паровъ амміака:**

$$pv = 52{,}642\ T - 29{,}783\,p^{0{,}3655}.$$

Для газообразной **углекислоты** достаточно точенъ законъ Маріотта Гей-Люссака; болѣе точные результаты даетъ уравненіе Клаузіуса (согласно опытовъ Андрьюса) *):

$$p = \frac{0{,}003\,688\,T}{v - 0{,}000\,843} - \frac{2{,}0935}{T(v + 0{,}000977)^2}.$$

3. Особые случаи.

Подставляя въ основное уравненіе $vp = R\,T$ удѣльное давленіе p постоян., получаемъ **законъ Гей-Люссака:**

$$v = \text{const.}\ T;$$

поэтому: $$\frac{v}{v_1} = \frac{T}{T_1}, \quad \text{или} \quad \frac{v}{v_1} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_1},$$

т. е. при постоянномъ давленіи объемы пропорціональны абсолютнымъ температурамъ.

Для постояннаго T находимъ **законъ Маріотта:**

$$vp = \text{const, или } \frac{v}{v_1} = \frac{p_1}{p},$$

т. е. при одинаковыхъ температурахъ объемы обратно пропорціональны давленіямъ.

По Дюрингу **) объемъ промежутковъ между частицами газа (т. н. промежуточный объемъ) уменьшается съ увеличеніемъ да-

---

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1886, стр. 110.

**) См. E. Dühring, Neue Grundgesetze zur rationellen Physik und Chemie, Leipzig 1887 и 1886. Далѣе Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 227.

НТБ ДНУЗТ

вленія или съ уменьшеніемъ температуры; объемъ частицъ газа, напротивъ того, постояненъ при каждомъ давленіи или температурѣ.

Законъ **Маріотта-Дюринга** имѣетъ поэтому форму:

$$\frac{v - x}{v_1 - x} = \frac{p_1}{p},$$

гдѣ x объемъ частицъ газа, составляющій извѣстную часть общаго объема v_0 газа при 1 атм. Этотъ законъ всего чаще соблюдается при значительныхъ давленіяхъ, когда объемъ частицъ газа составляетъ значительную часть общаго объема всего газа. Для водорода $x \sim {}^1/_{1000}\, v_0$ до ${}^1/_{2000}\, v_0$, для кислорода $x \sim {}^1/_{1300}\, v_0$, для азота $x \sim {}^1/_{940}\, v_0$.

Законъ Гей-Люссака измѣняется, если (по Дюрингу) коэффиціентъ расширенія α относится до промежуточнаго объема такъ, что α сохраняетъ всегда постоянную величину.

4. Свойства постоянной R. Законъ Дальтона.

Постоянныя R для различныхъ газовъ обратно пропорціональны атомнымъ вѣсамъ этихъ газовъ и обратно пропорціональны ихъ плотностямъ:

$$\frac{R}{R_1} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon} = \frac{\gamma_1}{\gamma},$$

гдѣ ϵ и ϵ_1, γ и γ_1 атомные вѣса и плотности соотвѣтственно газамъ R и R_1.

Для постоянной R_m **смѣси газовъ** имѣемъ отношеніе:

$$R_m = \frac{\Sigma(R\,G)}{\Sigma(G)}, \qquad \text{II.}$$

гдѣ G вѣсъ и R постоянная различныхъ газовъ, входящихъ въ составъ смѣси. Уравненіе для смѣси газовъ имѣетъ видъ:

$$pv = \frac{\Sigma(R\,G)}{\Sigma(G)}\,T = R_m\,T.$$

Это уравненіе выражаетъ **законъ Дальтона**, который гласитъ:

Давленіе на единицу площади (удѣльное давленіе), производимое смѣсью нѣсколькихъ газовъ, равно суммѣ удѣльныхъ давленій, которыя производили бы отдѣльные газы, если бы каждый изъ нихъ въ отдѣльности занималъ такой же объемъ, какъ и данная смѣсь газовъ *).

Примѣръ. Требуется опредѣлить постоянную для отработавшихъ газовъ **газовой машины**, которые составляются слѣдующимъ образомъ:

Углекислота 11, водяной паръ 9, кислородъ 6, азотъ 74 вѣсов. части. По табл. на стр. 276 находимъ:

$$R_m = \frac{19{,}20 \,.\, 11 + 46{,}95 \,.\, 9 + 26{,}47 \,.\, 6 + 30{,}13 \,.\, 74}{100} = 30{,}22 \text{ mkg/kg}.$$

Если водяной паръ сгущается, то:

$$R_m = \frac{19{,}20 \,.\, 11 + 26{,}47 \,.\, 6 + 30{,}13 \,.\, 74}{91} = 28{,}57 \text{ mkg/kg}.$$

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 228.

НТБ ДНУЗТ

5. Удѣльный вѣсъ, удѣльный объемъ, плотность воздуха и содержаніе воды въ немъ.

Удѣльный вѣсъ газовъ и паровъ при $t = 0^0$ и давленіи 760 mm ртути. столба см. таблицу на стр. 276 и VIII отдѣлъ, строительные матеріалы.

Если для **газа** или **смѣси газовъ** извѣстны удѣльное давленіе p и температура t, то вѣсъ 1 cbm въ kg опредѣляется:

$$\gamma = \frac{p}{R\,T} = \frac{p}{R\,(273 + t)},$$

если p дано въ kg/qm.

Если давленіе дано въ mm ртутнаго столба $= p'$, то:

$$\gamma = 13{,}596\,\frac{p'}{R\,T} = 13{,}596\,\frac{p'}{R\,(273 + t)}.$$

V cbm **сухого воздуха** при температурѣ t^0 имѣютъ вѣсъ:

$G = 0{,}034\,166\,\frac{p\,V}{273 + t}$ kg. и соотв. $G = 0{,}464\,526\,\frac{p'\,V}{273 + t}$ kg.

Если $p = 10000$ kg на qm $= 1$ нов. атмосферѣ и соотвѣтств. $p' = 760$ mm ртут. столба $= 1$ старой атмосф., то:

$$G = \frac{1{,}251\,516}{1 + \alpha\,t}\,V \quad \text{и соотв.} \quad G = \frac{1{,}293\,187}{1 + \alpha\,t}\,V.$$

Воздухъ сырой, но не вполнѣ насыщенный, принимаютъ за смѣсь воздуха и перегрѣтаго водянаго пара и, поэтому, къ нему примѣняется формула II для газовыхъ смѣсей (стр. 278; примѣръ стр. 282).

При предварительныхъ разсчетахъ для воздуха средней влажности достаточна формула:

$$\gamma = 1{,}3 - 0{,}004\,t \text{ kg/cbm}.$$

Вѣсъ G (въ kg), заключающійся въ V cbm **насыщеннаго** водяными парами воздуха, при температурѣ t^0, давленіи водянаго пара p_1 въ mm ртутнаго столба и давленіи воздуха p' mm ртут. столба, выражается такъ:

$$G = \frac{1{,}2932\,(p' - 0{,}377\,p_1)}{(1 + \alpha\,t)\,760}\,V$$

Слѣд., сырой воздухъ всегда легче сухого.

Количество воды, заключающееся въ 1 cbm или въ 1 kg насыщеннаго парами воздуха при t^0, давленіи воздуха $p' = 760$ mm и давленіи водянаго пара p_1 въ mm ртутнаго столба, соотвѣтственно равняется:

$$w' = \frac{0{,}00106\,p_1}{1 + \alpha\,t}, \text{ или } w'' = \frac{0{,}00106\,p_1}{1{,}2932}.$$

Если 1 cbm воздуха, содержащаго въ насыщенномъ состояніи w kg воды, при температурѣ t^0, имѣетъ только $z^0/_0$ воды, то

НТБ ДНУЗТ

при подогрѣваніи его до температуры t_1^0 (когда 1 cbm воздуха насыщается w_1 kg) процентное содержаніе влажности:

$$z_1 = \frac{z w (1 + \alpha t)}{w_1 (1 + \alpha t_1)}.$$

Если, наоборотъ, при охлажденіи $z_1 > 100$, то воздухъ насыщенъ, и $z_1 - 100$ процентовъ водяного пара конденсируется.

Абсолютной влажностью наз. вѣсовое количество воды, которое содержится въ дѣйствительности въ единицѣ объема воздуха; единицей мѣры служитъ граммъ въ 1 куб. метрѣ. **Относительною влажностью** наз. отношеніе абсолютной влажности къ наибольшей возможной при той же температурѣ. Стократное число, выражающее относительную влажность, называютъ степенью влажности воздуха.

Для пользованія приведенными выше формулами служатъ таблицы I—III, стр. 281 и 282.

Таб. II содержитъ значенія удѣльнаго объема $v = 1 : \gamma$ воздуха средней влажности при различныхъ температурахъ t и высотахъ барометра p'.

Въ табл. III величина β даетъ отношеніе удѣльнаго вѣса воздуха средней влажности при различныхъ t и p' къ удѣльному вѣсу воздуха средней влажности при 0° и 760 mm давленія. Особыя данныя для воздуха средней влажности см. табл. стр. 276.

При приблизительныхъ разсчетахъ для дымовыхъ **газовъ** средняго состава имѣемъ:

$$\gamma = 1{,}25 - 0{,}0027\, t \text{ kg}.$$

Въ виду того, что составъ дымовыхъ газовъ, въ зависимости отъ горючаго матеріала и болѣе или менѣе обильнаго притока воздуха, крайне разнообразенъ, при точныхъ разсчетахъ необходимо производить анализъ этихъ газовъ.

b. Уравненія для насыщенныхъ паровъ.

1. Общія данныя.

Давленіе насыщенныхъ паровъ не зависитъ отъ удѣльнаго объема и есть функція только отъ температуры:

$$p = f(t).$$

Функція эта имѣетъ очень сложную форму. На основаніи опытовъ Реньо составлены многія формулы, изъ которыхъ наиболѣе употребительна формула Біо:

$$\log p = a + b\, \alpha^{t - t_0} + c\, \beta^{t - t_0},$$

гдѣ a, b, c, α, β, t_0 — постоянныя, причемъ t_0 температура, соотвѣтствующая наименьшему давленію въ ряду произведенныхъ опытовъ выбрана произвольно. (Продолженіе на стр. 283).

НТБ ДНУЗТ

Таблица I. Вѣсъ, плотность воздуха и содержаніе въ немъ воды *).

Температура въ град.	Вѣсъ сухого воздуха при давленіи въ 760 mm ртут. ст. въ kg/cbm.	Отношеніе объемовъ сухого воздуха при t^0 и при 0^0.	Отношеніе вѣсовъ сухого воздуха при t^0 и при 0^0.	Содержаніе воды въ 1 cbm насыщеннаго парами воздуха въ kg.	Содержаніе воды въ 1 kg насыщеннаго парами воздуха въ kg.	Давленіе водяного пара въ mm ртутнаго столба
t	γ	$1+\alpha t$	$\frac{1}{1+\alpha t}$	w'	w''	p_1
— 20	1,3955	0,9267	1,0791	0,001060	0,000760	0,927
— 18	1,3845	0,9340	1,0706	0,001267	0,000915	1,116
— 16	1,3738	0,9414	1,0623	0,001473	0,001072	1,308
— 14	1,3631	0,9487	1,0541	0,001731	0,001270	1,549
— 12	1,3527	0,9560	1,0460	0,002028	0,001499	1,831
— 10	1,3424	0,9634	1,0380	0,002303	0,001716	2,093
— 8	1,3323	0,9707	1,0302	0,002680	0,002012	2,455
— 6	1,3223	0,9780	1,0225	0,003117	0,002357	2,876
— 4	1,3124	0,9853	1,0149	0,003623	0,002761	3,368
— 2	1,3027	0,9927	1,0074	0,004209	0,003231	3,941
0	1,2932	1,0000	1,0000	0,004876	0,003770	4,600
+ 2	1,2838	1,0073	0,9927	0,005580	0,004387	5 302
4	1,2748	1,0147	0,9856	0,006370	0,004983	6,097
6	1,2654	1,0220	0,9785	0,007259	0,005737	6,998
8	1,2564	1,0293	0,9715	0,008257	0,006572	8,017
10	1,2475	1,0367	0,9647	0,009372	0,007513	9,165
12	1,2387	1,0440	0,9579	0,010618	0,008572	10,457
14	1,2301	1,0513	0,9512	0,012007	0,009761	11,908
16	1,2216	1,0587	0,9446	0,013554	0,011095	13,536
18	1,2131	1,0660	0,9381	0,015270	0,012588	15,357
20	1,2049	1,0733	0,9317	0,017177	0,014256	17,391
22	1,1967	1,0806	0,9254	0,019286	0,016116	19,659
24	1,1888	1,0880	0,9192	0,021617	0,018184	22,184
25	1,1847	1,0916	0,9161	0,022870	0,019304	23,550
26	1,1807	1,0953	0,9130	0,024168	0,020469	24,988
28	1,1728	1,1026	0,9069	0,027016	0,023036	28,101
30	1,1650	1,1100	0,9009	0,030130	0,025863	31,548
32	1,1574	1,1173	0,8950	0,033548	0,028986	35,359
34	1,1497	1,1246	0,8892	0,037288	0,032433	39,565
36	1,1424	1,1319	0,8834	0,041393	0,036233	44,201
38	1,1352	1,1393	0,8778	0,045878	0,040414	49,302
40	1,1279	1,1466	0,8722	0,050766	0,045010	54,906
42	1,1208	1,1539	0,8667	0,056096	0,050063	61,055
44	1,1136	1,1613	0,8611	0,061881	0,055568	67,790
46	1,1066	1,1686	0,8557	0,068176	0,061609	75,158
48	1,0997	1,1759	0,8504	0,075008	0,068208	83,204
50	1,0929	1,1833	0,8451	0,082404	0,075400	91,980
52	1,0862	1,1906	0,8399	0,090410	0,083235	101,543
54	1,0795	1,1979	0,8348	0,099067	0,091771	111,945
56	1,0730	1,2052	0,8297	0,108399	0,101024	123,244
58	1,0665	1,2126	0,8247	0,118465	0,111070	135,505
60	1,0600	1,2199	0,8197	0,129292	0,120300	148,786
65	1,0444	1,2382	0,8076	0,160048	0,152891	186,938
70	1,0291	1,2566	0,7958	0,196640	0,191081	233,082
75	1,0144	1,2749	0,7844	0,239910	0,236504	288,500
80	1,0000	1,2932	0,7733	0,290723	0,290723	354,616
85	0 9861	1,3115	0,7625	0,350033	0,354967	433,002
90	0,9725	1,3299	0,7520	0,418832	0,430675	525,392
95	0,9593	1,3482	0,7418	0,498317	0,519460	633,692
100	0,9464	1,3665	0,7318	0,589585	0,622975	760,000

*) По Rietschel, Lüftungs- und Heizungs-Anlagen, 2 изд. Berlin, 1894.

НТБ ДНУЗТ

Таблица II. Удѣльный объемъ v воздуха средней влажности.

(Объемъ 1 kg воздуха въ cbm, p' въ mm ртутнаго столба).

p' mm	$t =$									
	-10^0	-5^0	0^0	$+5^0$	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0
800	0,711	0,724	0,738	0,751	0,765	0,778	0,792	0,805	0,819	0,832
790	0,720	0,733	0,747	0,761	0,774	0,788	0,802	0,815	0,829	0,843
780	0,729	0,743	0,757	0,770	0,784	0,798	0,812	0,826	0,840	0,854
770	0,738	0,752	0,766	0,781	0,795	0,809	0,823	0,837	0,851	0,865
760	0,748	0,762	0,777	0,791	0,805	0,819	0,833	0,848	0,862	0,876
750	0,758	0,773	0,787	0,801	0,816	0,830	0,845	0,859	0,873	0,888
740	0,768	0,783	0,798	0,812	0,827	0,841	0,856	0,871	0,885	0,900
730	0,779	0,794	0,808	0,823	0,838	0,853	0,868	0,883	0,897	0,912
720	0,790	0,805	0,820	0,835	0,850	0,865	0,880	0,895	0,910	0,925
710	0,801	0,816	0,831	0,847	0,862	0,877	0,892	0,907	0,923	0,938
700	0,812	0,826	0,843	0,859	0,874	0,889	0,905	0,920	0,936	0,951
690	0,824	0,840	0,855	0,871	0,887	0,902	0,918	0,934	0,949	0,965
680	0,836	0,852	0,868	0,884	0,900	0,916	0,932	0,947	0,963	0,979
670	0,849	0,865	0,881	0,897	0,913	0,929	0,945	0,962	0,978	0,994
660	0,861	0,878	0,894	0,911	0,927	0,943	0,960	0,976	0,993	1,009
650	0,875	0,891	0,908	0,925	0,941	0,958	0,975	0,991	1,008	1,024
640	0,888	0,905	0,922	0,939	0,956	0,973	0,990	1,007	1,024	1,040

Таблица III. Значенія отношенія β для воздуха средней влажности.

(Ср. стр. 280).

p' mm	$t =$									
	-10^0	-5^0	0^0	$+5^0$	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0
800	1,093	1,072	1,053	1,034	1,015	0,998	0,981	0,964	0,949	0,933
790	1,079	1,059	1,039	1,021	1,003	0,985	0,969	0,952	0,937	0,921
780	1,065	1,045	1,026	1,008	0,990	0,973	0,956	0,940	0,925	0,910
770	1,052	1,032	1,013	0,995	0,977	0,960	0,944	0,928	0,913	0,898
760	1,038	1,019	1,000	0,982	0,965	0,948	0,932	0,916	0,901	0,886
750	1,024	1,005	0,987	0,969	0,952	0,935	0,920	0,904	0,889	0,875
740	1,011	0,992	0,974	0,956	0,939	0,923	0,907	0,892	0,877	0,863
730	0,997	0,978	0,961	0,943	0,927	0,911	0,895	0,880	0,865	0,851
720	0,983	0,965	0,947	0,930	0,914	0,898	0,883	0,868	0,854	0,840
710	0,970	0,952	0,934	0,917	0,901	0,886	0,870	0,856	0,842	0,828
700	0,956	0,938	0,921	0,905	0,889	0,873	0,858	0,844	0,830	0,816
690	0,942	0,925	0,908	0,892	0,876	0,861	0,846	0,832	0,818	0,805
680	0,929	0,911	0,895	0,879	0,863	0,848	0,834	0,820	0,806	0,793
670	0,915	0,898	0,882	0,866	0,850	0,836	0,821	0,808	0,794	0,781
660	0,901	0,885	0,868	0,853	0,838	0,823	0,809	0,796	0,782	0,770
650	0,888	0,872	0,855	0,840	0,825	0,811	0,797	0,784	0,771	0,758
640	0,874	0,858	0,842	0,827	0,812	0,798	0,785	0,771	0,759	0,746

Примѣръ: Сколько вѣситъ 1 cbm сырого воздуха, съ содержаніемъ воды 4%, при температурѣ 50^0 и стояніи барометра 750 mm.? По формулѣ II (стр. 278) и табл. стр. 276 имѣемъ

$$R_m = \frac{4 \,.\, 46{,}95 + 96 \,.\, 29{,}27}{100} = 29{,}98 \text{ mkg/kg},$$

слѣд.:

$$\gamma = 13{,}596 \frac{750}{29{,}98\ (273 + 50)} = 1{,}053 \text{ kg}.$$

НТБ ДНУЗТ

Обыкновенно пользуются таблицами, составленными на основаніи приведенной или ей подобныхъ формулъ (см. таблицы стр. 286 до 288, составленныя на основаніи приведенной формулы).

Пусть, кромѣ приведенныхъ на стр. 276 значеній для p, v, γ, t, T, означаютъ:

A тепловой эквивалентъ единицы работы $= \frac{1}{428}$ единицы теплоты для 1 mkg (см. мех. теор. теплоты),

q **теплоту жидкости**, т.-е. количество теплоты, которое необходимо для нагрѣванія одного kg отъ 0^0 до t^0 безъ измѣненія частичнаго строенія самой жидкости (въ виду сравнительно малаго расширенія жидкости можно препебречь внѣшней работой, почему давленіе извнѣ здѣсь значенія не имѣетъ),

c **удѣльную теплоемкость** жидкости,

r **теплоту испаренія** или скрытую теплоту, т. е. количество теплоты, которое необходимо для превращенія 1 kg жидкости при температурѣ t^0 въ паръ той же температуры t^0 при постоянномъ наружнемъ давленіи,

λ **общее количество теплоты,** т. е. сумму теплоты жидкости и теплоты испаренія; предполагаемъ, что жидкость при 0^0 подвергается давленію, соотвѣтствующему t^0; при этомъ давленіи нагрѣвается до температуры t^0 и, наконецъ, превращается въ паръ температурой t^0, въ един. теплоты на 1 kg.

ϱ **внутреннюю теплоту испаренія**, т. е. ту часть теплоты испаренія (r), которая расходуется на увеличеніе внутренней теплоты,

J **теплоту пара**, т. е. разность количествъ теплоты (въ един. тепл.), заключающихся въ 1 kg пара температуры t^0 и въ 1 kg жидкости при температурѣ 0^0,

w объемъ 1 kg жидкости въ cbm,

u разность $v - w$ въ cbm/kg.

Для **насыщенкаго пара** каждая изъ величинъ γ (или v), p и t можетъ быть выражена черезъ остальныя.

Количество теплоты, которое необходимо для преодолѣнія работы постояннаго наружняго давленія p при испареніи одного kg жидкости, равно Apu; въ противоположность величинѣ ϱ, величину Apu называютъ **внѣшней теплотой испаренія.**

Имѣемъ:

$$\lambda = q + \varrho + Apu; \quad 1)$$

$$r = \varrho + Apu; \quad 2)$$

$$J = q + \varrho. \quad 3)$$

Формулы эти выражаются слѣдующей схемой:

$$\overbrace{\underbrace{q}_{J} \quad \underbrace{\varrho \qquad Apu}_{r}}^{\lambda}.$$

НТБ ДНУЗТ

Для опредѣленія Apu служитъ **уравненіе Клапейрона:**

$$Apu = \frac{pr}{T\frac{dp}{dt}}; \qquad 4)$$

величина u опредѣляется отсюда умноженіемъ на $\frac{428}{p}$.

Теплота жидкости будетъ:

$$q = \int_0^t c.dt. \qquad 5)$$

Таблица давленій для насыщенныхъ паровъ въ mm ртут. столба (по Реньо).

Температура въ градусахъ. t	Углекислота.	Амміакъ.	Сѣрнистая кислота.	Эфиръ.	Алкоголь.
— 30	11138,62	876,28	288,04		
— 20	15142,44	1397,64	479,56	68,89	3,34
— 10	20340,20	2149,28	762,28	114,69	6,47
0	26906,60	3197,32	1165,08	184,39	12,70
+ 10	34998,65	4612,44	1719,88	286,83	24,23
20	44716,58	6466,84	2461,73	432,78	44,60
30	56119,05	8832,72	3431,40	634,80	78,52
40	.	11748,84	4670,20	907,04	133,69
60	.	.	.	1725,01	350,21
80				3022,79	812,91
100				4953,30	1697,55
120				7719,20	3231,73

2. Примѣненіе къ насыщенному водяному пару.

Удѣльная теплоемкость воды, по Реньо, равна:

$$c = 1 + 0{,}000\,04\,t + 0{,}000\,000\,9\,t^2, \quad *)$$

слѣд., теплота жидкости:

$$q = \int_0^t c\,.\,dt = t + 0{,}000\,02\,t^2 + 0{,}000\,000\,3\,t^3.$$

Общее количество теплоты водяного пара равно, по Реньо:

$$\lambda = 606{,}5 + 0{,}305\,t.$$

Внутренняя теплота испаренія будетъ:

$$\varrho = \lambda - q - Apu.$$

Такъ какъ w можно принимать, независимо отъ температуры, постояннымъ и $= 0{,}001$, то будемъ имѣть:

$$v = u + 0{,}001$$

$$\gamma = \frac{1}{u + 0{,}001}.$$

*) При техническихъ разсчетахъ часто принимаютъ $c = \text{const.} = 1{,}0224$.

НТБ ДНУЗТ

Эти уравненія, вмѣстѣ съ приведенными въ 1. (стр. 280) общими уравненіями, достаточны для вычисленія величинъ данныхъ въ таблицахъ стр. 286 и слѣд.

Въ виду того, что пользованіе уравненіемъ Клапейрона для опредѣленія величинъ Apu, вслѣдствіе сложности вида функціи $p = f(t)$, ведетъ къ сложнымъ вычисленіямъ, Цейнеромъ составлена слѣдующая эмпирическая приближенная формула:

$$\varrho = 575{,}40 - 0{,}791\, t;$$

слѣд. $$Apu = \lambda - q - \varrho = 31{,}10 + 1{,}096\, t - q;$$

$$\gamma = 0{,}5877\, p^{\,0{,}9393},$$

гдѣ p_1 давленіе въ kg/qcm (нов. атм.).

C. Измѣненіе состоянія газовъ, паровъ и смѣсей.

a. Общіе законы.

1. Пусть, кромѣ обозначеній на стр. 276:

G количество теплоты, которое прибавляется къ данному газу или пару при измѣненіи его состоянія (въ един. теп. на kg),

L внѣшняя работа, производимая газомъ или паромъ при этомъ измѣненіи его состоянія, въ mkg на kg,

U внутренняя работа, находящаяся въ 1 kg газа, пара или смѣси жидкости и пара, въ mkg,

$AU = {}^1/_{428}\, U$, количество теплоты, соотвѣтствующее этой работѣ (см. мех. теорію теплоты), въ един. теплоты на kg,

x количество пара, заключающееся въ 1 kg смѣси пара и жидкости, въ kg,

c_v удѣльная теплоемкость газа при постоянномъ объемѣ (см. стр. 318).

c_p удѣльная теплоемкость газа при постоянномъ давленіи (см. стр. 318),

$n = c_p : c_v$ (см. табл. на стр. 276 и 318).

2. Если мѣняется одна, или болѣе, изъ трехъ величинъ: давленіе, объемъ или температура, то происходящій отъ этого процессъ наз. **измѣненіемъ состоянія**. При смѣсяхъ насыщеннаго пара и жидкости прибавляется еще четвертая перемѣнная—удѣльное содержаніе пара. Измѣненію объема соотвѣтствуетъ работа, равная:

$$L = \int p \,.\, dv.$$

Для опредѣленія работы при измѣненіи состоянія необходимо, слѣдовательно, знать видъ функціи $p = F(v)$; видъ этой функціи зависитъ отъ того закона, по которому происходитъ прибавленіе или убавленіе теплоты.

НТБ ДНУЗТ

Таблица для насыщеннаго водяного пара *).

Давленіе въ: Метрич. атмосферахъ, kg/qcm. p	Давленіе въ: mm ртутнаго столба. p_1	Температура въградусахъ. t	Теплота жидкости въ един. теплоты. q	Внутренняя теплота испаренія, въ единиц. теплоты. ϱ	Внѣшняя теплота испаренія, въ един. теплоты. $Ap\,u$	Разность удѣльныхъ объемовъ пара и воды въ cbm/kg. $u = v - v$	Значенія величины $= r\varrho$	Вѣсъ cbm пара въ kg. $\gamma = \frac{1}{v}$
0,10	73,6	45,58	45,649	539,634	35,119	15,0309	35,90	0,0665
0,20	147,1	59,76	59,890	528,347	36,488	7,8084	67,66	0,1281
0,30	220,7	68,74	68,934	521,175	37,357	5,3296	97,79	0,1876
0,40	294,2	75,47	75,710	515,808	37,999	4,0659	126,86	0,2459
0,50	367,8	80,90	81,189	511,476	38,509	3,2964	155,17	0,3033
0,60	441,3	85,48	85,818	507,826	38,929	2,7769	182,88	0,3600
0,70	514,9	89,47	89,844	504,659	39,285	2,4020	210,09	0,4161
0,80	588,4	93,00	93,427	501,847	39,592	2,1182	236,93	0,4719
0,90	662,0	96,19	96,639	499,337	39,861	1,8956	263,41	0,5273
1,00	735,5	99,09	99,576	497,048	40,098	1,7162	289,62	0,5823
1,10	809,1	101,76	102,281	494,899	40,356	1,5702	315,18	0,6365
1,20	882,6	104,24	104,792	492,934	40,566	1,4469	340,69	0,6907
1,30	956,2	106,55	107,138	491,098	40,761	1,3420	365,95	0,7446
1,40	1029,7	108,72	109,339	489,378	40,942	1,2517	390,98	0,7983
1,50	1103,3	110,76	111,416	487,756	41,111	1,1730	415,80	0,8518
1,60	1176,8	112,70	113,382	486,221	41,270	1,1040	440,43	0,9050
1,70	1250,4	114,54	115,252	484,762	41,420	1,0428	464,86	0,9580
1,80	1323,9	116,29	117,032	483,375	41,561	0,9882	489,12	1,0109
1,90	1397,5	117,97	118,837	481,955	41,688	0,9391	513,23	1,0637
2,00	1471,0	119,57	120,369	480,776	41,824	0,8950	537,16	1,1161
2,10	1544,6	121,11	121,935	479,557	41,946	0,8549	560,95	1,1684
2,20	1618,1	122,59	123,443	478,385	42,062	0,8183	584,61	1,2206
2,30	1691,7	124,02	124,897	477,254	42,174	0,7848	608,12	1,2726
2,40	1765,2	125,39	126,301	476,163	42,281	0,7540	631,51	1,3245
2,50	1838,8	126 73	127,658	475,109	42,384	0,7256	654,76	1,3763
2,60	1912,3	128,02	128,972	474,090	42,483	0,6993	677,90	1,4280
2,70	1985,9	129,26	130,246	473,101	42,579	0,6750	700,94	1,4793
2,80	2059,4	130,48	131,483	472,141	42,671	0,6523	723,86	1,5307
2,90	2133,0	131,65	132,684	471,210	42,760	0,6311	746,68	1,5820
3,00	2206,5	132,80	133,853	470,304	42,846	0,6113	769,40	1,6332
3,10	2280,1	133,91	134,992	469,422	42,929	0,5927	792,00	1,6843
3,20	2353,6	135,00	136,102	468,563	43,010	0,5753	814,53	1,7352
3,30	2427,2	136,06	137,183	467,726	43,088	0,5588	836,96	1,7864
3,40	2500,7	137,09	138,239	466,908	43,165	0,5434	859,30	1,8369
3,50	2574,3	138,10	139,271	466,111	43,236	0,5287	881,53	1,8879
3,60	2647,8	139,08	140,279	465,331	43,311	0,5149	903,70	1,9384
3,70	2721,4	140,05	141,265	464,569	43,381	0,5018	925,79	1,9889
3,80	2794,9	140,90	142,230	463,824	43,449	0,4894	947,79	2,0392
3,90	2868,5	141,92	143,175	463,093	43,516	0,4776	969,72	2,0894
4,00	2942,0	142,82	144,102	462,377	43,581	0,4663	991,55	2,1400
4,10	3015,6	143,71	145,010	461,677	43,644	0,4556	1013,3	2,1901
4,20	3089,1	144,58	145,901	460,989	43,706	0,4454	1035,0	2,2401
4,30	3162,7	145,43	146,775	460,315	43,766	0,4356	1056,7	2,2904
4,40	3236,2	146,27	147,663	459,653	43,825	0,4263	1078,2	2,3403
4,50	3309,8	147,09	148,475	459,004	43,883	0,4174	1099,8	2,3901
4,60	3383,3	147,90	149,303	458,365	43,940	0,4088	1121,2	2,4402
4,70	3456,9	148,69	150,117	457,738	43,995	0,4006	1142,6	2,4900
4,80	3530,4	149,47	150,918	457,121	44,049	0,3928	1163,9	2,5394
4,90	3604,0	150,24	151,705	456,514	44,103	0,3852	1185,0	2,5893

*) По **Флигнеру**. См. Civilingenieur 1874.

Графы для u, $\frac{\rho}{u}$ и γ пересчитаны для механическаго эквивалента теплоты $\frac{1}{A} = 428$

НТБ ДНУЗТ

(Расположена по давленіямъ).

Давленіе въ: Метрич. атмосферахъ, kg/qcm. p	Давленіе въ: mm ртутнаго столба. p_1	Температура въ градусахъ. t	Теплота жидкости, въ един. теплоты. q	Внутренняя теплота испаренія въ единиц. теплоты. ϱ	Внѣшняя теплота испаренія, въ един. теплоты. Apu	Разн. удѣльн. объемовъ пара и воды въ cbm/kg. $u = v - \varepsilon$	Значенія величины. $\frac{\varrho}{u}$	Вѣсъ cbm пара въ kg. $\gamma = \frac{1}{v}$
5,00	3677,6	150,99	152,480	455,917	44,155	0,3780	1206,2	2,6412
5,10	3751,1	151,73	153,242	455,331	44,206	0,3710	1227,3	2,6882
5,20	3824,7	152,47	153,993	454,753	44,256	0,3643	1248,4	2,7375
5,30	3898,2	153,19	154,733	454,183	44,305	0,3578	1269,4	2,7871
5,40	3971,8	153,90	155,462	453,623	44,353	0,3515	1290,4	2,8369
5,50	4045,3	154,59	156,180	453,071	44,400	0,3455	1311,3	2,8860
5,60	4118,9	155,28	156,888	452,526	44,447	0,3397	1332,1	2,9351
5,70	4192,4	155,96	157,586	451,989	44,493	0,3341	1352,9	2,9842
5,80	4266,0	156,63	158,274	451,460	44,538	0,3287	1373,6	3,0331
5,90	4339,5	157,29	158,954	450,938	44,582	0,3234	1394,4	3,0826
6,00	4413,1	157,94	159,625	450,423	44,625	0,3183	1415,0	3,1319
6,10	4486,6	158,59	160,287	449,914	44,668	0,3134	1435,5	3,1807
6,20	4560,2	159,22	160,940	449,413	44,710	0,3086	1456,1	3,2300
6,30	4633,7	159,85	161,585	448,918	44,751	0,3040	1476,6	3,2787
6,40	4707,3	160,47	162,222	448,428	44,792	0,2995	1497,1	3,3278
6,50	4780,9	161,08	162,852	447,945	44,832	0,2952	1517,4	3,3761
6,60	4854,4	161,68	163,474	447,468	44,871	0,2910	1537,8	3,4247
6,70	4927,9	162,28	164,088	446,997	44,910	0,2869	1558,1	3,4734
6,80	5001,5	162,87	164,696	446,530	44,949	0,2829	1578,4	3,5224
6,90	5075,0	163,45	165,296	446,070	44,987	0,2790	1598,5	3,5714
7,00	5148,6	164,03	165,890	445,615	45,024	0,2753	1618,7	3,6193
7,25	5332,4	165,44	167,347	444,498	45,115	0,2663	1668,9	3,7411
7,50	5516,3	166,82	168,764	443,413	45,202	0,2580	1718,9	3,8610
7,75	5700,2	168,15	170,146	442,354	45,287	0,2501	1768,6	3,9825
8,00	5884,1	169,46	171,493	441,323	45,369	0,2427	1818,3	4,1034
8,25	6068,0	170,73	172,808	440,316	45,449	0,2358	1867,5	4,2230
8,50	6251,8	171,98	174,093	439,334	45,526	0,2292	1916,6	4,3440
8,75	6435,7	173,19	175,349	438,373	45,601	0,2231	1965,4	4,4623
9,00	6619,6	174,38	176,578	437,434	45,674	0,2172	2013,9	4,5830
9,25	6803,5	175,54	177,780	436,515	45,745	0,2117	2062,3	4,7015
9,50	6987,4	176,68	178,958	435,616	45,813	0,2064	2110,5	4,8216
9,75	7171,2	177,79	180,111	434,735	45,881	0,2014	2158,5	4,9407
10,00	7355,1	178,89	181,243	433,871	45,946	0,1966	2206,4	5,0607
10,25	7539,0	179,96	182,353	433,024	46,010	0,1921	2254,0	5,1787
10,50	7722,9	181,01	183,442	432,193	46,072	0,1878	2301,3	5,2966
10,75	7906,7	182,04	184,513	431,376	46,133	0,1837	2348,6	5,4142
11,00	8090,6	183,05	185,563	430,576	46,192	0,1797	2395,7	5,5340
11,25	8274,5	184,05	186,597	429,788	46,250	0,1760	2442,6	5,6497
11,50	8458,4	185,03	187,612	429,015	46,306	0,1723	2489,4	5,7703
11,75	8642,2	185,99	188,611	428,255	46,361	0,1689	2535,9	5,8858
12,00	8826,1	186,94	189,594	427,506	46,415	0,1655	2582,4	6,0060
12,25	9010,0	187,87	190,561	426,770	46,468	0,1624	2628,6	6,1200
12,50	9193,9	188,78	191,513	426,046	46,520	0,1593	2674,8	6,2383
12,75	9377,8	189,68	192,452	425,331	46,571	0,1563	2720,6	6,3573
13,00	9561,6	190,57	193,376	424,629	46,620	0,1535	2766,5	6,4725
13,50	9929,4	192,31	195,184	423,254	46,717	0,1481	2857,6	6,7069
14,00	10297,1	194,00	196,944	421,916	46,810	0,1431	2948,3	6,9396
14,50	10664,9	195,64	198,656	420,615	46,900	0,1384	3038,5	7,1737
15,00	11032,7	197,24	200,324	419,349	46,986	0,1341	3128,0	7,4019

mkg на 1 един. теплоты (тогда какъ въ вышеприведенномъ источникѣ принято $\frac{1}{A} =$ 436 mkg).

НТБ ДНУЗТ

Таблица для насыщеннаго водянаго пара *). (Расположена по температурамъ).

Температура въ градусахъ.	Давленіе въ mm ртутнаго столба.	Общее количество теплоты, въ един. теплоты.	Теплота жидкости въ един. теплоты.	Скрытая теплота въ единиц. теплоты.	Внутренняя теплота испаренія, въ единиц. теплоты.	Внѣшняя теплота испаренія, въ един. теплоты.	Разница удѣльныхъ объемовъ пара и воды въ cbm на 1 kg.	Вѣсъ 1 cbm пара въ kg.
t	p_0	λ	q	$r=\lambda-q$	ϱ	Apu	$u=v-w$	$\gamma=\frac{1}{v}$
— 20	0,927	600,400	— 19,994	620,394	590,824	29,570	1004,17	0,000996
— 15	1,400	601,925	— 14,996	616,921	586,994	29,927	672,88	0,001486
— 10	2,093	603,450	— 9,998	613,448	583,152	30,296	455,68	0,002195
— 5	3,113	604,975	— 4,999	609,974	579,297	30,677	310,23	0,003223
0	4,600	606,500	0,000	606,500	575,429	31,071	212,67	0,004702
+ 5	6,534	608,025	+ 5,000	603,025	571,550	31,475	151,66	0,006594
10	9,165	609,550	10,002	599,548	567,656	31,892	109,54	0,009129
15	12,699	611,075	15,005	596,070	563,752	32,318	80,103	0,01248
20	17,391	612,600	20,010	592,590	559,845	32,755	59,281	0,01687
25	23,550	614,125	25,017	589,108	555,907	33,201	44,382	0,02253
30	31,548	615,650	30,026	585,624	551,968	33,656	35,583	0,02978
35	41,827	617,175	35,037	582,138	548,019	34,119	25,678	0,03894
40	54,906	618,700	40,051	578,649	544,061	34,588	19,831	0,05042
45	71,390	620,225	45,068	575,157	540,093	35,064	15,460	0,06468
50	91,980	621,750	50,087	571,663	536,119	35,544	12,164	0,08220
55	117,475	623,275	55,110	568,165	532,138	36,027	9,6524	0,10359
60	148,786	624,800	60,137	564,663	528,151	36,512	7,7260	0,12942
65	186,938	626,325	65,167	561,158	524,162	36,996	6,2299	0,16049
70	233,082	627,850	70,201	557,649	520,171	37,478	5,0617	0,19752
75	288,500	629,375	75,239	554,136	516,181	37,955	4,1415	0,24140
80	354,616	630,900	80,282	550,618	512,193	38,425	3,4111	0,29308
85	433,002	632,425	85,329	547,096	508,211	38,885	2,8270	0,35360
90	525,392	633,950	90,381	543,569	504,237	39,332	2,3566	0,42416
95	633,692	635,475	95,438	540,037	500,275	39,762	1,9753	0,50600
100	760,000	637,000	100,500	536,500	496,295	40,205	1,6654	0,60011
105	906,410	638,525	105,568	532,957	492,326	40,631	1,4111	0,70816
110	1075,370	640,050	110,641	529,409	488,361	41,048	1,2016	0,83153
115	1269,410	641,575	115,721	525,854	484,397	41,457	1,0281	0,97173
120	1491,280	643,100	120,806	522,294	480,436	41,858	0,8836	1,1304
125	1743,880	644,625	125,898	518,727	476,477	42,250	0,7627	1,3094
130	2030,280	646,150	130,997	515,153	472,519	42,634	0,6611	1,5104
135	2353,730	647,675	136,103	511,572	468,562	43,010	0,5753	1,7353
140	2717,630	649,200	141,215	507,985	464,608	43,377	0,5024	1,9865
145	3125,550	650,725	146,334	504,391	460,656	43,735	0,4402	2,2654
150	3581,230	652,250	151,462	500,788	456,702	44,086	0,3875	2,5739
155	4088,560	653,775	156,598	497,177	452,749	44,428	0,3420	2,9155
160	4651,620	655,300	161,741	493,559	448,798	44,761	0,3029	3,2902
165	5274,540	656,825	166,892	489,933	444,847	45,086	0,2690	3,7036
170	5961,660	658,350	172,052	486,298	440,895	45,403	0,2397	4,1546
175	6717,430	659,875	177,220	482,655	436,944	45,711	0,2142	4,6468
180	7546,390	661,400	182,398	479,002	432,990	46,012	0,1919	5,1843
185	8453,230	662,925	187,584	475,341	429,037	46,304	0,1724	5,7667
190	9442,700	664,450	192,780	471,670	425,081	46,589	0,1553	6,4000
195	10519,630	665,975	197,985	467,990	421,126	46,864	0,1402	7,0817
200	11688,960	667,500	203,200	464,300	417,167	47,133	0,1269	7,8193

*) По **Цейнеру**, Technische Thermodynamik, 3 изд. Графы v и γ пересчитаны по механическому эквиваленту теплоты $1 : A = 428$ mkg на 1 един. теплоты (тогда какъ въ приводимомъ источникѣ принято $1 : A = 424$ mkg на един. тепл.).

НТБ ДНУЗТ

Для большинства случаевъ измѣненія состоянія газовъ, паровъ и смѣсей паровъ и жидкостей, функція эта съ достаточною точностью имѣетъ форму:

$$pv^m = p_0 v_0^m = \text{const.},$$

гдѣ m—постоянная, зависящая отъ способа прибавленія теплоты, а p_0 и v_0 — значенія величинъ p и v для начальнаго состоянія. Кривая, которую выражаетъ это уравненіе въ прямоугольныхъ координатахъ, наз. **политропическою кривою.**

3. Наиважнѣйшія измѣненія состоянія:

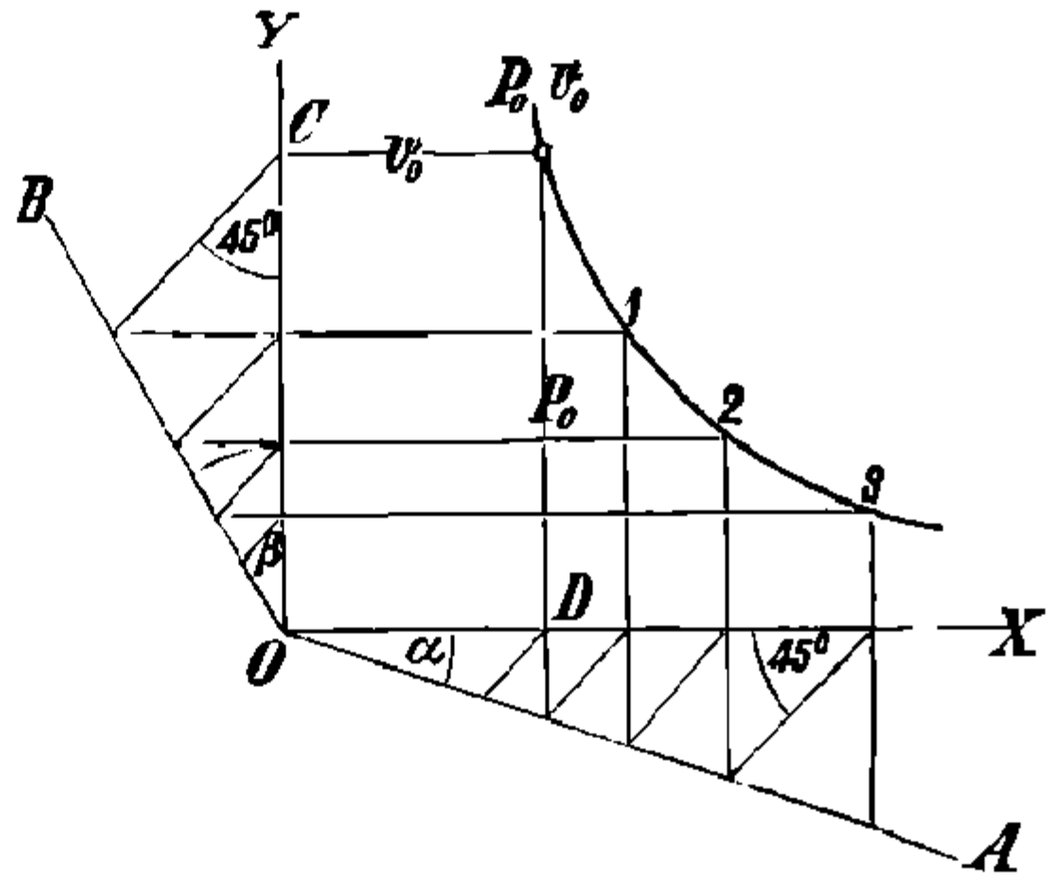
1. Давленіе постоянно.
2. Объемъ постояненъ.
3. Температура постоянна (изотермическая кривая).
4. Безъ прибавленія и безъ убавленія теплоты (адіабатическая кривая).
5. Внутренняя теплота остается постоянною (изодинамическая кривая).
6. Количество прибавляемой или убавляемой теплоты пропорціонально измѣненію температуры,

т. е. $\frac{dQ}{dT} = \text{const.}$

4. Построеніе политропической кривой *) (черт. 197). Проводимъ OA подъ произвольнымъ угломъ α къ оси x-овъ; опредѣляемъ уголъ $YOB = \beta$ изъ уравненія:

$$(1 + \operatorname{tg}\beta) = (1 + \operatorname{tg}\alpha)^n;$$

Черт. 197.



изъ точекъ C и D, соотвѣтствующихъ ординатѣ и абсциссѣ p_0 и v_0 для начальнаго состоянія, проводимъ поперемѣнно нормали и наклонныя подъ угломъ 45° къ координатнымъ осямъ, какъ указано на черт. 197; тогда точки 1, 2, 3 находятся на искомой кривой.

5. Изслѣдованіе кривой расширенія.

(Опредѣленіе постоянной m).

Пусть v_1 и v_2 абсолютные объемы для двухъ состояній, а p_1 и p_2 удѣльныя давленія; тогда:

$$m = \frac{\log p_1 - \log p_2}{\log v_2 - \log v_1}.$$

При опредѣленіи m для нѣсколькихъ точекъ можно выяснить, будетъ-ли она величиной постоянной и въ какихъ предѣлахъ и

*) По Брауеру. См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1885, стр. 433

НТБ ДНУЗТ

въ какой мѣрѣ можно принимать измѣненіе состоянія по политропической кривой. При $m = 1$ получаемъ **равнобокую гиперболу** (кривая Маріотта), см. стр. 106.

Работа, соотвѣтствующая политропической кривой, равна:

$$L = \frac{p_1 v_1}{m-1}\left[1 - \left(\frac{v_1}{v}\right)^{m-1}\right] = \frac{p_1 v_1}{m-1}\left[1 - \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{m-1}{m}}\right].$$

b. Измѣненіе состоянія газовъ и перегрѣтыхъ паровъ.

1. Общія данныя.

$$A = \frac{c_p - c_v}{R}, \quad \text{слѣд. } R = \frac{c_p - c_v}{A}.$$

Здѣсь $A = {}^1/_{428}$ ед. тепла и R постоянная по Маріотту Гей-Люссаку (см. стр. 276).

Теплота, которая должна быть прибавлена или убавлена, находится изъ:

$$dQ = \frac{1}{R}(c_v v.dp + c_p p.dv) =$$

$$= c_v.dT + Ap.dv = c_v.dT + A.dL;$$

$$Q = c_v(t_2 - t_1) + A\int_{v_1}^{v_2} p.dv = c_v(t_2 - t_1) + AL.$$

Изъ $dU = \frac{c_v}{A}dT$ находимъ для приращенія внутренней работы:

$$U_2 - U_1 = \frac{c_v}{A}(t_2 - t_1) = \frac{c_v}{AR}(p_2 v_2 - p_1 v_1).$$

2. Особые случаи.

1. **Измѣненіе состоянія газа при постоянномъ объемѣ v_1.**

$$m = \infty \begin{cases} Q = c_v(t_2 - t_1) = \frac{c_v v_1}{R}(p_2 - p_1); \\ L = O; \qquad U_2 - U_1 = \frac{Q}{A}. \end{cases}$$

2. **Измѣненіе состоянія газа при постоянномъ давленіи p_1.**

$$m = 0. \begin{cases} Q = c_p(t_2 - t_1) = \frac{c_p p_1}{R}(v_2 - v_1); \\ L = p_1(v_2 - v_1) = R(t_2 - t_1); \\ U_2 - U_1 = \frac{c_v}{A}(t_2 - t_1). \end{cases}$$

НТБ ДНУЗТ

3. **Измѣненіе состоянія газа при постоянной абсолютной температурѣ** T_1 (изотермическая кривая).

$$m = 1. \begin{cases} pv = p_0 v_0; \\ Q = ART_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = ART_1 \ln \frac{v_2}{v_1}; \\ L = RT_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}. \end{cases}$$

$$U_2 - U_1 = 0.$$

4. **Измѣненіе состоянія газа въ томъ случаѣ, когда теплота не прибавляется и не убавляется** (адіабатическая кривая).

$$m = n. \begin{cases} \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n; \qquad p_2 v_2^n = p_1 v_1^n; \\ \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \end{cases}$$

Послѣднія уравненія наз. уравненіями **Пуассона.**

$$Q = 0; \qquad L = \frac{c_v}{A}(t_1 - t_2),$$

или:

$$L = \frac{p_1 v_1}{n-1}\left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}\right] = \frac{p_1 v_1}{n-1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right];$$

$$U_2 - U_1 = -L.$$

Значенія величины n см. табл. стр. 276 и 318. Построеніе кривой $p_2 v_2^n =$ постоян. см. стр. 289.

Для построенія кривой, равно какъ и для вычисленія температуръ для **атмосфернаго воздуха,** можетъ служить слѣдующая таблица.

$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{v_1}{v_2}$	$\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{v_1}{v_2}$	$\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{v_1}{v_2}$	$\frac{T_2}{T_1}$
1,1	1,070	1,028	1,9	1,577	1,205	5,5	3,350	1,642
1,2	1,138	1,054	2,0	1,635	1,223	6,0	3,564	1,684
1,3	1,205	1,079	2,5	1,915	1,305	6,5	3,772	1,723
1,4	1,270	1,103	3,0	2,180	1,376	7,0	3,975	1,761
1,5	1,333	1,125	3,5	2,431	1,440	7,5	4,174	1,797
1,6	1,395	1,147	4,0	2,673	1,497	8,0	4,370	1,831
1,7	1,457	1,167	4,5	2,906	1,549	9,0	4,751	1,894
1,8	1,518	1,186	5,0	3,131	1,597	10,0	5,119	1,953

Уравненія эти для **перегрѣтыхъ паровъ** имѣютъ мѣсто, при подстановкѣ соотвѣтствующихъ величинъ изъ табл. стр. 276, только приблизительно. Болѣе точныя уравненія см. стр. 277.

НТБ ДНУЗТ

c. Измѣненіе состоянія смѣсей пара и жидкости.

Обозначенія см. стр. 283.

Пусть въ замкнутомъ объемѣ находится 1 kg смѣси пара и жидкости, пусть вѣсъ пара въ смѣси будетъ x, тогда вѣсъ жидкости будетъ $(1 - x)$. При любомъ, безконечно маломъ, измѣненіи состоянія смѣси, **измѣненіе внутренней теплоты** въ смѣси будетъ:

$$A.dU = dq + d(x\varrho);$$

теплота, которая должна быть прибавлена извнѣ:

$$dQ = dq + T.d\left(\frac{xr}{T}\right);$$

теплота, превращенная во внѣшнюю работу:

$$A.dL = T.d\left(\frac{xr}{T}\right) - d(x\varrho).$$

Послѣднія два уравненія примѣняются только тогда, когда смѣсь при измѣненіи ея состоянія находится подъ наружнымъ давленіемъ, всегда равнымъ ея упругости.

1. **Измѣненіе состоянія смѣси, при которомъ отношеніе количества жидкости и пара остается неизмѣннымъ.**

$$A.dU = dq + x.d\varrho;$$

$$dQ = dq + x\,T.d\left(\frac{r}{T}\right).$$

$$A.dL = x\left[T\ \ d\left(\frac{r}{T}\right) - d\varrho\right].$$

Для $x = 1$ имѣемъ: $dQ = \left(c_v + \frac{dr}{dT} - \frac{r}{T}\right)dT.$

Выраженіе въ скобкахъ наз. **функціей Клаузіуса.**

Для водяного пара выраженіе это, при встрѣчающихся въ техникѣ температурахъ, отрицательно. Вслѣдствіе этого, для достиженія расширенія насыщеннаго пара безъ конденсаціи необходимо прибавлять теплоту, а для избѣжанія перегрѣва пара при его сжатіи необходимо отнимать теплоту.

2. **Измѣненіе состоянія смѣси, при которомъ теплота не прибавляется и не убавляется** (адіабатическая кривая).

Если перемѣнныя величины для первоначальнаго состоянія обозначимъ указателемъ 1, а для конечнаго состоянія—указателемъ 2, то:

$$x_2 = \left(\frac{x_1 r_1}{T_1} - \tau_2 + \tau_1\right)\frac{T_2}{r_2};$$

НТБ ДНУЗТ

если c удѣльная теплоемкость жидкости (см. стр. 317), то:

$$\tau_1 = \int_0^{T_1} \frac{c.dT}{T} = \int_0^{T_1} \frac{dq}{T}; \qquad \tau_2 = \int_0^{T_2} \frac{c.dT}{T} = \int_0^{T_2} \frac{dq}{T},$$

или, приблизительно, для водяного пара:

$$\tau_2 - \tau_1 = 1{,}0224 \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

Количество пара, сгущающееся при расширеніи:

$$x_1 - x_2 = \frac{T_2}{r_2}\left[x_1\left(\frac{r_2}{T_2} - \frac{r_1}{T_1}\right) + \tau_2 - \tau_1 \right].$$

Затѣмъ:

$$L = U_1 - U_2; \qquad AL = q_1 - q_2 + x_1 \varrho_1 - x_2 \varrho_2.$$

3. **Температура смѣси измѣняется отъ t_1^0 до t_2^0 безъ измѣненія объема смѣси.**

Первоначальный вѣсъ пара x_1 переходитъ при этомъ въ:

$$x_2 = \frac{x_1 u_1}{u_2},$$

и **количество теплоты, которое должно быть прибавлено**, будетъ:

$$Q = c(t_2 - t_1) + x_1 u_1 \left(\frac{\varrho_2}{u_2} - \frac{\varrho_1}{u_1}\right).$$

} Значенія u_1, u_2, ϱ_1 и ϱ_2 см. стр. 283. c см. выше, 2.

Температура t', при которой вся жидкость превращается въ паръ, находится (для воды при помощи табл. стр. 286—288) изъ уравненія:

$$u' = x_1 u_1.$$

Время Z (въ сек.), въ которое давленіе p_1 извѣстнаго постояннаго объема смѣси вѣсомъ G (въ kg) можетъ быть увеличено до p_2, опредѣляется изъ:

$$Z = \frac{G\,Q}{Q'},$$

гдѣ Q' означаетъ количество теплоты въ калоріяхъ, прибавляемое къ смѣси въ одну секунду.

4. **Температура смѣси остается постоянной** (изотермическая кривая).

$p =$ постоян., т.-е. изотермическая кривая для насыщенныхъ сырыхъ паровъ есть прямая, параллельная оси абсциссъ:

$$Q = r_1(x_2 - x_1) \quad \text{и} \quad L = pu(x_2 - x_1).$$

d. Примѣненіе къ водяному пару и паровой машинѣ.

Въ вышеприведенныхъ уравненіяхъ, примѣняемыхъ для разсчета водяного пара, должны быть подставлены величины изъ табл. 286 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Случай 1., при $x = 1$ (стр. 292), соотвѣтствуетъ старой теоріи паровыхъ машинъ Памбура (паръ въ началѣ сухой остается сухимъ также и во время расширенія); какъ указано выше, въ этомъ случаѣ должна быть прибавляема теплота.

Уравненіе кривой давленія будетъ: $p\,v^{1,0646} =$ постоян.
Построеніе кривой $p\,v^m =$ постоян. см. стр. 289.

Измѣненію по адіабатической кривой соотвѣтствуетъ, по Цейперу, достаточно точно

$$p\,v^{m_1} = \text{постоян.} \qquad \text{для } m_1 = 1{,}035 + 0{,}1\,x,$$

гдѣ x соотвѣтствуетъ начальному состоянію.

Поэтому: $$L = \frac{p_1\,v_1}{m_1 - 1}\left[\,1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{m_1 - 1}\right],$$

или, обозначая степень расширенія $\frac{v_2}{v_1}$ черезъ $\frac{1}{\varepsilon}$:

$$L = \frac{p_1\,v_1}{m_1 - 1}\left(1 - \varepsilon^{\,m_1 - 1}\right).$$

Предположеніе расширенія по адіабатической кривой (см. стр. 292), вслѣдствіе вліянія стѣнокъ цилиндра, не можетъ считаться вполнѣ правильнымъ.

Въ большей части случаевъ для кривой расширенія принимаютъ $m_1 = 1$, т.-е. равнобокую гиперболу. Для кривой сжатія, напротивъ того, часто принимаютъ, вмѣсто гиперболы, адіабатическую кривую.

D. Истеченіе газовъ и паровъ изъ сосудовъ.

a. Истеченіе газовъ изъ сосудовъ.

Обозначенія:

p_0 удѣльное давленіе (абсолютное) газа въ большомъ сосудѣ, куда постоянно притекаетъ количество газа, равное вытекающему, въ kg/qm,

p постоянное удѣльное давленіе среды, въ которую происходитъ истеченіе газа, въ kg/qm,

t_0 температура газа въ сосудѣ въ градусахъ,

v_0 удѣльный объемъ въ cbm на 1 kg при давленіи p_0 и температурѣ t_0, $\qquad (v_0 = 1 : \gamma_0)$ *),

n отношеніе теплоемкости при постоянномъ давленіи къ теплоемкости при постоянномъ объемѣ ($n = c_p : c_v$, см. табл. стр. 276).

F сѣченіе отверстія истеченія въ qm,

---

*) Въ главахъ D (стр. 294 и слѣд.) и E (стр. 299 и слѣд.) скорость газа или пара въ видѣ исключенія, обозначена буквою u, а для удѣльнаго объема сохранено обозначеніе v.

НТБ ДНУЗТ

α коэффиціентъ сжатія.
φ коэффиціентъ скорости,
μ коэффиціентъ расхода,
} См. стр. 243, см. табл. стр. 296.
g ускореніе силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec.^{2},
R постоянная закона Маріотта Гей-Люссака (см. стр. 276) въ mkg/kg.

1. Скорость вытекающаго газа по Грасгофу *):

$$u = \varphi \sqrt{2g \frac{n}{n-1} p_0 v_0 \left[1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]},$$

причемъ для атмосфернаго воздуха:

$$\sqrt{2g p_0 v_0} = 23{,}96 \sqrt{273 + t_0}.$$

Таблицу для $\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{n-1}{n}}$ см. стр. 291. Для $\frac{u^2}{2g}$ см. табл. стр. 146.

Температура t вытекающаго газа:

$$t = t_0 - \frac{u^2}{2gR} \frac{n-1}{n};$$

для $\varphi = 1$ имѣемъ: $t = (273 + t_0)\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 273.$

Удѣльный объемъ v вытекающаго газа опредѣляется изъ:

$$v = \frac{R(273+t)}{p}.$$

Количество вытекающаго газа Q_0 въ cbm въ сек., измѣренное при давленіи p_0 и температурѣ t_0, составляетъ:

$$Q_0 = \mu F \sqrt{2g \frac{n}{n-1} p_0 v_0 \left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{2}{n}} - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right]},$$

для атмосфернаго воздуха (при $n = 1{,}41$):

$$Q_0 = 44{,}4 \mu F \sqrt{273 + t_0} \sqrt{\left(\frac{p}{p_0}\right)^{1{,}41844} - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{1{,}70922}}$$

Послѣдняя формула (для воздуха) примѣняется только для

$$p \gtrless 0{,}527\, p_0.$$

2. По Цейнеру, подобно тому, какъ и для насыщеннаго пара (см. **b.**, стр. 297), надо принимать:

$$Q_0 = \alpha F \sqrt{2g \frac{n}{n-1} p_0 v_0 \left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{2}{m}} - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{m+1}{m}}\right]},$$

для всѣхъ значеній $\frac{p}{p_0}$. Значеніе для воздуха $= 1{,}41$, тогда

*) См. выноску на стр. 294.

НТБ ДНУЗТ

какъ показатель истеченія $m = \frac{n(1+\zeta)}{1+n\zeta}$, гдѣ ζ нѣкот. коэффиціентъ сопротивленія (см. стр. 243 и слѣд.).

3. Если разность давленія мала сравнительно съ давленіемъ среды, въ которую происходитъ истеченіе, то имѣемъ приблизительно:

$$\frac{u^2}{2g} = \varphi^2 \frac{1}{\gamma_0}(p_0 - p),$$

или, подставляя значеніе $\gamma_0 = \frac{p_0}{R(273+t_0)}$ (по стр. 279):

$$u = \varphi \sqrt{2gR(273+t_0)\left(1 - \frac{p}{p_0}\right)}$$

Для воздуха средней влажности имѣемъ поэтому:

$$u = 24\,\varphi \sqrt{(273+t_0)\left(1 - \frac{p}{p_0}\right)},$$

или, если дано давленіе h въ mm водяного столба (сверхъ атмосфернаго) и истеченіе происходитъ въ атмосферу при среднемъ стояніи барометра:

$$u = 0{,}24\,\varphi \sqrt{(273+t_0)h}.$$

Затѣмъ: $$Q_0 = \alpha F u.$$

Эти формулы для практическихъ примѣненій до $1 - \frac{p}{p_0} = 0{,}1$ вполнѣ достаточны (ошибка при этомъ будетъ меньше 2%).

Для $p = 0{,}5\,p_0$ до p_0 имѣемъ по Вейсбаху и Грасгофу *):

Отверстіе.	μ	α	φ	ζ	m	Примѣчанія.
При круговомъ отверстіи, діаметромъ 14 mm, въ тонкой и плоской стѣнкѣ.	0,64	0,65	0,981	0,04	1,388	—
При короткой цилиндрической насадкѣ, діам. 14 mm, безъ внутрен. закругленія.	0,815 0,813 0,831	1 1 1	0,821 0,838 0,866	0,490 0,444 0,362	1,243 1,252 1,271	при $p_0 : p = 1{,}08$ „ $p_0 : p = 1{,}41$ „ $p_0 : p = 1{,}70$
При короткихъ коническихъ наконечникахъ, діаметромъ 10 mm.	0,97		0,974	0,034	1,392	—

По Фонъ-Гауеру, для **коническихъ сопелъ**: $\mu = 0{,}86$, а для **цилиндрическихъ насадокъ** бессемеровыхъ воздуходувокъ $\mu = 0{,}78$.

*) См. Грасгофъ, Theoretische Maschinenlehre, томъ I, стр. 580 до 592.

НТБ ДНУЗТ

b. Истеченіе насыщеннаго водяного пара изъ сосудовъ *).

1. Предполагаемъ сосудъ настолько большимъ, что скорость пара внутри его можетъ быть принята равной нулю. Пусть:

p_0 абсолютное (удѣльное) давленіе внутри сосуда, въ kg/qm,

v_0 соотвѣтствующій объемъ 1 kg пара въ cbm (т. е. удѣльный объемъ пара, см. стр. 284 и слѣд.),

p удѣльное давленіе среды, внѣ сосуда, въ kg/qm,

F площадь отверстія истеченія въ qm,

α коэффиціентъ сжатія,

ζ коэффиціентъ сопротивленія отверстія (наконечника),

u скорость истеченія въ m/sec.,

G вѣсъ вытекающаго пара въ kg/sec.,

$Q_0 = Gv_0$ вытекающій объемъ въ cbm въ секунду (измѣренный при давленіи p_0),

g ускореніе силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec^2.

Предположимъ **паръ** внутри сосуда **влажнымъ** и количество воды, заключающееся въ 1 kg такого пара, равнымъ $(1-x)$ въ kg. Пусть:

$$m_1 = 1{,}035 + 0{,}1\,x; \qquad m = \frac{m_1(1+\zeta)}{1+m_1\zeta}$$ (показатель истеченія).

Если истекающій паръ не перегрѣтъ (что при $x = 1$, а при $x < 1$ и подавно, до тѣхъ поръ не имѣетъ мѣста, пока $\zeta < 0{,}96$), то:

для $v \geqq p_0\left(\frac{2}{m+1}\right)^{\frac{m}{m-1}}$:

$$\begin{cases} \frac{u^2}{2g} = \frac{m_1}{m_1-1}\,p_0\,v_0\left[1-\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{m-1}{m}}\right]; \text{ **)} \\ G = \frac{Q_0}{v_0} = \alpha F\sqrt{2g\frac{m_1}{m_1-1}\frac{p_0}{v_0}\left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{2}{m}}-\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{m+1}{m}}\right]}; \end{cases}$$

для $p < p_0\left(\frac{2}{m+1}\right)^{\frac{m}{m-1}}$

$$\begin{cases} \frac{u^2}{2g} = \frac{1}{1+\zeta}\,\frac{m}{m+1}\,p_0\,v_0; \text{ **)} \\ G = \frac{Q_0}{v_0} = \alpha F\sqrt{\frac{g\,m}{1+\zeta}\left(\frac{2}{m+1}\right)^{\frac{m+1}{m-1}}\frac{p_0}{v_0}} \end{cases}$$

---

*) См. Grashof, Theoretische Maschinenlehre, т. I, §§ 111–113.

**) Для вычисленія u по $\frac{u^2}{2g}$ см. табл. стр. 147.

НТБ ДНУЗТ

Для **сухого водяного пара** $x = 1$, $m_1 = 1{,}135$; слѣд.:

для $\zeta =$	0	0,05	0,1	0,25	0,5
$m =$	1,135	1,128	1,121	1,105	1,086
$\frac{p_0}{p} = \left(\frac{m+1}{2}\right)^{\frac{m}{m-1}} =$	1,7319	1,7274	1,7232	1,7138	1,7021

Въ этомъ случаѣ можно принять: $G = \alpha C F p_0^{0,97}$,

гдѣ, въ случаѣ, если p_0 **выражено въ атмосферахъ**, имѣемъ для:

$\zeta =$	0	0,05	0,1	0,25	0,5
$C =$	152,6	148,6	144,9	135,2	122,6

Значенія величины $p_0^{0,97}$

$p_0 =$	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
$p_0^{0,97} =$	1,48	1,96	2,43	2,90	3,37	3,83	4,30	4,76	5,22	5,68	6,14
$p_0 =$	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
$p_0^{0,97} =$	6,60	7,05	7,51	7,96	8,42	8,87	9,32	9,77	10,22	10,67	11,12

По недостатку спеціальныхъ опытовъ, для величинъ α и ζ въ вышеприведенныхъ формулахъ необходимо брать аналогичныя имъ значенія для воды (α берется нѣсколько больше, а ζ нѣсколько меньше, чѣмъ для воды; см. стр. 246 и слѣд.). Приблизительно можно принимать по Навье:

$$G = \nu F \sqrt{\frac{(p_0 - p)\,p}{v_0 p_0}} \qquad \text{для } p_0 < 2p;$$

$$G = 0{,}5\,\nu F \sqrt{\frac{p_0}{v_0}} \qquad \text{для } p_0 > 2p,$$

гдѣ коэффиціентъ ν опредѣленъ опытами и принимается, если p_0 и p выражено въ атмосферахъ:

для кругового отверстія въ тонкой стѣнкѣ $\nu = 382$;
для короткой цилиндрической насадки съ закругленіемъ внутри $\nu = 420$.

2. Для **предохранительнаго клапана** парового котла, при діаметрѣ трубы клапана d (въ m) и высотѣ его подъема h (въ m), имѣемъ количество вытекающаго пара въ kg въ сек., по Клостеру:

$$G = 595{,}2\,\frac{h}{d}\,\frac{\pi d^2}{4}\,p_0^{0,97}$$

(Значенія $p_0^{0,97}$ см. таблицу выше).

Площадь F отверстія предохранительнаго клапана (за вычетомъ площади сѣдалища), который долженъ:

НТБ ДНУЗТ

1) при давленіи p_0 атм. начать пропускать паръ,
2) выпускать наружу извѣстное количество пара G kg въ 1 секунду, послѣ того, какъ упругость пара въ котлѣ возросла до p_1 атмосферъ,

опредѣляется по:

$$F = \frac{56\,G}{\left(1 - \sqrt{\frac{p_0}{p_1}}\right) p_1^{\,0,97}} \text{ въ qcm.}$$

Необходимая **нагрузка на клапанъ** K (со включеніемъ собственнаго вѣса клапана), если a горизонт. проекція площади сѣдалища (послѣдняя площадь должна быть взята возможно малою) въ qcm, опредѣляется по:

$$K = (F + 0{,}6\,a)\,(p_0 - 1) \text{ въ kg.}$$

Если требуется, чтобы предохранительный клапанъ при наибольшей, допускаемой въ котлѣ, упругости пара p_1, отводилъ наружу **все количество** пара G, производимое котломъ при полномъ горѣніи въ топкѣ, то:

$$F = \frac{531\,G}{p_1^{\,0,97}} \text{ въ qcm,}$$

въ предположеніи, что

$$p_0 = 0{,}8\,p_1.$$

Такъ какъ G, кромѣ степени напряженія котла, зависитъ еще отъ величины поверхности нагрѣва H, то на практикѣ принимаютъ сѣченіе предохранительнаго клапана на 1 qm поверхности нагрѣва котла:

$$\frac{F}{H} = f = \varphi\,(p_1).$$

(См. седьмой отдѣлъ, арматура паровыхъ котловъ).

E. Движеніе газовъ и паровъ по трубопроводамъ *).

a. Основныя уравненія.

Пусть означаютъ:

F сѣченіе въ какомъ-либо мѣстѣ неподвижной трубы въ qm,
dl элементъ длины трубопровода сѣченіемъ F,
u скорость, съ которою проходятъ черезъ сѣченіе F всѣ частицы газа или пара, въ m/sec.,
ψ уголъ между u и вертикалью,
G постоянный вѣсъ газовъ, протекающихъ въ секунду черезъ сѣченіе F, въ kg,
p удѣльное (абсолютное) давленіе въ сѣченіи F въ kg/qm,
v удѣльный объемъ одного kg въ cbm,
$\frac{1}{A}$ механическій эквивалентъ теплоты $= 428$ mkg на единицу теплоты,

*) Относительно потери давленія **въ трубопроводахъ свѣтильнаго газа** см. II ч., XVII отдѣлъ, производство свѣтильнаго газа.

НТБ ДНУЗТ

R постоянная закона Маріотта Гей-Люссака (см. стр. 276),
g ускореніе отъ силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec^2.,
dT измѣненіе температуры на длинѣ dl трубопровода,
dQ количество теплоты, прибавляемое къ газу на длинѣ dl трубопровода,
dB механическая работа внутреннихъ и внѣшнихъ сопротивленій, преодолѣваемыхъ на длинѣ dl трубопровода.

Основныя уравненія для равномѣрнаго движенія газа или пара *):

1) Уравненіе неразрывности: $F u = G v$.

2) Уравненіе общей работы:

$$\frac{u.du}{g} + \frac{R.dT}{n-1} = \cos\psi.dl - d(pv) + \frac{dQ}{A} \quad \left(n \text{ см. стр. } 276\right).$$

3) Уравненіе теплоты:

$$\frac{dQ}{A} + dB = \frac{R.dT}{n-1} + p.dv.$$

4) Уравненіе внѣшней работы:

$$\frac{u.du}{g} = \cos\psi.dl - v.dp - dB.$$

$\frac{R.dT}{n-1}$ представляетъ измѣненіе внутренней работы,

$p.dv$ работа при расширеніи.

b. Движеніе воздуха по трубопроводамъ. Потеря давленія.

1. На основаніи обстоятельныхъ опытовъ **А. Ридлера и М. Гутермута** надъ **трубопроводомъ для сжатаго воздуха въ Парижѣ** **), потери давленія z между началомъ и концомъ трубы въ kg/qcm:

$$z = \frac{533}{10^{10}}\gamma\frac{l}{d}u^2 = \frac{864}{10^{10}}\gamma l\frac{Q^2}{d^5},$$

гдѣ:

γ средній вѣсъ 1 cbm воздуха въ трубопроводѣ въ kg,
l длина трубопровода въ m, d діаметръ трубопровода въ свѣту въ m,
u средняя скорость воздуха въ m въ сек.,
Q объемъ воздуха, измѣренный при среднемъ давленіи и средней температурѣ въ трубопроводѣ, въ cbm/sec.
γ см. стр. 279 и слѣд., величина γ должна соотвѣтствовать p_m и T (см. ниже).

Опыты производились при $u = 6{,}5$ m въ сек., $d = 0{,}300$ m, при длинѣ трубопровода до $l = 16500$ m. Въ среднемъ получилась потеря давленія въ 0,05 kg/qcm для 1000 m длины трубопровода, при скорости воздуха 6,5 m въ секунду. Сюда вошли также всѣ потери черезъ водоотдѣлительные сифоны и запорныя задвижки.

Принимая во вниманіе имѣющіеся четыре большихъ водоотдѣлительныхъ резервуара (изъ которыхъ каждый вызываетъ потерю давленія 0,07 до 0,17 атм. при $u = 5{,}58$ до $8{,}70$ m), общая потеря давленія на каждые 1000 m длины трубопровода будетъ 0,07 kg/qcm.

---

*) См. Грасгофъ. Theoretische Maschinenlehre, томъ I, стр. 60.
**) Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 188.

НТБ ДНУЗТ

Соотношеніе между удѣльнымъ давленіемъ, объемомъ и температурой см. стр. 279.

2. По опытамъ **Штокальпера** въ **Сенъ-готтардскомъ туннелѣ** *), результаты которыхъ, благодаря малочисленности опытовъ, не точны **), потеря давленія z (въ атм.) въ длинныхъ чугунныхъ трубопроводахъ діам. въ свѣту 0,15 до 0,20 m, при вышеприведенныхъ обозначеніяхъ выражается:

$$z = \frac{785}{10^{11}}\,\gamma\,\frac{l}{d}\left(5+\frac{1}{d}\right)u^2 = \frac{1273}{10^{11}}\,\gamma\,l\left(5+\frac{1}{d}\right)\frac{Q^2}{d^5}\ \text{въ kg/qcm.}$$

3. По опытамъ **Лоренца** ***) для воздухопроводовъ:

$$\frac{z}{p_m} = \frac{0{,}52}{D^{1{,}30933}}\,\frac{T_0}{T}\,L\,u^2 = \frac{1676}{10^8}\,\frac{l\,u^2}{T d^{1{,}30933}},$$

гдѣ:

u средняя скорость воздуха въ трубопроводѣ въ m/sec.,
p_1 абсолютное давленіе воздуха въ началѣ трубы, въ kg/qcm,
p_2 абсолютное давленіе воздуха въ концѣ трубы, въ kg/qcm,
$p_m = {}^1/_2(p_1 + p_2)$ абсолютное среднее давленіе,
$z = p_1 - p_2$ потеря давленія на протяженіи трубы,
$T = 273 + t$ абсолютная теми. въ градусахъ, $T_0 = 273$ град.
L длина воздухопровода въ km,
D діаметръ трубы въ свѣту въ mm,
l и d длина и діаметръ трубы въ m.

c. Движеніе водяного пара по трубопроводамъ.

Разсчетъ длинныхъ паропроводовъ ****).

Для опредѣленія наивыгоднѣйшаго діаметра паропровода необходимо знать потерю давленія пара, происходящую отъ сопротивленій въ паропроводѣ, а также потерю давленія, происходящую отъ наружняго охлажденія. Съ уменьшеніемъ діаметра паропровода первая потеря увеличивается, вторая — уменьшается.

1. Сопротивленія движенію въ паропроводѣ.

Обозначимъ черезъ:
γ вѣсъ 1 cbm пара въ kg при среднемъ (абсолютн.) давленіи въ паропроводѣ $= p$ kg/qcm (см. таблицу Флигпера, стр. 286 и 287),
d діаметръ въ свѣту и l длину паропровода въ m,
u среднюю скорость движенія пара въ паропроводѣ, въ m/sec.,

---

*) См. Dinglers Polytechn. Journal, сентябрь 1880.
**) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, стр. 1529.
***) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, стр. 627 и 836.
****) По Гютермуту, Z. d. V. d. I. 1887, стр. 670 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

G_s **среднее вѣсовое количество** пара въ kg, проходящее черезъ паропроводъ **въ 1 часъ**, такъ что

$$G_s = 3600\, u\, \gamma\, \frac{\pi d^2}{4}, \text{ или } \frac{G_s}{u} = 2827{,}43\, \gamma\, d^2.$$

1. По изслѣдованіямъ, произведеннымъ въ шахтныхъ паропроводахъ, потеря давленія:

$$z = \frac{15}{10^8}\, \gamma\, \frac{l}{d}\, u^2 = \frac{187{,}63}{10^{16}}\, \frac{l}{\gamma}\, \frac{G_s^2}{d^5} \text{ въ kg/qcm.}$$

Введя вспомогательный множитель $\varphi = 0{,}15\, \frac{\gamma}{d}$, получимъ:

$$z = \varphi\, \frac{l}{100} \left(\frac{u}{100}\right)^2.$$

Для опредѣленія z, $G_s : u$ и φ служатъ таблицы стр. 303 и 304.

Если, какъ бываетъ это обыкновенно, даны G_s и p, а d и z должны быть опредѣлены, то, выбравъ скорость u, опредѣлимъ $G_s : u$ и подыскавъ для даннаго p въ таблицѣ (стр. 303) величину, наиболѣе приближающуюся къ опредѣленному $G_s : u$, найдемъ въ таблицѣ соотвѣтственное значеніе для d. Изъ таблицъ для φ (стр. 304) получается тогда соотвѣтствующая p и d величина φ. Величина z получится по вышеприведенной формулѣ. Соотвѣтственно слѣдуетъ такъ же поступать, если даны какія-либо двѣ другія величины.

2. При потерѣ давленія, большей 2 атм., и при скоростяхъ пара, превышающихъ 20 m въ сек., вышеупомянутыи формулы годны только для приблизительныхъ разсчетовъ. Болѣе точно потерю давленія z (въ kg/qcm) получимъ, по Фишеру *), изъ:

$$z = p_1 - p_2,$$

$$p_2 = \sqrt{(0{,}12 + p_1)^2 - \frac{K\, l}{10^{10} \cdot 4000\, d^5}} - 0{,}12, \text{ при } p_1 < 3{,}6 \text{ kg/qcm,}$$

$$p_2 = \sqrt{(0{,}3 + p_1)^2 - \frac{K\, l}{10^{10} \cdot 3766\, d^5}} - 0{,}3, \text{ при } p_1 > 3{,}6 \text{ kg/qcm,}$$

гдѣ: $K = 3\, G_s^2 + (3\, G_s + \pi d l k)\, \pi d l k.$

p_1 абсолютное начальное давленіе пара въ kg/qcm,
p_2 абсолютное конечное давленіе пара въ kg/qcm,
d діаметръ паропровода въ свѣту въ m,
l длина паропровода въ m,
G_s количество пара, вытекающее въ часъ изъ паропровода, въ kg,
k количество воды, конденсирующейся въ часъ на 1 qm внутренней поверхности трубы, въ kg (см. табл. стр. 305),

(Продолженіе см. стр. 305).

*) См. Dinglers Polytechn. Journal, томъ 236, стр. 356.

НТБ ДНУЗТ

Значенія $G_3 : u$.

p въ атм. (абсол.)	γ kg/cbm	d въ m.									
		0,010	0,013	0,019	0,025	0,032	0,038	0,045	0,051	0,063	0,069 m
1,0	0,5823	0,16464	0,27824	0,59436	1,0290	1,6859	2,3774	3,3339	4,2823	6,5347	7,8386
1,2	0,6907	0,19529	0,33004	0,70500	1,2206	1,9998	2,8200	3,9546	5,0795	7,7512	9,2978
1,5	0,8518	0,24084	0,40701	0,86944	1,5052	2,4662	3,4777	4,8769	6,2642	9,5591	11,466
2,0	1,1161	0,31557	0,53330	1,1392	1,9723	3,2314	4,5568	6,3902	8,2079	12,525	15,024
2,5	1,3763	0,38914	0,65763	1,4048	1,4321	3,9848	5,6191	7,8799	10,121	15,445	18,527
3,0	1,6332	0,46178	0,78039	1,6670	2,8861	4,7286	6,6680	9,3508	12,011	18,328	21,985
3,5	1,8879	0,53379	0,90209	1,9270	3,3362	5,4660	7,7078	10,809	13,884	21,187	25,414
4,0	2,1400	0,60507	1,0226	2,1843	3,7817	6,1959	8,7371	12,252	15,738	24,016	28,808
4,5	2,3901	0,67579	1,1421	2,4396	4,2236	6,9201	9,7582	13,684	17,577	26,822	32,174
5,0	2,6412	0,74678	1,2620	2,6959	4,6673	7,6471	10,783	15,122	19,424	29,640	35,554
5,5	2,8860	0,81600	1,3790	2,9458	5,0999	8,3558	11,783	16,524	21,224	32,388	38,850
6,0	3,1319	0,88553	1,4965	3,1968	5,5345	9,0678	12,787	17,932	23,032	35,147	42,160
7,0	3,6193	1,0233	1,7294	3,6942	6,3956	10,479	14,777	20,723	26,617	40,616	48,721
8,0	4,1034	1,1602	1,9608	4,1884	7,2512	11,881	16,753	23,494	30,177	46,049	55,238
9,0	4,5830	1,2958	2,1899	4,6779	8,0988	13,260	18,712	26.240	33,704	51,431	61,694

p въ атм. (абсол.)	γ kg/cbm	d въ m.									
		0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300 m
1,0	0,5823	9,2610	16,464	25,725	37,044	50,421	65,856	83,349	102,90	124,51	148,18
1,2	0,6907	10,985	19,529	30,514	43,940	59,808	78,116	99,150	122,06	147,69	175,76
1,5	0,8518	13,547	24,084	37,631	54,189	73,757	96,336	121,93	150,52	162,13	216,76
2,0	1,1161	17,751	31,557	49,308	71,003	96,643	126,23	159,76	197,23	238,65	284,01
2,5	1,3763	21,889	38,914	60,803	87,557	119,17	155,66	197,00	243,21	294,29	350,23
3,0	1,6332	25,975	46,178	72,153	103,90	141,42	184,71	233,78	288,61	349,22	415,60
3,5	1,8879	30,026	53,379	83,405	120,10	163,47	213,52	270,23	333,62	403,68	480,41
4,0	2,1400	34,035	60,507	94,542	136,14	185,30	242,03	306,32	378,17	457,59	544,56
4,5	2,3901	38,013	67,579	105,59	152,05	206,96	270,31	342,12	422,36	511,06	608,21
5,0	2,6412	42,006	74,678	116,69	168,03	228,70	298,71	378,06	466,73	564,76	672,10
5,5	2,8860	45,900	81,600	127,50	183,60	249,90	326,40	413,10	509,99	617,10	669,68
6,0	3,1319	49,811	88,553	138,36	199,24	271,19	354,21	448,30	553,45	734,40	796,97
7,0	3,6193	57,563	102,33	159,89	230,25	313,40	409,33	518,07	639,56	773,90	921,00
8,0	4,1034	65,262	116,02	181,28	261,05	353,31	464,08	587,36	725,12	877,41	1044,2
9,0	4,5830	72,889	129,58	202,47	291,58	396,84	518,32	656,00	809,88	979,96	1166,2

НТБ ДНУЗТ

Значенія $\varphi = 0{,}15\,\frac{\gamma}{d}$.

p въ атм. (абсол.)	γ kg/cbm	d въ m.									
		0,010	0,013	0,019	0,025	0,032	0,038	0,045	0,051	0,063	0,069 m
1,0	0,5823	8,735	6,719	4,597	3,494	2,730	2,299	1,941	1,713	1,386	1,266
1,2	0,6907	10,36	7,970	5,453	4,144	3,238	2,726	2,302	2,032	1,645	1,502
1,5	0,8518	12,78	9,829	6,725	5,111	3,993	3,362	2,839	2,505	2,028	1,852
2,0	1,1161	16,74	12,88	8,811	6,697	5,232	4,406	3,720	3,283	2,657	2,426
2,5	1,3763	20,64	15,88	10,87	8,258	6,451	5,433	4,588	4,048	3,277	2,992
3,0	1,6332	24,50	18,84	12,89	9,799	7,656	6,447	5,444	4,804	3,889	3,550
3,5	1,8879	28,32	21,78	14,90	11,33	8,850	7,452	6,293	5,553	4,495	4,104
4,0	2,1400	32,10	24,69	16,89	12,84	10,03	8,447	7,133	6,294	5,095	4,652
4,5	2,3901	35,85	27,58	18,87	14,34	11,20	9,435	7,967	7,030	5,691	5,196
5,0	2,6412	39,62	30,48	20,85	15,85	12,38	10,43	8,804	7,768	6,289	5,742
5,5	2,8860	43,29	33,30	22,78	17,32	13,53	11,39	9,620	8,488	6,871	6,274
6,0	3,1319	46,98	36,14	24,73	18,79	14,68	12,36	10,44	9,212	7,457	6,809
7,0	3,6193	54,29	41,76	28,57	21,72	16,97	14,29	12,06	10,65	8,617	7,868
8,0	4,1034	61,55	47,35	32,40	24,62	19,23	16,20	13,68	12,07	9,770	8,920
9,0	4,5830	68,75	52,88	36,18	27,50	21,48	18,09	15,28	13,48	10,91	9,963

p въ атм. (абсол.)	γ kg/cbm	d въ m.									
		0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300 m
1,0	0,5823	1,165	0,873	0,699	0,582	0,499	0,437	0,388	0,349	0,344	0,291
1,2	0,6907	1,381	1,036	0,829	0,691	0,592	0,518	0,460	0,414	0,408	0,345
1,5	0,8518	1,704	1,278	1,022	0,852	0,730	0,639	0,568	0,511	0,503	0,426
2,0	1,1161	2,232	1,674	1,339	1,116	0,957	0,837	0,744	0,670	0,660	0,558
2,5	1,3763	2,753	2,064	1,652	1,376	1,180	1,032	0,918	0,826	0,813	0,688
3,0	1,6332	3,266	2,450	1,960	1,633	1,400	1,225	1,089	0,980	0,891	0,817
3,5	1,8879	3,776	2,832	2,265	1,888	1,618	1,416	1,259	1,133	1,030	0,944
4,0	2,1400	4,280	3,210	2,568	2,140	1,834	1,605	1,427	1,284	1,167	1,070
4,5	2,3901	4,780	3,585	2,868	2,390	2,049	1,793	1,593	1,434	1,304	1,195
5,0	2,6412	5,282	3,962	3,169	2,641	2,264	1,981	1,761	1,585	1,441	1,320
5,5	2,8860	5,772	4,329	3,463	2,886	2,474	2,165	1,924	1,732	1,574	1,443
6,0	3,1319	6,264	4,698	3,758	3,132	2,684	2,349	2,088	1,879	1,708	1,566
7,0	3,6193	7,239	5,429	4,343	3,619	3,102	2,714	2,413	2,172	2,139	1,809
8,0	4,1034	8,207	6,155	4,924	4,103	3,517	3,078	2,736	2,462	2,425	2,052
9,0	4,5830	9,166	6,875	5,500	4,583	3,928	3,437	3,055	2,750	2,708	2,292

НТБ ДНУЗТ

πdlk—количество конденсаціонной воды въ kg, образующейся въ часъ во всемъ паропроводѣ.

Количество воды k, сгущающееся въ часъ на 1 qm внутренней поверхности паропровода (въ kg).

Изслѣдуемый паропроводъ.	Изолирующій матеріалъ.	Абсолют. давленіе пара въ атм.	k		Примѣчанія.
			Фланцы не обмотаны.	Фланцы обмотаны.	
Чугунный, длиною $l = 323$ m; внутренній діам. $d = 0{,}140$ m.	Изоляціонная масса Grünzweig & Hartmann'a, толщина 20 mm + 10 mm войлока и жел. обшивка.	3.0	1,03		Шахтные паропроводы.
		4,0	1,09		
		5,0	1,21		
		6,0	1,33		
Тоже, $l = 365$ m; внутренній діаметръ $d = 0{,}294$ m.	40 mm пробковыхъ полуцилинд. + 8 mm азбесту	5,2	0,732		
Желѣзный: $l = 330$ m; внутренній діам. $d = 0{,}075$ m.	Изоляціонная масса Grünzweig & Hartmann'a, 20 mm толщ. + 10 mm войлока.	3,0	1,10		
		4,0	1,21		
		5,0	1,29		
		6,0	1,35		
Желѣзный: $l = 22$ m; внутренній діам. $d = 0{,}120$ m.	Старый шнуръ изъ кизелгура, толщ. 25 mm.	3,0	1,11		Горизонтал. паропроводы.
		5,0	1,24		
	Новый шнуръ изъ кизелгура, толщ. 30 mm.	3,0	0,93		
		5,0	1,13		
	Масса Кнока, 30 mm толщины.	3,0	0,93		
		5,0	1,128		
	Неизолированная труба.	3,0	3,39		
		5,0	4,17		
	Масса изъ кизелгура, толщиною 20 mm.	3,0	0,96	0,85	
		5,0	1,128	0,956	
	Цилинд. изъ торфа толщ. 35 mm, съ азбест. подкл.	3,0	0,62	0,54	
		5,0	0,70	0,64	

2. Охлажденіе извнѣ.

Потеря пара вслѣдствіе охлажденія извнѣ зависитъ менѣе отъ качества употребленнаго изолирующаго матеріала, а болѣе отъ способа и доброкачественности исполненія самой изоляціи. Поте-

НТБ ДНУЗТ

ря пара отъ охлажденія увеличивается съ увеличеніемъ давленія пара и съ уменьшеніемъ толщины изолирующаго слоя.

Дѣйствительная величина потери давленія отъ охлажденія (конденсанціи пара), опредѣленная опытами надъ различными паропроводами и при различныхъ изолирующихъ матеріалахъ, приведена въ таблицѣ на стр. 305. Такъ какъ эти опыты производились при самыхъ разнообразныхъ внѣшнихъ условіяхъ, то числовыя величины, соотвѣтствующія различнымъ матеріаламъ, не могутъ быть между собой сравниваемы.

3. На основаніи зависимости между сопротивленіемъ въ паропроводѣ, потерей пара и діаметромъ трубы, наивыгоднѣйшій діаметръ паропровода, если въ основу **раэсчета** положить количество пара и его давленіе, требуемыя въ концѣ паропровода, опредѣляется слѣдующимъ образомъ:

1. Если задано давленіе въ котлѣ, то тѣмъ самымъ дана также и допускаемая потеря давленія, поэтому скорость пара и діаметръ паропровода опредѣляютъ по формулѣ для сопротивленія въ паропроводѣ, не обращая вниманія на потерю давленія отъ конденсаціи; послѣдняя не можетъ быть уменьшена безъ увеличенія потери давленія, т. е. безъ уменьшенія діаметра **паропровода.**

2. Если же давленіе въ котлѣ не дано, то діаметръ паропровода находится сравнительнымъ опредѣленіемъ расхода пара машиною вмѣстѣ съ паропроводомъ, при наибольшей и наименьшей потерѣ давленія, т. е. при наименьшемъ и наибольшемъ діаметрѣ трубы; а также и въ зависимости отъ практическихъ требованій, которыя ставятся для работы машины.

Вообще, съ точки зрѣнія стоимости пара, небольшіе діаметры паропроводовъ при большой потерѣ давленія выгоднѣе большихъ діаметровъ при малой потерѣ давленія.

Опредѣленіе діаметра паропроводной и пароотводной трубы въ паровыхъ машинахъ по поперечному сѣченію паровыхъ каналовъ цилиндра безусловно невѣрно.

F. Давленіе и сопротивленіе вѣтра.

a. Давленіе вѣтра на неподвижныя поверхности.

1. Поверхность нормальна нъ направленію вѣтра.

Пусть:

F площадь неподвижной плоской поверхности, въ qm,
P нормальное давленіе вѣтра на неподвижную поверхность F въ kg,
v скорость вѣтра въ m/sec.,
g ускореніе силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec^2.,
ψ опытный коэффиціентъ, который уменьшается вмѣстѣ съ увеличеніемъ поверхности F отъ 1,97 до 1,86,
γ вѣсъ 1 cbm воздуха въ kg (см. стр. 276 и 279).

Тогда имѣемъ, какъ и при ударѣ неограниченной массы воды (стр. 271):

НТБ ДНУЗТ

$$P = \psi \gamma F \frac{v^2}{2g},$$

и давленіе вѣтра на 1 qm въ kg будетъ:

$$p = \frac{P}{F} = \psi \gamma \frac{v^2}{2g}.$$

Для $\psi = 1{,}86$ и $\gamma = 1{,}293$ kg/cbm (для сухого воздуха при 0^0 и давленіи 760 mm ртут. столба) имѣемъ:

$$P = 0{,}12248\, F v^2; \qquad p = 0{,}12248\, v^2,$$

откуда вычислена слѣдующая таблица:

$v =$	2	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
$p =$	0,5	1,1	4,4	9,9	17,6	27,6	39,7	54,0	70,6	89,3	110,2	133,4	158,7	186,3	216,1

По этой формулѣ вычислены давленія въ „**международной шкалѣ для силы вѣтра**“ Бофорта (см. ч. II, отд. XII, Судостроеніе).

Для $\psi = 1{,}97$ имѣемъ: $P = 0{,}13\, F v^2$ и $p = 0{,}13\, v^2$.

Тѣ же уравненія примѣняются и для сопротивленія воздуха (находящагося въ покоѣ) движенію плоскости по направленію, перпендикулярному этой плоскости. ψ зависитъ при этомъ отъ v и отъ ускоренія движенія *).

2. Поверхность наклонна къ направленію вѣтра.

Если вѣтеръ ударяетъ о неподвижную поверхность F, которая образуетъ съ направленіемъ вѣтра уголъ α, то давленіе вѣтра, нормальное къ поверхности, будетъ:

$$P = p_1 F,$$

гдѣ, принимая для p значеніе изъ 1., имѣемъ:

1) по I. Ньютону: $p_1 = p \sin^2 \alpha$;
2) по Ф. Р. Лесслю: $p_1 = p \sin \alpha$;
3) по Райлейгъ и Герляху:

$$p_1 = p \frac{(4 + \pi) \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha}$$ **).

Въ настоящее время нѣтъ опытовъ, указывающихъ на то, какая изъ этихъ формулъ болѣе вѣрна. Первая формула даетъ наименьшія, а послѣдняя — наибольшія значенія.

По даннымъ прусской корол. Строительной Академіи ***), 1889 г., для разсчетовъ **устойчивости высокихъ сооруженій** достаточно принимать $p = 125$ kg/qm и $p_1 = p \sin^2 \alpha$ ****).

---

*) См. Handbuch d. Baukunde I, стр. 844 и Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, стр. 1125; 1897, стр. 291.

**) См. Centralblatt d. Bauverw., 1885, стр. 203.

***) См. Centralbl. d. Bauverw., 1889, стр. 279.

****) Но тѣмъ же даннымъ, для подобныхъ сооруженій, разсчитываемыхъ на это давленіе, равнодѣйствующая изъ собственнаго вѣса части сооруженія надъ опаснымъ сѣченіемъ и наиневыгоднѣйшаго давленія вѣтра должна оставаться въ каменной кладкѣ и не должна приближаться къ краю сѣченія настолько, чтобы допускаемое напряженіе матеріала на сжатіе было превзойдено даже и тогда, когда со стороны вѣтра можетъ быть допущено раскрытіе шва. Гебель рекомендуетъ (Z. d. V. d. I. 1898, стр. 181) для высокихъ дымовыхъ трубъ въ Германіи принимать $p = 200$ kg/qm и пользоваться формулой 1).

НТБ ДНУЗТ

Въ особыхъ случалхъ необходимо, однако, сообразоваться съ мѣстными условіями (для маяковъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ принимали $p = 330$ kg/qm). По герм. гребованіямъ мин. публич. работъ (1890) $p \geqq 125$, а при свободно стоящихъ сооруженіяхъ — до 250 kg/qm. Направленіе вѣтра принимается **горизонтальнымъ** и разсчетъ производится по форм. $p_1 = p \sin \alpha$.

По австрійскимъ даннымъ дымовыя трубы должны имѣть по крайней мѣрѣ двойную надежность на опрокидываніе (см. отдѣлъ VII, паровые котлы) при давленіи вѣтра $p = 150$ kg/qm; при этомъ необходимо имѣть возможность увеличить впослѣдствіи высоту на 35 m. Кромѣ того, допускаемое давленіе въ кольцѣ отъ собственнаго вѣса не должно превосходить 8 kg/qcm.

Нормальное давленіе $P = p_1 F$ разлагается на два составляющихъ:

по направленію вѣтра. . . . . $P_1 = p_1 F \sin \alpha$;
по направленію нормальному. . $P_2 = p_1 F \cos \alpha$.

3. Давленіе вѣтра (въ kg) на **круговой цилиндръ**, ось котораго нормальна къ направленію вѣтра, будетъ:

по форм. 1). . . . . $P_1 = {}^2/_3 p F = 0{,}667 p F = 0{,}667 p d h$,
по форм. 2). . . . . $P_1 = {}^1/_4 \pi p F = 0{,}785 p F = 0{,}785 p d h$,

гдѣ d діаметръ и h высота цилиндра (въ m), $F = dh$ въ qm означаетъ проекцію боковой поверхности цилиндра на плоскость, нормальную къ направленію вѣтра *).

4. Наибольшее давленіе вѣтра (въ kg) на правильную **восьмигранную призму**, ось которой перпендикулярна къ направленію вѣтра:

по форм. 1) . . . . . $P_1 = 0{,}707 p F = 0{,}707 p D h$,
по форм. 2) . . . . . $P_1 = 0{,}828 p F = 0{,}828 p D h$,

гдѣ D діаметръ круга, вписаннаго въ основаніе, и h высота призмы въ m, $F = Dh$.

Соотвѣтственно для правильной **шестигранной призмы**:

по форм. 1) . . . . . $P_1 = 0{,}75 p F = 0{,}75 p D h$,
по форм. 2) . . . . . $P_1 = 0{,}866 p F = 0{,}866 p D h$.

5. Давленіе вѣтра (въ kg) **на призму квадратнаго** сѣченія, высотою h и стороною a (въ m), опредѣляется:

a) если направленіе давленія вѣтра нормально къ сторонѣ квадрата: $P_1 = p a h$;

b) если направленіе давленія вѣтра нормально къ діагонали:

по формулѣ 1) . . . . . $P_1 = 0{,}707 p a h$,
по формулѣ 2) . . . . . $P_1 = p a h$,

6. Для опредѣленія давленія на поверхность тѣлъ съ круглымъ или многоугольнымъ сѣченіемъ въ литературѣ встрѣчаются данныя, часто значительно отличающіяся отъ вышеприведенныхъ. Для кругового цилиндра въ новѣйшее время Прыингеръ (Копенгагенъ) пашелъ: $P_1 = 0{,}57\ p d h$, для квадратной призмы (случай **5.** a.): $P_1 = 0{,}95\ p a h$, для нея же (случай **5.** b.) $P_1 = 0{,}79\ p a h$, для шара $P_1 = 0{,}31\ p . {}^1/_4 \pi D^2$. Ф. Риттеръ (Вѣна) считаетъ **) для кругового цилиндра $P_1 = 0{,}45\ p d h$, для шара $P_1 = 0{,}33\ p . {}^1/_4 \pi D^2$.

7. При опредѣленіи **нагрузки крышъ** и т. п. отъ давленія вѣтра принимаютъ, что направленіе вѣтра имѣетъ наклонъ до 10^0 къ

---

*) Графич. изображ. давленій см. Centralblatt d. Bauverw. 1884, стр. 534, и 1885, стр. 60.

**) См. Fr. Ritter, Winddruck auf Cylinder- und Kugelflächen, Zeitschr. f. Luftschiffahrt u. Physik d. Atm., Апрѣль/Май 1896.

НТБ ДНУЗТ

горизонту. (По Лиліенталю *), направленіе вѣтра составляетъ около 3^0 съ горизонтомъ). Если β уголъ плоскости крыши съ горизонтомъ, то по формулѣ 1) будемъ имѣть въ первомъ предположеніи:

нагрузка отъ давленія вѣтра, нормальная къ плоскости крыши $= p \sin^2(\beta + 10^0)$ kg на qm наклонной площади крыши;

вертикальная нагрузка крыши отъ давленія вѣтра:
$= p \sin^2(\beta + 10^0)$ kg на qm горизонтальной проекціи крыши;

нагрузка отъ вѣтра въ горизонтальномъ направленіи:
$= p \sin^2(\beta + 10^0)$ kg на qm вертикальной проекціи крыши.

b. Давленіе вѣтра на подвижныя поверхности (колеса вѣтряныхъ мельницъ).

Пусть для **движущейся поверхности** (колеса вѣтряной мельницы):

v скорость вѣтра по направленію оси вѣтряного колеса въ m въ сек.,

ω угловая скорость колеса (см. стр. 152).

$u_x = x\omega$ скорость на окружности элемента dF въ разстояніи x (въ m) отъ оси вращенія, въ m въ сек.

l длина крыла въ m,

u_l скорость на окружности въ разстояніи l, въ m въ сек.,

b постоянная ширина крыла въ m,

a число крыльевъ,

φ перемѣнная величина угла, образуемаго плоскостью крыльевъ съ направленіемъ вѣтра; наименьшее значеніе этого угла $\varphi = \beta$, наибольшее $\varphi = \alpha$.

γ, g и ψ см. стр. 306,

тогда **движущая сила**, дѣйствующая на элементъ крыла dF въ разстояніи x отъ оси крыла, будетъ:

$$dP = \psi\gamma . dF \frac{(v \sin\varphi - u_x \cos\varphi)^2}{2g} \cos\varphi.$$

Величина эта имѣетъ maximum при:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{3}{2}\frac{u_x}{v} + \sqrt{2 + \left(\frac{3}{2}\frac{u_x}{v}\right)^2}.$$

Посредствомъ опытовъ найдено для колесъ **вѣтряныхъ мельницъ** при $l = 12$ m и $a = 4$:

$$\frac{u_l}{v} = \frac{l\omega}{v} = 2{,}32, \quad \text{и слѣд.} : \frac{u_x}{v} = \frac{x\omega}{v} = (2{,}32 : 12)\,x = 0{,}193\,x.$$

---

*) См. Lilienthal, Der Vogelflug; Berlin 1889, R. Gärtner.

НТБ ДНУЗТ

По этой формулѣ (при помощи уравненія для $\operatorname{tg}\varphi$) имѣемъ слѣдующую таблицу:

x	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
φ	60^0	$64^0 39'$	$68^0 27'$	$71^0 30'$	$73^0 57'$	$75^0 24'$
x	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m
φ	$77^0 29'$	$78^0 48'$	$79^0 50'$	$80^0 54'$	$81^0 29'$	$82^0 8'$

Работа вѣтра въ mkg/sec., передаваемая крылу вѣтрянаго колеса:

$$E = \frac{8}{81}\psi\gamma\frac{b\,v^4}{\omega\,g}\left(\Phi(\alpha) - \Phi(\beta)\right),$$

гдѣ
$$\Phi(\varphi) = \frac{1}{\cos\varphi} + \frac{\cos^3\varphi + \cos\varphi}{2\sin^4\varphi} + \frac{3}{2}\ln\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}.$$

Давленіе вѣтра на колесо **по направленію его оси** въ kg:

$$D = \frac{8}{27}\psi\gamma\frac{b\,v^3}{\omega\,g}\left(\Omega(\alpha) - \Omega(\beta)\right),$$

гдѣ
$$\Omega(\varphi) = \frac{1 - 2\cos^2\varphi}{\sin^2\varphi\cos\varphi} + 2\ln\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}.$$

Если $l = 12$ m и $a = 4$, то $\Phi(60^0) = 1{,}378$; $\Omega(60^0) = 0{,}036$ и
$\Phi(82^0 8') = 7{,}172$, $\Omega(82^0 8') = 6{,}891$.

Для приблизительныхъ соображеній можно принимать:

$$E = 0{,}0302\,F_n\,v^3 \text{ mkg/sec.},$$

или
$$N = \frac{E}{75} = \frac{F_n\,v^3}{2500} \text{ лош. силъ},$$

если F_n общая поверхность всѣхъ крыльевъ въ qm и N передаваемая работа въ лошад. силахъ.

НТБ ДНУЗТ

ТРЕТІЙ ОТДѢЛЪ.

ТЕПЛОТА.

А. Измѣреніе теплоты.

Всѣ данныя относительно температуры выражены въ градусахъ термометра Цельсія.

1. Пусть:

R число градусовъ, соотвѣтствующихъ опредѣленной температурѣ по Реомюру, C по Цельсію, F по Фаренгейту, тогда:

$$F = 32 + {}^{9}/_{5}\,C = 32 + {}^{9}/_{4}\,R, \qquad C = {}^{5}/_{4}\,R = {}^{5}/_{9}\,(F - 32),$$
$$R = {}^{4}/_{5}\,C = {}^{4}/_{9}\,(F - 32).$$

См. табл. стр. 312.

2. При измѣреніи температуръ до $+ 280^{0}$ слѣдуетъ отдавать предпочтеніе **термометрамъ ртутнымъ**; при непродолжительныхъ опытахъ термометры эти можно употреблять и до $+ 350^{0}$. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ трубка термометра наполняется азотомъ, столбъ котораго при расширеніи ртути сжимается и этимъ предохраняется столбъ ртути отъ разрыва, происходящаго вслѣдствіе выдѣленія паровъ ртути. Низшая температура для пользованія термометрами ртутными: -40^{0}.

Для измѣренія низкихъ температуръ (до -100) служатъ **спиртовые термометры**. Наивысшая температура $+ 78^{0}$.

Термометръ Baly & Chorley *), похожій по наружному виду на ртутный, содержитъ вмѣсто ртути жидкій сплавъ калія съ натріемъ, точка замерзанія котораго при -8^{0}, а точка кипѣнія при $+700^{0}$. Можетъ служить для опредѣленія высокихъ температуръ кипѣнія маслъ между -8^{0} и 650^{0}.

Болѣе высокія температуры измѣряются **пирометрами**, устройство которыхъ основано частью на деформаціи двухъ спаянныхъ между собою полосъ разныхъ металловъ, частью на разницѣ удлиненій двухъ различныхъ тѣлъ, напр., **графитный пирометръ** Штейпле и Гартунга **), частью на смѣшеніи горячаго воздуха съ холоднымъ (опредѣленіе температуры горячаго дутья), также при помощи тальпотазиметра Шеффера и Буденберга (до $+ 700^{0}$).

(Продолженіе на стр. 313).

*) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 1894.
**) Handb. d. Baukunde, т. I, стр. 802.

НТБ ДНУЗТ

Таблица для сравненія градусовъ Цельсія, Реомюра и Фаренгейта.

C	R	F	C	R	F	C	R	F	C	R	F
−20	−16	− 4,0	+35	+28,0	+ 95,0	+ 90	+ 72,0	+ 194,0	+145	+ 116,0	+ 293,0
− 19	−15,2	− 2,2	36	28,8	96,8	91	72,8	195,8	146	116,8	294,8
− 18	−14,4	− 0,4	37	29,6	98,6	92	73,6	197,6	147	117,6	296,6
− 17	−13,6	+ 1,4	38	30,4	100,4	93	74,4	199,4	148	118,4	298,4
− 16	−12,8	3,2	39	31,2	102,2	94	75,2	201,2	149	119,2	300,2
− 15	− 12,0	5,0	40	32,0	104,0	95	76,0	203,0	150	120,0	302,0
− 14	− 11,2	6,8	41	32,8	105,8	96	76,8	204,8	151	120,8	303,8
− 13	− 10,4	8,6	42	33,6	107,6	97	77,6	206,6	152	121,6	305,6
− 12	− 9,6	10,4	43	34,4	109,4	98	78,4	208,4	153	122,4	307,4
− 11	− 8,8	12,2	44	35,2	111,2	99	79,2	210,2	154	123,2	309,2
− 10	− 8,0	14,0	45	36,0	113,0	100	80,0	212,0	155	124,0	311,0
− 9	− 7,2	15,8	46	36,8	114,8	101	80,8	213,8	156	124,8	312,8
− 8	− 6,4	17,6	47	37,6	116,6	102	81,6	215,6	157	125,6	314,6
− 7	− 5,6	19,4	48	38,4	118,4	103	82,4	217,4	158	126,4	316,4
− 6	− 4,8	21,2	49	39,2	120,0	104	83,2	219,2	159	127,2	318,2
− 5	− 4,0	23,0	50	40,0	122,0	105	84,0	221,0	160	128,0	320,0
− 4	− 3,2	24,8	51	40,8	123,8	106	84,8	222,8	161	128,8	321,8
− 3	− 2,4	26,6	52	41,6	125,6	107	85,6	224,6	162	129,6	323,6
− 2	− 1,6	28,4	53	42,4	127,4	108	86,4	226,4	163	130,4	325,4
− 1	− 0,8	30,2	54	43,2	129,2	109	87,2	228,2	164	131,2	327,2
0	0	32,0	55	44,0	131,0	110	88,0	230,0	165	132,0	329,0
+ 1	+ 0,8	33,8	56	44,8	132,8	111	88,8	231,8	166	132,8	330,8
2	1,6	35,6	57	45,6	134,6	112	89,6	233,6	167	133,6	332,6
3	2,4	37,4	58	46,4	136,4	113	90,4	235,4	168	134,4	334,4
4	3,2	39,2	59	47,2	138,2	114	91,2	237,2	169	135,2	336,2
5	4,0	41,0	60	48,0	140,0	115	92,0	239,0	170	136,0	338,0
6	4,8	42,8	61	48,8	141,8	116	92,8	240,8	171	136,8	339,8
7	5,6	44,6	62	49,6	143,6	117	93,6	242,6	172	137,6	341,6
8	6,4	46,4	63	50,4	145,4	118	94,4	244,4	173	138,4	343,4
9	7,2	48,2	64	51,2	147,2	119	95,2	246,2	174	139,2	345,2
10	8,0	50,0	65	52,0	149,0	120	96,0	248,0	175	140,0	347,0
11	8,8	51,8	66	52,8	150,8	121	96,8	249,8	176	140,8	348,8
12	9,6	53,6	67	53,6	152,6	122	97,6	251,6	177	141,6	350,6
13	10,4	55,4	68	54,4	154,4	123	98,4	253,4	178	142,4	352,4
14	11,2	57,2	69	55,2	156,2	124	99,2	255,2	179	143,2	354,2
15	12,0	59,0	70	56,0	158,0	125	100,0	257,0	180	144,0	356,0
16	12,8	60,8	71	56,8	159,8	126	100,8	258,8	181	144,8	357,8
17	13,6	62,6	72	57,6	161,6	127	101,6	260,6	182	145,6	359,6
18	14,4	64,4	73	58,4	163,4	128	102,4	262,4	183	146,4	361,4
19	15,2	66,2	74	59,2	165,2	129	103,2	264,2	184	147,2	363,2
20	16,0	68,0	75	60,0	167,0	130	104,0	266,0	185	148,0	365,0
21	16,8	69,8	76	60,8	168,8	131	104,8	267,8	186	148,8	366,8
22	17,6	71,6	77	61,6	170,6	132	105,6	269,6	187	149,6	368,6
23	18,4	73,4	78	62,4	172,4	133	106,4	271,4	188	150,4	370,4
24	19,2	75,2	79	63,2	174,2	134	107,2	273,2	189	151,2	372,2
25	20,0	77,0	80	64,0	176,0	135	108,0	275,0	190	152,0	374,0
26	20,8	78,8	81	64,8	177,8	136	108,8	276,8	191	152,8	375,8
27	21,6	80,6	82	65,6	179,6	137	109,6	278,6	192	153,6	377,6
28	22,4	82,4	83	66,4	181,4	138	110,4	280,4	193	154,4	379,4
29	23,2	84,2	84	67,2	183,2	139	111,2	282,2	194	155,2	381,2
30	24,0	86,0	85	68,0	185,0	140	112,0	284,0	195	156,0	383,0
31	24,8	87,8	86	68,8	186,8	141	112,8	285,8	196	156,8	384,8
32	25,6	89,6	87	69,6	188,6	142	113,6	287,6	197	157,6	386,6
33	26,4	91,4	88	70,4	190,4	143	114,4	289,4	198	158,4	388,4
34	27,2	93,2	89	71,2	192,2	144	115,2	291,2	199	159,2	390,2

НТБ ДНУЗТ

Очень высокія температуры опредѣляютъ **калориметрическимъ путемъ,** опуская въ испытываемую среду (напр. расплавленный металлъ) извѣстное тѣло (напр. платиновый шаръ), котораго вѣсъ G (въ kg) и удѣльная теплоемкость c (стр. 317) извѣстны, и заставляя шаръ принять температуру среды. Если затѣмъ выбранное тѣло опустить въ опредѣленное количество воды вѣсомъ Q kg и температурой t_1, то температура воды возвысится до t_2, и температура испытываемой среды будетъ приблизительно:

$$t = t_2 + \frac{(t_2 - t_1)\ Q}{G\,c}.$$

Для c вводятъ среднюю теплоемкость при предѣльныхъ температурахъ t и t. Для сварочнаго желѣза, напр., имѣемъ по Вейнгольду:

$$c = 0{,}105\,907 + 0{,}000\,032\,69\,(t + t_2) + 0{,}000\,000\,011\,08\,[t^2 + t^2_2 + (t + t_2)^2].$$

При опредѣленіи температуры жидкихъ металловъ выливаютъ нѣкоторое количество этого металла въ воду, опредѣляютъ возвышеніе температуры воды и взвѣшиваютъ металлъ послѣ охлажденія въ водѣ. Методъ этотъ не вполнѣ точный, такъ какъ частью испареніе воды, частью согрѣваніе стѣнокъ сосуда оказываютъ вліяніе на результатъ.

Сравненіе градусовъ по пирометру Веджвуда съ градусами по термометру Цельсія.

Градусы по пирометру Веджвуда.	Градусы по термометру Цельсія.	Градусы по пирометру Веджвуда.	Градусы по термометру Цельсія.	Цвѣта каленія желѣза.
30° W	2750° C	14° W	1590° C	
29	2678	13	1518	Ослѣпительно-бѣлый.
28	2605	12	1445	
27	2533			Сварочный жаръ (1400—1500°).
26	2460	11	1373	Сильное бѣлое каленіе (1350°).
25	2388	10	1300	Бѣлое каленіе (1300°).
24	2315	9	1228	Свѣтло-оранжевый (1200°).
23	2243	8	1155	Свѣтло-каленіе (1150°).
22	2170	7	1083	Темно-оранжевый (1100°).
21	2098	6	1010	Свѣтло - вишнево - красный (1000°).
20	2025	5	938	Вишнево-красный (900°).
19	1953	4	865	
18	1880	3	793	Темно - вишнево - красный (800°)
17	1808		720	Темно-красный (700°).
16	1735		648	
15	1663		575	Красно-калильный въ темнотѣ (500°).

Конуса Зегера (усѣченныя трехгранныя пирамиды высотою 6 cm, изготовляются для различныхъ температуръ 58 различныхъ нумеровъ) состоятъ изъ силикатовъ глинозема и весьма удобны для опредѣленія степени обжига различныхъ глиняныхъ издѣлій, а равно и для другихъ техническихъ цѣлей, при измѣреніи температуры

НТБ ДНУЗТ

отъ 590 до 1850 *). Копуса Зегера такъ же, какъ и точки плавленія **сплавовъ Принсепа**, даютъ только конечную температуру **).

Весьма удобно производить непрерывное измѣреніе температуры при помощи электричества; измѣряютъ либо электрическое сопротивленіе платиновой проволоки (**пирометръ Сименса**) ***), либо термоэлектрическую силу элемента (**термическій элементъ Лешателье** ****).

Нѣкоторыя данныя относительно температуры.

Температура воздуха понижается на 1^0 на каждые 200 m выше уровня земли.
Температура земли повышается на 1^0 на каждые 37 m въ глубину.
Температура человѣческой крови—въ среднемъ 37^0.
Температура **электрической дуговой лампы** 2500^0 (по Віолю); при этой температурѣ кипитъ углеродъ.
При взрывѣ газа въ цилиндрѣ **газовой машины** (по Бертело и Віолю) развивается температура до 4500^0.
Температура **молніи** (или искры лейденской банки)—приблизительно 15000^0.

B. Расширеніе тѣлъ отъ теплоты.

a. Расширеніе твердыхъ тѣлъ.

1. Подъ **коэффиціентомъ линейнаго расширенія** тѣла (α) подразумѣваютъ удлиненіе единицы длины тѣла (въ частяхъ этой единицы) при возвышеніи температуры его на 1^0; коэффиціентъ расширенія площади равенъ двойному линейному (2α), а коэффиціентъ расширенія объема равенъ тройному линейному (3α).

Если тѣло длиною l нагрѣть на t^0, то длина его будетъ: $l_1 = l\,(1 + \alpha t)$ и, слѣд., удлиненіе $\lambda = \alpha l t$.

Коэффиціентъ расширенія α, вообще говоря, увеличивается съ увеличеніемъ температуры, но съ достаточною точностью можетъ быть принятъ постояннымъ.

[Напр., для бронзы $\alpha = 10^{-9}\,(17545 + 5{,}25\,t)$].

Пусть означаютъ:

l_1 и l_2 длины
F_1 и F_2 площади
V_1 и V_2 объемы

} тѣла при температурахъ t_1 и t_2,

тогда:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2}$$

и почти вполнѣ точно:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{1 + 2\,\alpha t_1}{1 + 2\,\alpha t_2}, \qquad \frac{V_1}{V_2} = \frac{1 + 3\,\alpha t_1}{1 + 3\,\alpha t_2}$$

---

*) Chemisches Laboratorium für Thonindustrie, Berlin NW. 5.
**) См. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1897, стр. 99; также Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 297.
***) См. Handb. d. Baukde., томъ I, стр. 803 и 804.
****) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 226.

НТБ ДНУЗТ

Удлиненіе 100 α для твердыхъ тѣлъ,

при увеличеніи температуры отъ 0 до 100°.

Алюминій . . .	0,002 180	1 : 459	Полосовое желѣзо.	0,001 235	1 : 812
Бронза.	0.001 755	1 : 570	Свароч. желѣзо .	0,001 212	1 : 825
Дерево, поперекъ .	0,003 до 0,006		„ (для 0—300°) .	0,001 468	1 : 681
„ вдоль .	0,0003 до 0,0010		Свинецъ. . . .	0,002 848	1 : 351
Желѣзная проволока . . .	0,001 235	1 : 810	Серебро	0,001 909	1 : 524
Золото	0,001 514	1 : 661	Сталь каленая . .	0,001 240	1 : 806
Известнякъ. . .	0,000 809	1 : 1236	„ мягкая *) . .	0,001 079	1 : 927
Литое желѣзо. .	0,001 176	1 : 850	Стекло	0,000 861	1 : 1161
Мѣдн. проволока	0,001 933	1 : 517	„ бемское.	0,000 872	1 : 1147
Мѣдь красная. .	0,001 643	1 : 609	„ англійск.	0,000 812	1 : 1232
Мѣдь желтая. .	0,001 875	1 : 533	Цементъ	0,001 430	1 : 699
Олово.	0,001 938	1 : 516	Цинкъ литой . . .	0,002 941	1 : 340
Платина. . . .	0,000 884	1 : 1131	„ кованый . .	0,003 108	1 : 322
			Чугунъ.	0,001 067	1 : 937

Объемные коэффиціенты расширенія 3 α.

Свинецъ . .	0,000 084	до 0,000 089	Платина	0,000 026	до 0,000 029
Стекло . . .	0,000 02	„ 0,000 03	Жел. свар. .	0,000 035	„ 0,000 044
Золото . . .	0,000 044	„ 0,000 047	Серебро	0,000 057	„ 0,000 064
Чугунъ въ среднемъ		0,000 033	Сталь	0,000 032	„ 0,000 042
Крас. мѣдь.	0,000 052	до 0,000 057	Цинкъ.	0,000 087	„ 0,000 090
Желт. мѣдь	0,000 053	„ 0,000 056	Олово	0,000 058	„ 0,000 069

Сила, развиваемая при удлиненіи или **укороченіи** призматическаго бруса при измѣненіи температуры его на t^0, равна:

$$P = \alpha E t F,$$

если α коэффиціентъ расширенія, E модуль упругости (стр. 331) и F сѣченіе бруска.

2. Линейная усадка нѣкоторыхъ металловъ.

Свинецъ	1 : 92	Полосовое желѣзо, прокатное	1 : 55
Бронза.	1 : 63	Литая сталь	1 : 64
Мелкозернистое желѣзо.	1 : 72	Стальныя отливки . .	1 : 50
Колокольный металлъ.	1 : 65	Висмутъ	1 : 265
Чугунъ	1 : 96	Цинкъ литой	1 : 62
Пушечный металлъ. .	1 : 134	Олово	1 : 128
Желтая мѣдь	1 : 65	100 вѣс. ч. красн. мѣдн 12,5 ч. олова	1 : 134
Пудлинговая сталь . .	1 : 72		

Въ прокатныхъ мастерскихъ принимаютъ 12 mm на 1 пог. m.

*) По M. Rudeloff, Z. d. V. d. I. 1891, стр. 381 : 100 α = 0,001 216 1 до 0,001 1106 (1 : 822 до 1 : 900) при содержаніи углерода 0,09 до 0,97%.

НТБ ДНУЗТ

b. Расширеніе жидкихъ тѣлъ.

Для жидкостей (и газовъ) принимаютъ **объемное** расширеніе.

Коэффиціентъ расширенія жидкостей 3α зависитъ отъ температуры, а именно, если нагрѣть объемъ жидкости V отъ 0^0 до t^0, то объемъ жидкости будетъ:

$$V_t = V(1 + at + bt^2 + ct^3 + et^4);$$

откуда имѣемъ коэффиціентъ расширенія

$$3\alpha = \frac{dV_t}{V.dt} = a + 2bt + 3ct^2 + 4et^3.$$

Таблица коэффиціентовъ a, b, c, e.

Жидкость.	a	b	c	e
Эфиръ (до 120^0).	0,001 348 906	0,000006 554	−0,000 000 034 491	0,000 000 000 338
Алкоголь	0,000 738 923	0,000010 552	0,000 000 092 481	0,000 000 000 404
Оливковое масло.	0,000 798	−0,000000 773	0,000 000 008 274	—
Ртуть .	0,000 179 01	0,000 000 025 2	—	—

V_t для ртути.

0^0	1,000 000	30^0	1,005 393	70^0	1,012 655
10^0	1,001 793	50^0	1,009 013	100^0	1,018 153

Для ртути можно принимать между 0^0 и 100^0 въ среднемъ $3\alpha = 0,00018153 = 1 : 5509$ (истинный коэффиціентъ расширенія). Если отсюда вычесть значеніе 3α для стекла (см. стр. 315), то получится среди. кажущійся коэф. расширенія ртути въ термометрѣ.

V_t*) для воды.

0^0 . . . 1,000 117	12^0 . . . 1,000 461	35^0 . . . 1,005 82	95^0 . . . . 1,039 33
1^0 . . . 1,000 065	14^0 . . . 1,000 710	40^0 . . . 1,007 71	100^0 . . . . 1,043 12
2^0 . . . 1,000 028	15^0 . . . 1,000 852	45^0 . 1,009 81	110^0 . . . 1,051 19
3^0 . . . 1,000 006	16^0 . . . 1,001 007	50^0 . . . 1,011 96	120^0 . . . 1,059 93
4^0 . . . 1,000 000	18^0 . . . 1,001 352	55^0 . 1,014 34	130^0 . . . . 1,069 36
5^0 . 1,000 008	20^0 . . . 1,001 741	60^0 . 1,016 92	140^0 . . 1,079 49
6^0 . . . 1,000 031	22^0 1,002 174	65^0 1,019 61	150^0 . . . . 1,090 30
7^0 . . . 1,000 069	24^0 . 1,002 647	70^0 . 1,022 63	160^0 . 1,101 79
8^0 . . . 1,000 120	25^0 . . 1,002 90	75^0 . . . 1,025 72	170^0 . . 1,113 95
9^0 . . . 1,000 185	26^0 . . . 1,003 16	80^0 . . . 1,028 91	180^0 . . 1,126 78
10^0 . . . 1,000 264	28^0 . . . 1,003 71	85^0 1,032 22	190^0 . . . 1,140 26
11^0 . 1,000 356	30^0 . . . 1,004 30	90^0 1,035 71	200^0 . . 1,154 38

Керосинъ расширяется, при увеличеніи температуры въ 22^0, приблизительно на 2% **). Для рѣпного масла $3\alpha = 0,00089$.

c. Расширеніе газообразныхъ тѣлъ.

По Гей-Люссаку коэффиціентъ **объемнаго** расширенія всѣхъ газовъ одинаковъ и равенъ $\alpha = 0,003665 = 1 : 273$ ***).

---

*) J. D. Everett (см. выноску, стр. 148).

**) См. Petroleum und sein überseeischer Versand, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 289.

***) Слѣдуетъ замѣтить, что здѣсь вездѣ подразумѣвается коэффиціентъ **объемнаго** расширенія, который для газовъ обозначенъ черезъ α, а не 3α.

НТБ ДНУЗТ

По Реньо величина α (см. стр. 276) для:

Водорода	0,003 661 3	Окиси углерода	0,003 668 8
Воздуха	0,003 670 6	Углекислоты	0,003 709 9
Перекиси азота	0,003 719 5	Сѣрнистой кислоты	0,003 902 8

C. Теплоемкость.

Единицей теплоты или **большой калоріей** называется количество теплоты, которое необходимо для того, чтобы нагрѣть 1 килограммъ воды отъ 0^0 до 1^0. Малая калорія = 0,001 большой калоріи.

Удѣльной теплотой или **удѣльной теплоемкостью** тѣла называется то количество (единицъ) теплоты, которое необходимо для того, чтобы нагрѣть 1 kg этого тѣла на 1^0.

Теплоемкость (c) вообще зависитъ отъ температуры. Напр.:

Алюминій .	$c = 0{,}207\,00 + 0{,}000\,230\,t$	Платина . .	$c = 0{,}031\,98 + 0{,}000\,013\,t$
Свинецъ . .	$c = 0{,}029\,98 + 0{,}000\,031\,t$	Серебро .	$c = 0{,}054\,66 + 0{,}000\,044\,t$
Иридій. . .	$c = 0{,}031\,7 + 0{,}000\,012\,t$	Цинкъ .	$c = 0{,}090\,09 + 0{,}000\,075\,t$
Мѣдь . .	$c = 0{,}090\,08 + 0{,}000\,065\,t$	Олово	$c = 0{,}052\,31 + 0{,}000\,072\,t$

Количество единицъ теплоты, которое необходимо для того, чтобы нагрѣть G kg даннаго тѣла удѣльной теплотой c на t^0, будетъ:

$$W = c\,G\,t \text{ ед. тепл.}$$

Точнѣе, принимая во вниманіе зависимость теплоемкости c отъ температуры, имѣемъ при нагрѣваніи тѣла отъ t_1^0 до t_2^0:

$$W = G \int_{t_1}^{t_2} c.dt \text{ един. тепл.}$$

Средняя удѣльная теплота для твердыхъ и жидкихъ тѣлъ.

Тѣло.	Удѣльн. теплота.	Тѣло.	Удѣльн. теплота.	Тѣло.	Удѣльн. теплота.
Алкоголь (абсол.)	0,6175	Кирпичъ 0,189 до	0,241	Скипидаръ	0,4569
Борн. кислота.	0,2374	Коксъ	0,2031	Сосна	0,65
Висмутъ	0,0298	Красная мѣдь.	0,0933	Сталь мягкая..	0,1165
Гипсъ	0,1966	Кремнекислота	0,1950	„ твердая.	0,1184
Графитъ	0,1960	Ледъ		Стекло	0,1930
Древесный уголь	0,2411	(—20^0 до 0^0)	0,504	Сурьма	0,0486
Древесный спиртъ	0,5901	Магнезія	0,245	Сѣра кристал.	0,163
Дубъ	0,5700	Масло оливк. .	0,3096	„ аморфн..	0,1844
Ель	0,6540	Мраморъ . .	0,2099	Фосфоръ 0,1698 до	0,2045
Желтая мѣдь . .	0,0860	Окись свинца.	0,0512	Цинкъ	0,0935
Желѣзо свар. .	0,1124	Олово	0,0559	Чугунъ тверд..	0,1298
Зола	0,2000	Платина	0,0323	„ жидк. . .	0,2500
Золото	0,0316	Ртуть твердая.	0,0319	Шлакъ домен-	
Кальцій	0,1804	„ жидк. . . .	0,0335	ной печи . . .	0,1950
Кварцъ	0,1894	Свинецъ	0,0315	Эфиръ	0,5290
		Серебро . .	0,0559		

НТБ ДНУЗТ

Удѣльную теплоту воды, по Реньо, см. стр. 284, для сварочнаго желѣза см. стр. 313.

Нагрѣваніе воздуха.

Вѣсъ V cbm сухого воздуха, при температурѣ t^0 и давленіи въ 760 mm ртутнаго столба (см. стр. 279):

$$G = \frac{1{,}293}{1 + \alpha t} V.$$

Теплоемкость воздуха при постоянномъ давленіи $c_p = 0{,}2375$. Количество теплоты, требуемое для нагрѣванія G kg (соотвѣтственно V cbm) воздуха температурой t^0 до t_1^0:

$$W = 0{,}2375\, G\,(t_1 - t) = \frac{0{,}307\, V}{1 + \alpha t}\,(t_1 - t) \text{ един. тепл.}$$

Средняя удѣльная теплота для газовъ и паровъ *). Вода = 1.

Тѣло.	Удѣльн. теплота при постоянномъ давленіи. c_p	Удѣльн. теплота при постоянномъ объемѣ. c_v	$n = \frac{c_p}{c_v}$	Удѣльн. теплота при постоянномъ давленіи для воздуха = 1.
Атмосферн. воздухъ (сухой)	0,2375	0,1691	1,41	1,0000
Кислородъ .	0,2175	0,1551	1,40	0,9158
Азотъ ..	0,2438	0,1727	1,41	1,0265
Водородъ. .	3,4090	2,4119	1,41	14,3537
Пары эфира..... ..	0,4796	0,3411	1,41	2,0194
Пары алкоголя	0,4534	0,3200	1,42	1,9091
Углекислота при 200°.. .	0,2396	0,1714	1,40	1,0088
Окись углерода	0,2450	0,1736	1,41	1,0316
Водяной паръ... ..	0,4750	0,3337	1,42	2,0000
Тоже умѣрен. перегрѣтый.	0,4805	0,3694	1,30	2,0232
Болотный газъ CH_4 ..	0,5929	0,4679	1,27	2,4964
Этиленъ (C_2H_4) ...	0,4040	0,3326	1,21	1,7011

Температура смѣсей.

Правило Рихманна: $G + G_1$ kg смѣси, составленной изъ G kg тѣла температурой t^0 и удѣльной теплоемкостью c и G_1 kg тѣла температурой t_1^0 и теплоемкостью c_1, имѣютъ температуру:

$$t_m = \frac{cGt + c_1 G_1 t_1}{cG + c_1 G_1}, \text{ и вообще } t_m = \frac{\Sigma(cGt)}{\Sigma(cG)}.$$

*) Теплоемкость газовъ почти не зависитъ отъ температуры.

НТБ ДНУЗТ

Для того, чтобы возвысить температуру t^0 тѣла вѣсомъ G и удѣльной теплоемкостью c до температуры t^0_m, необходимо:

$$G' = \frac{c}{c'} G \frac{t_m - t}{t' - t_m} \text{ kg}$$

тѣла теплоемкостью c' и температурою t'^0.

Если смѣшать при постоянномъ давленіи G kg (соотв. V cbm) воздуха температурой t^0 съ G_1 kg (соотв. V_1 cbm) воздуха температурою $t_1{}^0$, то температура смѣси будетъ (α для воздуха см. стр. 317):

$$t_m = \frac{Gt + G_1 t_1}{G + G_1} = \frac{Vt\,(1 + \alpha t_1) + V_1 t_1\,(1 + \alpha t)}{V\,(1 + \alpha t_1) + V_1\,(1 + \alpha t)}.$$

Охладительныя смѣси.

Самая низкая температура, которая можетъ быть достигнута данной охладительной смѣсью, соотвѣтствуетъ **температурѣ замерзанія** этой смѣси.

Смѣси.	Вѣсов. части.	Термометръ падаетъ съ	Термометръ падаетъ на	Смѣси.	Вѣсов. части.	Термометръ падаетъ съ	Термометръ падаетъ на
Фосфорно-кислый натрій	9	12,5°	−6°	Азот. кисл. аммоній.	1	10°	−16°
Нашатырь	6			Вода	1		
Раств. азот. кисл.	4			Фосфорн.-кисл. натръ	9	15°	−9°
Сѣрн.-кисл. натръ	6	10°	−25°	Раст. азот. кисл.	4		
Азотно-кислый аммоній	5			Сѣрнок. натръ	6	10°	−23°
Раств. азот. кисл.	4			Нашатырь	4		
Нашатырь	5	10°	−12°	Селитра	2		
Селитра	5			Раств. азот. кисл.	4		
Вода	16			Поваренная соль	1	0°	−17,7°
Углекислый натръ	1	10°	−14°	Снѣгъ	3		
Азот. кисл. аммон.	1			Селитра	1	8°	−24°
Вода	1			Нашатырь	1		
Сѣрнок. натръ	3	10°	−19°	Вода	1		
Раств. азот. кисл.	2			Раств. азот. кисл.	1	−14°	−35°
Сѣрнок. натръ	8	10°	−15°	Снѣгъ	1		
Селитра	5			Кали (гидратъ)	4	0°	−37°
Нашатырь	5			Снѣгъ	3		
Вода	16			Раств. сѣрн. кисл.	1	−19°	−40°
Сѣрнокислый натръ	8	10°	−18°	Раств. азот. кисл.	1		
Соляная кисл.	5			Снѣгъ	2		
Сѣрнокислый натръ	5	10°	−16°	Раств. сѣрн. кисл.	1	−5°	−41°
Раств. сѣрн. кисл.	4			Снѣгъ	1		
Поварен. соль	1	0°	−18°	Хлорист. кальцій	3	0°	−33°
Снѣгъ	1			Снѣгъ	2		
				Хлорист. кальцій	2	0°	−42°
				Снѣгъ	1		

НТБ ДНУЗТ

D. Измѣненіе строенія тѣлъ отъ теплоты.

a. Температура плавленія или отвердѣванія различныхъ тѣлъ

подъ давленіемъ 760 mm ртутнаго столба.

Тѣло.	Градусы.	Тѣло.	Градусы.
Иридій	1950	Висмут. припой*)	94—128
Платина	1775	Каучукъ	125
Свароч. желѣзо	1500—1600	Сѣра	115
Никкель	1400—1500	Натрій	96
Литое желѣзо	1350—1450	Желтый воскъ	64
Сталь	1300—1400	Калій	62
Шлаки домен. печей.	1300—1430	Парафинъ	54
Чугунъ сѣрый	1200	Спермацетъ	49
„ бѣлый	1100	Стеарипъ	43—49
Стекло безъ свинца.	1200	Фосфоръ	44
съ содерж. свинца	1000	Вода	0
Красная мѣдь.	1054	Морская вода	— 2,5
Золото	1045	Рѣпное масло	— 3,5
Желтая мѣдь	1015	Скипидаръ	— 10
Эмалевыя краски	964	Растворъ повар. соли насыщ.	— 18
Серебро	954	Льняное масло	— 20
Дельта металлъ	950	Ртуть	— 40
Бронза	900	Растворъ хлорист. кальція насыщ.	— 40
Алюминій	600	Сѣрнистая кислота.	— 76
Сурьма	432	Жидкая углекислота.	— 78
Цинкъ	412	Амміакъ	— 78,8
Свинецъ	326	Алкоголь (абсол.)	—100
Кадмій.	315	Сѣрнистый углеродъ	—112,8
Висмутъ	260	Эфиръ	—117,6
Олово	230		
Мягкій припой*)	135—200		

*) См. отдѣлъ VIII, матеріалы. Относительно температуры плавленія **сплавовъ надмія** см. Glas. Ann. 1890, II, стр. 88. Относительно температуры замерзанія водяного **глицерина** и **алкоголя** см. отдѣлъ VI, гидравлическія подъемныя машины.

НТБ ДНУЗТ

b. Температуры кипѣнія.

1. Температуры кипѣнія жидкостей при давленіи 760 mm ртутнаго столба.

Жидкость.	Градусы.	Жидкость.	Градусы.
Олово, свинецъ. .	1450—1600	Растворъ повар. соли (насыщенный). .	108
Сѣра .	448	Морская вода .	103
Ртуть. .	357	Вода .	100
Сѣрная кислота (уд. вѣсъ 1,85) . . .	325	Бензинъ. . .	90—110
Жиры. .	300—325	Горное масло (нефть)	80
Жирныя масла .	310—320	Алкоголь (абсол.) .	78,5
Льняное масло. .	316	Древесный спиртъ .	65,5
Парафинъ .	300	Хлороформъ .	61
Фосфоръ . .	290	Сѣроуглеродъ . . .	46
Нафталинъ . .	218	Сѣрная кислота, безводная .	46
Растворъ хлористаго кальція (насыщ.) .	180	Эфиръ. .	35
Терпентинов. масло.	160	Сѣрнистая кислота .	—10
Керосинъ (очищ.) . .	150	Амміакъ .	—33
Соляная кислота (уд. вѣсъ 1,52). .		Углекислота .	—78

Углеродъ, по Віолле, испаряется при 2500° (температура Вольтовой дуги).

2. Температуры кипѣнія воды при различныхъ высотахъ барометра.

Стояніе барометра въ mm.	Точка кипѣнія, градусы.	Стояніе барометра въ mm.	Точка кипѣнія, градусы.	Стояніе барометра въ mm.	Точка кипѣнія, градусы.
725,35	98,7	746,50	99,5	768,20	100,3
727,96	98,8	749,18	99,6	770,95	100,4
730,58	98,9	751,87	99,7	773,73	100,5
733,21	99,0	754,57	99,8	776,50	100,6
735,85	99,1	757,28	99,9	779,26	100,7
738,50	99,2	760,00	100,0	782,04	100,8
741,16	99,3	762,73	100,1	784,83	100,9
743,83	99,4	765,47	100,2	787,63	101,0

c. Теплота плавленія.

Теплотой плавленія твердаго тѣла наз. то количество единицъ теплоты, которое расходуется (скрывается) на то, чтобы 1 kg это-

НТБ ДНУЗТ

го тѣла привести изъ твердаго состоянія въ жидкое безъ возвышенія температуры этого тѣла. Это же количество теплоты дѣлается свободнымъ при новомъ отвердѣваніи тѣла.

Таблица теплоты плавленія различныхъ тѣлъ.

Свинецъ	5,4	Фосфоръ.....	5,0	Азотнок. натръ..	63,0
Кадмій...	13,6	Платина... .	27,2	Сѣра	9,4
Хлор. кальцій...	40,7	Ртуть..... . .	2,8	Серебро..... ..	24,7
Ледъ (вода).....	80,0	Чугунъ сѣрый ..	23	Висмутъ	12,6
Доменные шлаки	50	„ бѣлый..	33	Цинкъ.	28,1
Никкель.....	4,6	Азотнок. кали ..	47,4	Олово .	14,6

d. Теплота испаренія.

Теплотою испаренія (r) жидкости назыв. то количество единицъ теплоты, которое расходуется (дѣлается скрытымъ) на то, чтобы 1 kg этой жидкости подъ (постояннымъ) наружнимъ давленіемъ привести въ паръ той же температуры. То же количество теплоты снова выдѣляется при сгущеніи пара въ жидкость.

Теплота испаренія (r) зависитъ отъ температуры (t), при которой происходитъ испареніе.

Напр., для **водяного пара** имѣемъ по Реньо:

$r = 606{,}5 - 0{,}695\,t - 0{,}000\,02\,t^2 - 0{,}000\,000\,3\,t^3$ ед. тепл. на kg,

приблизительно, по Уатту: $r = 540$ ед. теплоты на 1 kg.

Таблицу значеній $r = \varrho + A\,p\,u$ для водяного пара см. стр. 286 и слѣд.

E. Горѣніе, теплопроизводительность и пароироизводительность.

100 вѣс. ч. атмосф. воздуха содержатъ въ себѣ: 23,58 O и 76,42 N.

100 ед. объема атмосф. воздуха содержатъ: 21,33 O и 78,67 N.

Въ тѣхъ же 100 ед. объема воздуха заключаются 0,8% объема водяного пара и около 0,041% объема углекислоты CO_2.

По новѣйшимъ опытамъ 100 вѣсов. част. (соотв. 100 ед. объема) сухого воздуха, освобожденнаго отъ CO_2, содержатъ 23,2 вѣс. ч. (21,00 ед. объема) **O**, 75,6 вѣс. ч. (78,06 ед. об.) **N** и 1,2 вѣс. ч. (0,94 ед. об.) **аргона**.—По Leduc'y, для широты Парижа, при температурѣ 0° и давленіи въ 760 mm ртут. столба вѣсъ 1 литра O = 1,4293 gr, 1 литра N = 1,2507 gr и 1 литра аргона = 1,780 gr.

Свободный водородъ (H) горючаго матеріала непосредственно соединяется при **полномъ горѣніи** съ углеродомъ (C), причемъ образуются или легкіе углеводороды (CH_4) или тяжелые углеводороды (C_2H_4); оба эти соединенія горятъ легко, соединяясь съ кислородомъ воздуха въ CO_2 и H_2O. Вода, заключающаяся въ горючемъ матеріалѣ, разлагается: водородъ соединяется съ углеродомъ, образуя углеводороды, и O соединяется съ C въ CO; оба газа сгораютъ, соединяясь съ кислородомъ воздуха въ CO_2 и H_2O.

НТБ ДНУЗТ

Неполное горѣніе происходитъ тогда, когда горючіе газы уходятъ несгорѣвшими.

Въ явленіяхъ, имѣющихъ мѣсто при горѣніи, соблюдается законъ:

Количество теплоты, которое освобождается при соединеніи двухъ тѣлъ, требуется и при разложеніи тѣхъ же тѣлъ.

Въ 100 частяхъ по вѣсу:

H_2O содержится 11,14 вѣсов. проц. H и 88,86 вѣсов. проц. O,
CO_2 „ 27,27 „ „ C и 72,73 „ „ O,
CO „ 42,86 „ „ C и 57,14 „ „ O.

CO_2 въ соединеніи съ горящимъ C образуетъ CO ($CO_2 + C = 2CO$). Количество теплоты, развивающееся при сгораніи C въ CO и затѣмъ CO въ CO_2, или C непосредственно въ CO_2, одинаково.

Испарительною способностью горючаго матеріала наз. то количество воды опредѣленной температуры въ kg, которое можетъ превратить 1 kg горючаго матеріала въ паръ опредѣленнаго давленія.

Абсолютною теплопроизводительностью (абсолютнымъ тепловымъ эффектомъ) p горючаго матеріала называютъ то количество единицъ теплоты (калорій), которое развивается при полномъ сгораніи единицы вѣса (1 kg) этого матеріала.

Если въ одномъ kg горючаго матеріала содержится c kg углерода, h kg водорода, s kg сѣры, a kg кислорода и w kg гигроскопической воды, и если принять, что вода въ продуктахъ горѣнія уходитъ въ видѣ пара температурой 20^0, то имѣемъ приблизительно:

$$p = 8100\,c + 29\,000\,(h - {}^1/_8\,a) + 2500\,s - 600\,w \text{ въ ед. тепл.}$$

Для сгоранія 1 kg горючаго матеріала требуется теоретическое **количество воздуха** L съ 21% объемнаго содержанія кислорода:

$$L = \frac{({}^8/_3\,c + 8\,h + s - a)\,100}{1{,}293 \cdot 1{,}1056 \cdot 21} = 3{,}33\,(2{,}667\,c + 8\,h + s - a) \text{ въ cbm.}$$

Если анализъ газовъ дастъ k объемныхъ процентовъ углекислоты, $o\%$ кислорода и $n\%$ азота, то отношеніе необходимаго количества воздуха къ теоретическому $v : 1$, и слѣд.:

$$v = \frac{n}{n - \frac{79}{21}\,o} \qquad v = \frac{21}{21 - 79\,\frac{o}{n}}.$$

Количество газовъ G **при сгораніи.** 1 kg топлива даетъ при сгораніи $1{,}854\,c = K$ cbm углекислоты, затѣмъ $K\,(o : k) = O$ cbm кислорода и $K\,(n : k) = N$ cbm азота — все отнесено къ 0° и 760 mm ртутнаго столба. Количество водяного пара W, содержащагося въ горючихъ газахъ, опредѣляется по содержанію: воды въ топливѣ (w), воды образующейся при сгораніи водорода ($9\,h$) и воды заключающейся въ воздухѣ (для сгоранія). 1 kg топлива даетъ такимъ образомъ:

НТБ ДНУЗТ

$$G = 3{,}667\,c + 1{,}430\,O + 1{,}257\,N + W \text{ въ kg},$$

$$G = K\left(1 + \frac{o+n}{k}\right) + \frac{W}{0{,}805} \text{ cbm при } 0^0 \text{ и } 760 \text{ mm ртутнаго столба.}$$

Сгораніе каменнаго угля *).

Химическій составъ въ объемн. проц. C	H	O	S	H_2O	Зола.	v	vL cbm	k Объем. проц.	G cbm	i %
80	4,2	5	0,8	4	6	1	7,82	18,8	10,4	4,62
Хорошій уголь.						1,5	11,7	12,4	15,8	6,74
$p = 7500$ калор.						2	15,6	9,36	21,1	8,86
						3	23,5	6,18	31,8	13,1
						4	31,3	4,62	42,5	17,3
70	4,3	8	0,7	7	10	1	6,86	18,7	9,81	4,65
Средній уголь.						1,5	10,3	12,4	14,5	6,76
$p = 6600$ калор.						2	13,7	9,23	19,2	8,83
						3	20,6	6,12	27,9	13,1
						4	27,4	4,58	37,2	17,3
50	4,5		0,5	15	17	1	4,96	18,2	7,41	4,72
Плохой уголь.						1,5	7,44	12,0	10,8	6,81
$p = 4800$ калор.						2	9,92	8,97	14,2	8,93
						3	14,9	5,95	21,0	13,1
						4	19,8	4,45	27,7	17,3

Приведенная таблица содержитъ средній составъ трехъ различныхъ сортовъ каменнаго угля и ихъ теплопроизводительности p. Сгораніе происходитъ при v-кратномъ теоретическомъ количествѣ воздуха L, т. е. 1 kg угля требуетъ vL cbm воздуха температурой 0^0 и 760 mm ртутнаго столба; 3% угля остаются несгорѣвшими. При этомъ получается k объемн. проц. углекислоты и общее количество G cbm горючихъ газовъ (оба при 100^0). На каждые 100^0 температуры горючихъ газовъ i% отъ теплопроизводительности p горючаго матеріала уходитъ непроизводительно въ дымовую трубу.

Температура сгоранія T (пирометрическій эффектъ) горючаго матеріала есть температура (въ град.), которая получается при полномъ сгораніи этого матеріала.

Если въ 1 kg горючаго матеріала содержится c kg углерода, h kg водорода, w kg химически соединенной воды и A kg золы, то (въ предположеніи начальной температуры горючаго матеріала и воздуха въ 0^0, постояннаго давленія въ 760 mm ртут. столба и что притекаетъ лишь точно необходимое для полнаго сгоранія

*) По E. Bode, Westentaschenbuch; Essen, G. D. Baedeker.

НТБ ДНУЗТ

количество воздуха L и весь углеродъ сгораетъ въ CO_2) температура сгоранія будетъ въ градусахъ:

$$T = \frac{2785\,c + 10\,200\,h - 186\,w}{c + 3{,}65\,h + 0{,}16\,w + 0{,}07\,A}.$$

Далѣе имѣемъ теоретически, если

C сгораетъ въ O въ	CO:	$T = 10015^0$,	въ воздухѣ:	$T = 2716^0$
CO „ „ „	CO_2:	$T = 6950^0$,	„ „	$T = 2967^0$.
H „ „ „	H_2O:	$T = 6744^0$,	„ „	$T = 2694^0$

Полное сгораніе 1 kg различнаго рода топлива *).

Топливо.	Средній составъ въ вѣсов. %				Абсолют. теплопроводительность. p	Пирометр. теплопроизводительность. T	Теоретическ. колич. воздуха при 0° и 760 mm, необходимое для сжиганія одного kg топлива. L		Количество газовъ, развиваемыхъ при сгораніи 1 kg топлива, отнесенное къ давленію 760 mm и температурѣ 0°. G	
	C	H	H_2O	Зола.	един. тепл.	град.	kg	cbm	cbm	kg
Сухія дрова...	39,6	—	59,4	1	2820	2020	4,48	3,466	4,201	5,47
Сухой торфъ..	42,0	1,4	51,6	5	3550	2180	5,23	4,044	4,759	6,18
Волокнистый бурый уголь.	44,4	0,9	47,2	8	3600	2225	5,33	4,123	4,755	6,25
Землистый бурый уголь ..	50,4	1,8	37,8	10	4450	2380	6,32	4,884	5,449	7,22
Раковистый бурый уголь ..	57,0	2,8	35,2	5	5350	2470	7,40	5,724	6,313	8,35
Уголь, возстан. металлы.....	70,4	3,1	23,5	3	6600	2605	9,02	6,977	7,435	10,0
Спекающійся уголь.....	76,6	4,1	16,3	3	7500	2670	10,1	7,782	8,206	11,1
Мелк. уг. (пес.).	79,6	4,1	13,3	3	7760	2690	10,4	8,045	8,431	11,4
Антрацитъ....	87,7	3,1	7,2	2	8110	2735	11,0	8,491	8,744	12,0
Коксъ.....	92,0	—	—	5	7430	2775	9,62	7,441	8,043	10,6
Древесн. уголь.	88,0	2,0	8,0	2	7750	2110	10,4	8,016	8,429	11,4
Свѣтил. газъ**).	—	—	—	—	13745	2390	16,0	12,4	13,60	17,0
Нефть (уд. вѣсъ 0,882)	86,0	0,140	—	—	—	—	—	—	—	—

*) По Гарману. — Величины p для керосина см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 401 и 590.

**)Уд. вѣса 0,38 и состава въ % вѣсов. = 4 C_2H_4, 51 CH_4, 42 H, 3 CO.

НТБ ДНУЗТ

Для различныхъ родовъ топлива необходимъ (по Пекле) слѣдующій **теоретическій вѣсъ воздуха** въ kg на 1 kg топлива.

Совершенно сухія дрова	. $L = 6{,}07$ (12,14)
Дрова полусухія (съ 20% воды).	. $L = 4{,}65$ (9,30)
Древесный уголь .	. $L = 10{,}30$ (20,60)
Вполнѣ сухой торфъ	. $L = 7{,}29$ (14,58)
Обыкновенный торфъ (съ 20% воды)	. $L = 5{,}83$ (11,66)
Торфяной уголь (20% золы). .	. $L = 9{,}18$ (18,36)
Средній каменный уголь	. $L = 10{,}8$ (21,6)
Коксъ (съ 15% золы)	. $L = 9{,}7$ (19,4)

Цифры въ скобкахъ означаютъ количество воздуха, **принимаемое на практикѣ** = около **двойного** теоретическаго ($2\,L$), такъ какъ въ противномъ случаѣ нѣтъ настоящаго перемѣшиванія воздуха съ продуктами горѣнія.

При ограниченномъ доступѣ воздуха неполное горѣніе дастъ менѣе теплоты, но болѣе высокую температуру; при полномъ горѣніи съ такимъ же объемомъ воздуха количество теплоты больше при низшей температурѣ..

Таблица абсолютной теплопроизводительности p.

1 kg сжигаемаго тѣла даетъ при полномъ сгораніи съ кислородомъ:

Сжигаемыя тѣла.	Единицы теплоты.	Сжигаемыя тѣла.	Единицы теплоты.
Эфиръ	9028	Красная мѣдь (Cu въ Cu O)	684
Алкоголь	7184	Свѣтильный газъ.	11000 до 12000
Сурьма . . .	961	Керосинъ	10500 до 11000
Деревянное масло .	11200	Фосфоръ (P въ P_2O_5).	5953
Свинецъ . .	266	Масло сурѣнное ..	9300
Желѣзо въ Fe O	1258	Сѣра (S въ SO_2). .	2500
„ „ Fe_3O_4 .	1677	Сѣроуглеродъ ..	3400
„ „ Fe_2O_3 .	1887	Сѣроводородъ	2741
Болотный газъ CH_4 въ $CO_2 + 2H_2O$ (жидк.) .	13346	Кремній (Si въ SiO_2). .	7830
CH_4 въ $CO_2 + 2H_2O$ (газъ).....	11996	Сало .	8370
		Скипидаръ .	10852
		Воскъ	9000
Этиленъ C_2H_4 въ $2CO_2 +$ $+ 2H_2O$ (жидк.).....	11958	Водородъ H въ H_2O (жид.).	34180
C_2H_4 въ $2CO_2 + 2H_2O$ (газъ)..... .	11186	H въ H_2O (газъ)..... ..	28780
		Цинкъ (Zn въ ZnO).....	1301
Древесный спиртъ.	5307	Нефт. остатки, уд. в. 0,928	10790
C(уголь древесный) въ CO_2	8080	Тяж. бак. нефть, уд. в. 0,938	10800
C „ „ „ CO	2473	Легк. бак. нефть, уд. в. 0,884	11460
CO (окись угл.) въ CO_2	2403		

НТБ ДНУЗТ

G. Механическая теорія теплоты.

1. Въ основу механической теоріи теплоты положенъ слѣдующій эмпирическій законъ:

теплота и работа эквивалентны,

т. е. во всѣхъ случаяхъ, когда теплота производитъ работу, происходитъ расходъ теплоты, пропорціональный произведенной работѣ, и наоборотъ — воспроизведеніемъ той же работы можетъ быть получено обратно то же количество теплоты.

Механическая работа, производимая при израсходованіи одной единицы теплоты (см. стр. 317), наз. „работой, эквивалентной единицѣ теплоты“, или механическимъ эквивалентомъ теплоты, и обозначается черезъ $1 : A$; обратно, величина A есть теплота, эквивалентная единицѣ работы. Имѣемъ:

$$1 : A = 428 \text{ килограммометр. для ед. тепл.}^{*})$$

2. Пусть:

v (удѣльный) объемъ 1 kg тѣла въ cbm,

p (удѣльное) давленіе, производимое окружающей средой, нормально къ поверхности тѣла, въ kg/qm,

c^v теплоемкость тѣла при постоянномъ объемѣ,

c_p „ „ „ „ давленіи (см. стр. 318),

n отношеніе $c_p : c_v$ (см. стр. 276 и 318),

t температура въ градусахъ, $T = a + t = 273 + t$ абсолютная температура,

U внутренняя работа, заключающаяся въ 1 kg тѣла, въ mkg,

AU соотвѣтствующая внутренняя теплота (въ ед. тепл. на 1 kg);

кромѣ того: $X = \frac{\partial U}{\partial p}$; $Y = \frac{\partial U}{\partial v} + p$,

Q колич. теплоты (въ ед. тепл. на 1 kg), которое нужно прибавить къ 1 kg тѣла для измѣненія его состоянія,

$L = \int p . dv$ внѣшняя работа (въ mkg на 1 kg) при измѣненіи состоянія тѣла.

При увеличеніи v на dv и p на dp количество теплоты, необходимое для измѣненія состоянія тѣла, равно приращенію внутренней теплоты плюсъ теплота, соотвѣтствующая произведенной внѣшней работѣ:

$$dQ = A(dU + p . dv).$$

Главныя уравненія механической теоріи теплоты:

1) $$\frac{\partial Y}{\partial p} - \frac{\partial X}{\partial v} = 1;$$

*) Имѣющіяся въ литературѣ данныя для 1 A заключаются въ предѣлахъ отъ 423,5 до 436 килограммометровъ на ед. теплоты.

НТБ ДНУЗТ

2) $$T = Y\frac{\partial T}{\partial p} - X\frac{\partial T}{\partial v};$$

3) $$\begin{cases} dQ = A(X.dp + Y.dv). \\ dQ = \dfrac{A}{\dfrac{\partial T}{\partial p}}\left[X.dT + T.dv\right] = \dfrac{A}{\dfrac{\partial T}{\partial v}}\left[Y.dT - T.dp\right]. \end{cases}$$

Вводя теплоемкости c_v и c_p, находимъ:

$$X = \frac{c_v}{A}\frac{\partial T}{\partial p} \text{ и } Y = \frac{c_p}{A}\frac{\partial T}{\partial v};$$

отсюда находимъ слѣдующія формы трехъ главныхъ уравненій:

1 а) $$A = \frac{\partial\left[c_p\dfrac{\partial T}{\partial v}\right]}{\partial p}\;\frac{\partial\left[c_v\dfrac{\partial T}{\partial p}\right]}{\partial v};$$

2 а) $$AT = (c_p - c_r)\frac{\partial T}{\partial p}\frac{\partial T}{\partial v};$$

3 а) $$\begin{cases} dQ = c_v\dfrac{\partial T}{\partial p}\,dp + c_p\dfrac{\partial T}{\partial v}dv, \\ dQ = c_v.dT + \dfrac{AT}{\dfrac{\partial T}{\partial p}}dv = c_p.dT - \dfrac{AT}{\dfrac{\partial T}{\partial v}}dp. \end{cases}$$

Примѣненіе этихъ уравненій къ газамъ и парамъ составляетъ предметъ „механики газовъ и паровъ“, см. стр. 274 и слѣд.

3. Каждое измѣненіе состоянія тѣла (объясненіе см. стр. 285) выражается уравненіемъ, связывающимъ давленіе и объемъ тѣла. Уравненіе это въ прямоугольной системѣ координатъ представляетъ **кривую измѣненія состоянія.**

Измѣненіе состоянія или **процессъ** наз. **обратимымъ**, т.-е. онъ можетъ происходить и въ обратномъ направленіи, въ томъ случаѣ, когда при взаимномъ переходѣ работы деформаціи въ теплоту и обратно, давленія и температуры въ каждый данный моментъ могутъ быть приняты одинаковыми для всѣхъ точекъ тѣла, т. е. когда наружнее давленіе безконечно мало отличается отъ давленія тѣла.

Необратимые процессы имѣютъ мѣсто, напр., при переходѣ работы второстепенныхъ сопротивленій движенію въ теплоту, равно какъ и при непосредственномъ переходѣ теплоты изъ одного тѣла, имѣющаго болѣе высокую температуру, въ другое тѣло, имѣющее болѣе низкую температуру, черезъ теплопроводимость или лучеиспусканіе.

Полнымъ круговымъ процессомъ называется такое измѣненіе состоянія тѣла, при которомъ послѣднее, претерпѣвъ нѣкоторыя измѣненія, снова возвращается въ свое первоначальное состояніе. Въ томъ случаѣ, когда внѣшнее давленіе весьма мало отличается

НТБ ДНУЗТ

отъ давленія тѣла, послѣднее можетъ быть подвергнуто тѣмъ же измѣненіямъ въ обратномъ порядкѣ. Такое измѣненіе состоянія тѣла наз. полнымъ обратимымъ круговымъ процессомъ.

Механическая работа, производимая 1 kg тѣла при любомъ измѣненіи его состоянія, равна $L = \int p.dv$ и представляетъ собою площадь F, ограниченную кривою, которая выражаетъ посредствомъ величинъ p и v, въ прямоугольныхъ координатахъ, законъ измѣненія состоянія тѣла.

Для полнаго обратимаго кругового процесса имѣемъ:

$$F = \int \frac{dQ}{A} \qquad \int \frac{dQ}{AT} = 0.$$

НТБ ДНУЗТ

ЧЕТВЕРТЫЙ ОТДѢЛЪ.

СОПРОТИВЛЕНІЕ МАТЕРІАЛОВЪ.

Въ этомъ отдѣлѣ всѣ **силы** выражены въ **kg**, всѣ мѣры **длины** въ **cm**, всѣ **напряженія** въ **kg/qcm** (**килогр. на кв. cm**).

I. ОБЩІЕ ЗАКОНЫ и ОПЫТНЫЯ ДАННЫЯ *).

A. Объясненія и общіе законы.

Измѣненіе формы (упругое), пріобрѣтаемое элементомъ тѣла отъ дѣйствія внѣшнихъ силъ, состоитъ въ общемъ изъ **измѣненій длины** и **угловыхъ измѣненій**. Первыя соотвѣтствуютъ **нормальнымъ напряженіямъ** σ, а вторыя—**сдвигающимъ напряженіямъ** τ въ плоскостяхъ этого элемента.

a. Удлиненія и нормальныя напряженія.

1. Для прямого цилиндрическаго бруса длиною l и діаметромъ d, подверженнаго дѣйствію двухъ равныхъ вытягивающихъ силъ P, дѣйствующихъ въ противоположныхъ направленіяхъ по направленію оси бруса, имѣемъ:

1) увеличеніе длины l на λ, т.-е. до $l + \lambda$,
2) уменьшеніе діаметра d на δ, т.-е. до $d - \delta$.

Отношеніе $\varepsilon = \dfrac{\text{удлиненіе}}{\text{первонач. длина}} = \dfrac{\lambda}{l}$ назыв. **относительнымъ удлиненіемъ**.

Отношеніе $\varepsilon_q = \dfrac{\delta}{d} = \dfrac{\varepsilon}{m}$ наз. **поперечнымъ сжатіемъ**.

Значеніе $m = \varepsilon : \varepsilon_q$—отношенія удлиненія ε къ поперечному сжатію ε_q зависитъ отъ матеріала бруса и находится для вполнѣ однородныхъ (изотропныхъ) тѣлъ между 3 и 4. Для металловъ, по К. Баху: $m = {}^{10}/_{3}$.

*) По К. Баху. Die Maschinen-Elemente, 6 изд., Штутгартъ, 1897.

НТБ ДНУЗТ

2. Удлиненіе бруса $\varepsilon = \lambda : l$ вызывается дѣйствіемъ **вытягивающей силы** P или отъ дѣйствія **вытягивающаго** (нормальнаго) **напряженія** $\sigma = P : F$, гдѣ F сѣченіе бруса въ qcm.

Отношеніе: $$\frac{\text{удлиненіе}}{\text{напряженіе}} = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \alpha = \frac{1}{E}$$

называется **коэффиціентомъ растяженія** (въ qcm/kg); обратная величина этого коэффиціента $E = 1 : \alpha$ называется **модулемъ упругости** (въ kg/qcm).

Имѣемъ: $$\frac{\lambda}{l} = \frac{\sigma}{E}, \qquad \lambda = \alpha\, l\, \sigma,$$

далѣе: $$\alpha = \frac{F\lambda}{Pl} \qquad E = \frac{Pl}{F\lambda}.$$

Коэффиціентъ удлиненія α есть удлиненіе (въ cm) бруса длиною въ 1 cm и сѣченіемъ въ 1 qcm отъ дѣйствія вытягивающей силы въ 1 kg, или удлиненіе отъ напряженія 1 kg/qcm на длинѣ 1 cm *).

Модуль упругости E есть напряженіе въ kg/qcm, при которомъ брусъ, подверженный вытягивающему усилію, удлиняется на всю свою первоначальную длину, если предположить, что подобное измѣненіе формы (при постоянномъ α), говоря вообще, возможно.

Въ общемъ α и E зависятъ отъ напряженія σ. Для нѣкоторыхъ тѣлъ (особенно для желѣза и стали) величины эти, однако, въ извѣстныхъ предѣлахъ напряженій почти не измѣняются, т.-е. удлиненія ε пропорціональны напряженіямъ σ ($\varepsilon = \alpha\sigma$, законъ Гука). **Напряженіе** σ_p въ kg/qcm, до котораго эта пропорціональность соблюдается, наз. **предѣломъ пропорціональности.**

Большинство строительныхъ матеріаловъ не обладаетъ предѣлами пропорціональности. Для нихъ, по Баху и Шюле, общій законъ упругихъ удлиненій **): $\varepsilon = \alpha\sigma^n$.

Здѣсь α и n постоянны; для чугуна, красной мѣди, цинковыхъ отливокъ, гранита, песчаника, цемента, цементнаго раствора и бетона $n > 1$; для кожи и пеньковыхъ канатовъ $n < 1$.

Если α_σ означаетъ перемѣнный коэффиціентъ удлиненія для напряженія σ, то:

$$\varepsilon = \alpha\sigma^n = \int_0^\sigma \alpha_\sigma \,.\, d\sigma, \text{ и слѣд. } \alpha n \sigma^{n-1} \,.\, d\sigma = \alpha_\sigma \,.\, d\sigma,$$

откуда: $$\alpha_\sigma = (\alpha n)\, \sigma^{n-1}.$$

Въ нижеслѣдующемъ принято, что α и E не измѣняются. Въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ это условіе не соблюдается, необходимы поправки.

---

*) Коэффиціентъ удлиненія α соотвѣтствуетъ коэффиціенту расширенія отъ теплоты α (см. стр. 314) послѣдній означаетъ увеличеніе единицы длины тѣла для 1^0 измѣненія температуры. Коэффиціентъ удлиненія въ общемъ зависитъ отъ напряженія, коэффиціентъ расширенія отъ теплоты зависитъ отъ температуры. Напряженіе и температура понятія подобныя.

**) См. C. Bach, Masch.-El., 6 изд., стр. 686; Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 248.

НТБ ДНУЗТ

То напряженіе σ_f (въ kg/qcm), которое выше σ_p и при которомъ удлиненія у нѣкоторыхъ тѣлъ становятся особенно быстрыми и остающимися, будемъ называть **предѣльнымъ напряженіемъ.**

Временнымъ сопротивленіемъ при растяженіи K_z (въ kg/qcm) называется то напряженіе, которое, при дальнѣйшемъ увеличеніи нагрузки, производитъ разрывъ бруса. Для разорваннаго бруса (первоначальной длины l и сѣченія F) необходимо установить длину l_b послѣ разрыва и сѣченіе F_b въ мѣстѣ разрыва.

Тогда $\varphi = 100\,\frac{l_b - l}{l}$ называютъ удлиненіемъ,

$\psi = 100\,\frac{F - F_b}{F}$ поперечнымъ сжатіемъ

бруса въ процентахъ первоначальной длины и поперечнаго сѣченія. Величина ψ есть мѣра тягучести матеріала.

3. Если брусъ, удлиненный отъ дѣйствія нагрузки на величину λ, будетъ разгруженъ (нагрузка снята), то полученное удлиненіе λ не теряется вполнѣ, а въ брусѣ остается нѣкоторое остаточное удлиненіе λ_2; $\lambda_1 = \lambda - \lambda_2$ величина т. п. **упругаго удлиненія.**

Для незначительныхъ нагрузокъ величины λ_2 равны нулю или ничтожны. Напряженіе σ_e (въ kg/qcm), при которомъ остающіяся измѣненія еще не имѣютъ мѣста, наз. **предѣломъ упругости.**

У металловъ, вслѣдствіе проковки, прокатки, волоченія (у стали вслѣдствіе закалки, а у желѣза при уменьшенномъ содержаніи P и C), предѣлъ упругости σ_e увеличивается, величина K_z также въ незначител. степени увеличивается, а степень тягучести (остающаяся деформація λ_2) уменьшается. Отжиганіе вызываетъ обратное дѣйствіе.

Упругость матеріала тѣмъ больше, чѣмъ больше упругое удлиненіе λ_1 сравнительно съ общимъ удлиненіемъ λ. Отношеніе $\lambda_1 : \lambda$ (по Гартигу) служитъ мѣрою для **величины упругости** (при опредѣленной нагрузкѣ). Для полной упругости $\lambda_1 : \lambda = 1$, въ иныхъ случаяхъ это отношеніе—правильная дробь.

4. Деформація, вызываемая дѣйствіемъ нагрузки, требуетъ опредѣленнаго времени, которое зависитъ отъ свойствъ матеріала.

5. Предыдущія разсужденія относятся и до явленій сжатія бруса, если соотвѣтственно измѣнить направленіе дѣйствующихъ силъ.

Сжимающее напряженіе σ вызываетъ укороченіе бруса длиною l, равное $\varepsilon = \lambda \quad l$, увеличеніе поперечнаго сѣченія (выпираніе сѣченія) $\varepsilon_q = \varepsilon : m$. Вмѣсто предѣльнаго растяженія σ_f, мы имѣемъ дѣло съ **предѣльнымъ выдавливаніемъ** σ_f, при которомъ матеріалъ выдавливается (выпирается) въ бока, не подвергаясь разрушенію.

Временное сопротивленіе для сжатія K (въ kg/qcm) представляетъ то напряженіе, при которомъ сжатое тѣло разрушается; опо уменьшается съ увеличеніемъ длины бруса.

6. Механическая работа при удлиненіи. Если брусъ подвергается дѣйствію растягивающей или сжимающей силы, постепенно увеличивающейся отъ нуля до P, причемъ въ нѣкоторомъ сѣченіи бруса F (въ qcm), удаленномъ отъ конца его на разстояніи x cm, вызы-

НТБ ДНУЗТ

вается нормальное напряженіе σ (въ kg/qcm), то для образующейся при этомъ деформаціи необходимо произвести механическую работу (въ cmkg):

$$A = \frac{1}{2E}\int_0^l \frac{P^2 . dx}{F} = \frac{1}{2E}\int_0^l \sigma^2 F . dx;$$

для призматическаго бруса объемомъ $Fl = V$ cem будемъ имѣть:

$$A = \frac{1}{2E}\sigma^2 F l = \frac{1}{2E}\sigma^2 V = \frac{P\sigma l}{2E} = \frac{1}{2} P\lambda,$$

если λ удлиненіе или укороченіе бруса.

Если, какъ указано въ **3.**, величина λ состоитъ изъ упругаго удлиненія λ_1 и остающагося λ_2, то, во Грасгофу, механическая работа удлиненія $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ для призматическаго бруса

$$A = P(^1/_2 \lambda_1 + \vartheta \lambda_2),$$

гдѣ ϑ—коэффиціентъ между 0,75 и 1.

b. Угловыя измѣненія и сдвигающія напряженія.

1. Если отъ дѣйствія внѣшней силы прямой уголъ между двумя взаимно-перпендикулярными плоскими элементами тѣла измѣняется на величину γ (измѣренную по дугѣ), то измѣненіе это γ также равно тому пути, на который произошло относительное перемѣщеніе двухъ взаимно-параллельныхъ плоскихъ элементовъ, отстоящихъ другъ отъ друга на единицу разстоянія. **Сдвиженіе** или угловое измѣненіе γ есть слѣдствіе **сдвигающихъ напряженій** τ, попарно вызываемыхъ въ обоихъ взаимно-перпендикулярныхъ плоскихъ элементахъ.

Отношеніе: $$\frac{\text{сдвиженіе}}{\text{сдвигающее напряженіе}} = \frac{\gamma}{\tau} = \beta = \frac{1}{G}$$

называется **коэффиціентомъ сдвиженія** (въ qcm/kg) и обратная его величина $G = 1 : \beta$ наз. **модулемъ скольженія** или модулемъ упругости при сдвиженіи (въ kg/qcm).

Коэффиціентъ сдвиженія β, слѣд., представляетъ тотъ путь въ cm, на который происходитъ относительно перемѣщеніе двухъ взаимно-параллельныхъ плоскихъ элементовъ тѣла, удаленныхъ другъ отъ друга на 1 cm, отъ дѣйствія сдвигающаго напряженія въ 1 kg/qcm, или тотъ уголъ (измѣренный по дугѣ), на который мѣняется первоначальный прямой уголъ между двумя взаимно-перпендикулярными элементами тѣла отъ дѣйствія сдвигающаго напряженія въ 1 kg/qcm.

2. Между коэффиціентомъ удлиненія α и коэффиціентомъ сдвиженія β, равно какъ и между модулемъ упругости E и модулемъ скольженія G, соблюдаются слѣдующія соотношенія:

$$\beta = \frac{2(m+1)}{m}\alpha \quad \text{и} \quad G = \frac{m}{2(m+1)}E$$

и, слѣд., для $m = ^{10}/_3$ (см. стр. 330):

$$\beta = 2{,}6\ \alpha \qquad G = ^5/_{13}\ E = 0{,}385\ E.$$

НТБ ДНУЗТ

3. Временное сопротивленіе сдвиженію K_s (въ kg/qcm) есть то **сдвигающее напряженіе**, которое производитъ отдѣленіе двухъ взаимно-сдвинутыхъ сѣченій даннаго тѣла.

τ_p (въ kg/qcm) сдвигающее напряженіе, соотвѣтствующее предѣлу пропорціональности (см. стр. 331).

4. Чисто практическое значеніе имѣютъ еще:

Временное сопротивленіе изгибу K_b (въ kg/qcm)—какъ нормальное напряженіе, производящее изломъ изгибаемаго тѣла, и **временное сопротивленіе скручиванію** K_d (въ kg/qcm)—какъ сдвигающее напряженіе, производящее изломъ скручиваемаго бруса.

c. Допускаемое напряженіе и степень надежности относительно излома.

Допускаемымъ напряженіемъ (k_z для растяженія, k для сжатія, k_b для изгиба, k_s для сдвиженія и k_d для скручиванія) называется то напряженіе въ kg/qcm, до котораго вполнѣ безопасно можетъ быть доведено данное тѣло, подверженное дѣйствію внѣшнихъ силъ, при различномъ способѣ дѣйствія этихъ силъ. Допускаемое напряженіе обыкновенно находится ниже предѣла пропорціональности и упругости. Дальнѣйшее см. стр. 333 и слѣд.

Степенью надежности по отношенію къ излому $\mathfrak{S}$ называется отношеніе временнаго сопротивленія къ допускаемому напряженію. Для растяженія степень надежности выражается $\mathfrak{S} = K_z : k_z$, для сжатія $\mathfrak{S} = K : k$ и т. д.

B. Коэффиціентъ упругости и сопротивленія.

Всѣ данныя выражены въ **kg** на **qcm**. Дальнѣйшія данныя о строительныхъ матеріалахъ см. VIII отд., строит. матеріалы.

a. Сталь и желѣзо.

(По К. Баху).

Сортъ желѣза.	Модуль упругости.	Модуль скольженія.	Предѣлъ пропорціональности.	Предѣльное напряженіе.	Временное сопротивленіе.	
					Растяженіе.	Сжатіе.
	$E = \frac{1}{\alpha}$	$G = \frac{1}{\beta}$	σ_p	σ_f	K_z	K
Сварочное желѣзо..... (вдоль волоконъ)	2000000	770000	1300 до 1700	2200 до 2800	3300 до 4000 [1]	Согласно σ_f.
Литое желѣзо.	2150000	830000	2000 до 2400	2500 до 3000	3400 до 4400	Согласно σ_f.

НТБ ДНУЗТ

Сортъ желѣза.	$E = \frac{1}{\alpha}$	$G = \frac{1}{\beta}$	σ_p	σ_f	K_z	K
Литая сталь. . .	2 200 000	850000	2500 до 5000 [2]	2800 и болѣе	4500 до 10000 [2]	Для мягкой согласно σ_f; для твердой $K \geqq K_z$.
Рессорн. сталь, некаленая.	2 200 000	850000	4000 и болѣе	—	7500 до 9000	—
каленая. .	2 200 000	850000	7500	—	8000 и бол.	—
Стальныя отливки.	2 150 000	830000	2000	Какъ литая сталь.	3500 до 7000 [3] и болѣе.	Какъ литая сталь.
Чугунъ	750 000 до 1 050 000	290000 до 400000	σ_p и σ_f нѣтъ. Для растяженія: $\varepsilon = \frac{1}{1\,140\,000}\sigma^{1,4}$; Для сжатія: $\varepsilon = \frac{1}{1\,140\,000}\sigma^{1,067}$.		1200 до 1800	7000 до 8000

1) Относится до **сварочнаго желѣза** параллельно ($\|$) волокнамъ; для сварочнаго желѣза перпендикулярно ($\perp$) къ волокнамъ имѣемъ:

$K_z = 2800$ до 3500.

2) **Никкелевая** сталь съ 5% никкеля: $\sigma_p = 4000$ до 5000, $K_z = 8500$.
Тоже „ „ 25% „ $\sigma_p = 3500$ до 6000, $K_z = 7000$ до 8000.

4) Отожженныя **стальныя отливки** Крупна:

Мартеновская сталь — $K_z = 4000$ до 4800. Тигельная сталь — $K_z = 4500$ до 7000.

Условія, которымъ долженъ удовлетворять матеріалъ въ отношеніи прочности, въ зависимости отъ способа употребленія его, см. VIII отд., строительные матеріалы.

Вліяніе температуры. По опытамъ Мартенса и Рау *) надъ **литымъ желѣзомъ**, для котораго

въ неотожженномъ состояніи: $K_z = 4100$, $\varphi = 26{,}9\%$, $\psi = 48{,}3\%$,
въ отожженномъ „ $K_z = 3850$, $\varphi = 30{,}4\%$, $\psi = 58{,}6\%$,

найдено для температуры между -20^0 и $+600^0$:

Температура . . . . . $t =$	-20^0	$+20^0$	100^0	200^0	300^0	400^0	500^0	600^0
Временное сопротивленіе . $K_z =$	4100	3850	3950	5100	4750	3300	1900	1070
Модуль упругости. . $E =$	2070	2070	2010	1950	1880	1790	1510	1340
Удлиненіе (%) . . . . . $\varphi =$	37	37	22	19	23	45	66	99
Поперечное сжатіе (%) . . $\psi =$	57	58	51	41	23	56	78	90,5

$K_{z\,min} = 3800$ при $t = 50^0$; $K_{z\,max} = 5150$ при $t = 240^0$. $\varphi_{min} = 19\%$ при $t = 160^0$.
$\psi_{min} = 23\%$ при $t = 280^0$ (**синій нагрѣвъ**).

*) См. Mitteilungen aus den Königl. Techn. Versuchs-Anstalten zu Berlin, 1890; вып. IV, стр. 159 и слѣд. Далѣе A. Ledebur, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, стр. 565 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

b. Красная мѣдь и ея сплавы.

(По К. Баху).

Сортъ металла.	Модуль упругости. $E = \frac{1}{\alpha}$	Предѣлъ пропорціональности. σ_p	Временное сопротивленіе растяженію. K_z	Удлиненіе. φ %	Поперечное сжатіе. ψ %
Листы красной мѣди прокатан. ..	1100000	200—400[1])	2000-2300[2])	38	45—50
Желтая мѣдь			1500		
Бронза . ..	900000	300	2000		
Пушечная бронза ..	1100000	300	3000		
„ уплотненная.	1100000	900	3200		
Фосфористая бронза.			4000		
Дельта металлъ, литье			3400—3700		
„ тверд. прокатан.	997000	2200 [3])	5880 [3])	12,3	17,4
„ прокован. . .		1800	3600		
Эрликон. бронза .. № A, прокованная.		2800	4400-5600[4])	15—25	

1) **Красная мѣдь.** σ_p можетъ быть путемъ послѣдовательнаго напряженія увеличено въ 2—3 раза. σ_e почти равно нулю.

2) **Красная мѣдь.** Временное сопротивленіе растяженію для прокованной мѣди $K_z = 3000$; для тянутой $K_z = 3150$; для электролитической $K_z = 3800$.

Временное сопротивленіе листовъ красной мѣди при высокихъ температурахъ равно:

при	50^0	100^0	150^0	200^0	250^0	285^0	367^0	451^0	556^0
только	98	95	91	85	79	75	66	51	33%

сопротивленія при 10^0.

3) **Металлъ-Дельта.** Кромѣ того, $\sigma_f = 3530$, σ_p (сдвигающее напряженіе у предѣла пропорціональности) $= 1030$, K_d (времен. сопротивл. скручиванію) $= 4070$.

Прокатанный и отожженный: $K_z = 4300$.

4) Сопротивленіе различныхъ сортовъ **бронзы** см. Centralbl. d. Bauverw. 1885, стр. 204.

e. Другіе металлы.

Алюминій,

литой $E = 675\,000$, $G = 260\,000$, $K_z = 1000 - 1200$, $\varphi = 3\%$;

прокатанный въ холод. состояніи или прокованный (безъ отжига): $K_z = 2300 - 2700$;

прокатанный въ холодн. состояніи или прокованный (съ отжигомъ): $K_z = 800 - 1000$.

Алюминіевая бронза съ 10% Al: $K_z = 6400$, $\varphi = 11\%$;
„ „ „ 5,5% Al: $K_z = 4400$, $\varphi = 64\%$;
Алюминіевая желтая мѣдь съ 3% Al: $K_z = 6000$, $\varphi = 7,5\%$;
„ „ „ 1% Al: $K_z = 4000$, $\varphi = 50\%$.

Магній: $K_z = 2320$; $K = 2720$; $K_b = 1600$; σ_p — нѣтъ.

Цинкъ, прокатанный, при 16^0: $E = 150\,000$; $K_z = 1900$; $K = 1000$.

Олово: $E = 400\,000$, $K_z = 350$.

НТБ ДНУЗТ

Свинецъ мягкій, катанный или литой: $E = 50\,000$, $K_z = 125$, $\sigma_f = 50$ до 150 (по К. Баху, смотря по высотѣ испытываемаго тѣла).

Свинецъ, твердый (гартблей): $K_z = 300$; $\sigma_f = 300$.

Стекло: $E = 700\,000$, $K_z = 250$. Для дутаго стекла $K_b = 375$, для сырого стекла $K_b = 200 + (1{,}5 - s)^2 . 160$, гдѣ s толщина стекла въ cm.

Бумага (въ проклеенныхъ слояхъ): $K = 1500$.

d. Дерева

(по Баушингеру и Тетмайеру).

Цифры прочнаго сопротивленія въ значительной мѣрѣ зависятъ отъ содержанія влаги въ деревѣ. Съ увеличеніемъ степени сырости прочность уменьшается въ значительной мѣрѣ. Лѣсъ старый, выдержанный, обладаетъ значительно большимъ сопротивленіемъ раздавливанію.

Способъ напряженія.	Содержаніе воды въ %.	Модуль упругости. E	Предѣлъ пропорціональности. σ_p	Временное сопротивленіе. K	Содержаніе воды въ %.	Модуль упругости. E	Предѣлъ пропорціональности. σ_p	Временное сопротивленіе. K
	Ель.				**Дубъ.**			
Растяженіе ‖	13	90000	—	790	—	108000	475	965
Сжатіе ‖	18	96000	155	280	—	103000	150	345
Изгибъ [1])....	23	108000	200	470	24	100000	215	600
Сдвиженіе [2])..	25	—	—	45	—	—	—	75
	Сосна.				**Букъ.**			
Растяженіе ‖	16	92000	—	750	—	180000	580	1340
Сжатіе ‖ ..	19	99000	150	245	—	169000	100	320
Изгибъ [1])....	29	111000	230	420	17	128000	240	670
Сдвиженіе [2])..	38	—	—	40	—	—	—	85

[1]) Сердцевина дерева посреднѣ сѣченія.
[2]) Радіальныя плоскости параллельны волокнамъ.

e. Камни *) и растворы.

(Сопротивленіе сжатію K см. ниже).

Матеріалъ.	Сопротивленіе по Баушингеру. Растяженіе.	Изгибъ.	Сдвиженіе.	Примѣчаніе.
Камни..	$K_z = {}^1/_{26}\,K$	$K_b = {}^1/_6\,K$	$K_s = {}^1/_{13}\,K$	—
Цементный растворъ..	$K_z = {}^1/_{10} - {}^1/_6\,K$	$K_b = {}^1/_4\,K$	$K_s = {}^1/_6\,K$	$K_{z\,\min} = 16$.
Известковый растворъ..	$K_z = {}^1/_8\,K$	—	—	—

*) Подробныя данныя относительно прочности естественныхъ камней см. Hugo Koch, Die natürlichen Bausteine Deutschlands; Berlin 1892.

НТБ ДНУЗТ

Матеріалъ.	Сжатіе. K	Матеріалъ.	Сжатіе. K
Гранитъ [1]) діоритъ сіенитъ	800—2000	Шлаки домен. нечей	1000—2500
Порфиръ	1000—2600	Кирпичъ: клинкеръ	300—800
Базальтъ	1000—3200	Кирпичъ: средняго обжига	200—300
Трахитъ	500—1000	Кирпичъ: слабаго обжига	150—200
Базальтовая лава	500	Кирпичная кладка	140
Граувакка	500—1500	Пористый кирпичъ	150
Угольный песчаникъ	500—1800	Цементъ безъ прим. песка	250—270
Мергельный песчаникъ	700—1800	1 объемъ портландскаго цемента + 1 объема песка	200
Бутовый и лещадный песчаникъ	300—1000	1 объемъ портландскаго цемента + 2 объема песка	180
Известнякъ	500—1500	1 объемъ портландскаго цемента + 3 объема песка	160
Цементный бетонъ	60—140	(послѣ 28 дней, изъ которыхъ 27 дней подъ водой)	
Искусственный песчаникъ	450	Хорошій известковый растворъ	40
Искусственный песчаникъ $K_z =$	47		

1) По Баху для мелкозернистаго синяго **гранита**

$$K = 1006;\ K_b = 84;\ K_s = 78,\ K_z = 45.$$

Модуль упругости камней зависитъ, по Баушингеру, въ высокой степени отъ напряженія; для **песчаника** получено:

при $\sigma = 0$ до 7 : $E = 68000$ } для сжатія; при $\sigma = 0$ до 3 $E = 56000$ } для растяженія.
„ $\sigma = 75$ „ 100 : $E = 10000$ „ $\sigma = 21$ „ 23 $E = 25000$

Для **гранита** по Баху:

$$\text{для растяженія } \epsilon = \frac{1}{240\,000}\,\sigma^{1,4};\quad \text{для сжатія } \epsilon = \frac{1}{300\,000}\,\sigma^{1,12}.$$

Модуль упругости **затвердѣвшихъ растворовъ** весьма различенъ и увеличивается съ увеличеніемъ времени затвердѣванія.

Гартигъ пашелъ для образчика насыщеннаго водой **портландскаго цемента** (безъ песка), затвердѣвшаго послѣ 7 дней (и сооотв. 430 дней): $E = 141000$ (и соотв. 318000). Для обыкновеннаго воздушнаго цементнаго раствора въ среднемъ получено $E = 257\,000$.

Для **бетона Монье** величина $E = 66000$. Для хорошаго цементнаго бетона (пропорцію см. стр. 343) величина E уменьшается отъ 320000 до 180000 съ увеличеніемъ нагрузки отъ 0 до 40 kg/qcm *). Для кладки изъ **клинкернаго кирпича** $E = 28000$.

f. Матеріалы для гибкихъ тѣлъ.

(См. стр. 231).

По опытамъ **Кармарша**, временное сопротивленіе разрыву **проволоки** зависитъ отъ ея діаметра. Если a и b постоянныя, величина которыхъ приведена въ нижеслѣдующей таблицѣ для различныхъ родовъ проволоки, то временное сопротивленіе въ kg/qcm для проволоки діаметромъ d въ **mm** выражается:

$$K_z = \frac{a}{d} + b.$$

*) См. C. Bach, Versuche über die Elasticität von Beton, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 489.

НТБ ДНУЗТ

Родъ проволоки.	Неотожжен. a	Неотожжен. b	Отожж. a	Отожж. b	Родъ проволоки.	Неотожжен. a	Неотожжен. b	Отожж. a	Отожж. b
Лучшая желѣзная проволока	1590	6370	380	3310	Проволока желтой мѣди	1020	5480	700	2870
Обыкновенная желѣзная проволока .	2290	4580	640	2870	Твердая свинцовая проволока	0	220	—	—
Стальная проволока .	2670	6370	380	5730	Мягкая свинцовая проволока	0	170	—	—
Цинковая проволока.	220	1270	—	—	Платинов. проволока.	1210	2230	960	1850
Проволока красной мѣди .	960	3500	0	2360	Бронзовая „ .	1860	5030	—	—

Въ слѣдующей таблицѣ приведены приблизительныя величины K_z, для различныхъ родовъ проволоки, не зависящія отъ ея діаметра.

Матеріалъ.	Модуль упругости для растяж. $E = \frac{1}{\alpha}$	Предѣлъ пропорціальности для растяж. σ_p	Временное сопротивленіе растяженію. K_z	Примѣчанія.
Желѣзная проволока: бѣлая	—	4200	5600 (до 7000)	Для новыхъ проволочныхъ канатовъ величина E составляетъ 0,35 отъ той же величины для проволоки того же матеріала [4]).
Желѣзная проволока: отожженная	2000000	2000	4000 [1])	
Проволока Бессемер. стали: бѣлая	—	5200	6500	
Проволока Бессемер. стали: отожженная	2150000	2250	4000—6000	
Проволока тигел. стали.	2150000	10000	9000—18000 [2])	
Цинковая проволока ..	150000	—	1900	
Проволока красн. мѣди.	1300000	1200	4000	
Бронзовая проволока..	—	—	4600—7100	
Бронзо-кремніевая проволока.....	—	—	6500—8500	
Двойная бронзовая проволока.....	—	—	7600	
Проволока металла Гепера (Нёрег), улучшенная фосфористая бронза: бѣлая	—	—	14000	$\varphi = 1\%$.
Проволока Гепера: отожженная	—	—	6300	$\varphi = 72\%$.
Проволока мет. Дельта.	—	—	до 9840	
Проволока желт. мѣди .	1000000	1300	5000	
Алюминіев. проволока.	—	—	2300—2700	при 460^0 $K_z = 160$.
Свинцовая проволока..	70000	—	мягк. 170 тверд. 220	$G = 26250$.

НТБ ДНУЗТ

Матеріалъ.	$E = \frac{1}{\alpha}$	σ_p	K_z	Примѣчанія.
Кожаный ремень, новый	1250	160	250—450 [3]	Кожа (по Баху) для растяженія $\epsilon = \frac{1}{415}\sigma^{0,7}$.
Кожаный ремень, бывшій въ употребл. . .	2250	—		
Пеньковый канатъ Манилья, повый. . .	8000—9500	—	1200 нов.	
Сученый пеньковый канатъ, новый	10500 до 12500	—	500 стар.	

1) Оцинкованная отожженная проволока литого желѣза для телеграфнаго дѣла $K_z = 4000 - 4300$.

2) Фирма I. Фаулеръ и К° въ Лидеѣ примѣняетъ для передачи силы у земледѣльческихъ машинъ проволочные канаты, составленные изъ стальныхъ проволокъ съ $K_z = 25300$ (см. Centralbl. d. Bauverw. 1886, стр. 371).

3) При быстромъ разрывѣ. При продолжительной нагрузкѣ величина K_z понижается до $^2/_3$ K_z.

4) Значенія K_z для проволочныхъ канатовъ см. также V отд., детали машинъ.

C. Допускаемыя напряженія.

a. Допускаемыя напряженія въ машиностроеніи.

Объясненіе названій допускаемыхъ напряженій см. стр. 334. Нижеслѣдующая таблица составлена по К. Баху *).

Допускаемыя напряженія въ I относятся до спокойной нагрузки.

Допускаемыя напряженія во II относятся до такой нагрузки, при которой напряженіе матеріала мѣняется попеременно отъ нуля до нѣкоторой наибольшей величины и затѣмъ отъ этой наибольшей величины обратно до нуля (напр., часто повторяющееся растяженіе, изгибъ, повторяющееся скручиваніе въ одномъ и томъ же направленіи).

Допускаемыя напряженія въ III относятся до такой нагрузки, при которой напряженіе матеріала мѣняется отъ нѣкоторой наибольшей положительной величины до такой же наибольшей отрицательной величины, и наоборотъ (такъ, напр., повторяющійся изгибъ или скручиваніе по двумъ противоположнымъ направленіямъ).

Для **случаевъ** напряженія, **не подходящихъ** къ указаннымъ въ I, II, III графахъ, **берутся промежуточныя величины.**

Если проектируемая часть должна быть разсчитана на случайныя силы (удары), то необходимо данныя таблицы для допускаемыхъ напряженій соотвѣтственно уменьшать.

Для **рессорной стали** имѣемъ, по Баху, въ случаѣ II при незакаленной стали $k_b = 3600$ kg/qcm, для закаленной стали $k_b = 4300$ kg/qcm. По другимъ даннымъ принимаютъ для закален-

*) См. C. Bach, Elasticität und Festigkeit, 3-е изданіе; Berlin 1898, J. Springer.

НТБ ДНУЗТ

ныхъ желѣзнодорожныхъ рессоръ $k_b = 6000$ до 8000, въ среднемъ $k_b = 6500$ kg/qcm. Штамбке рекомендуетъ $k_b = 5500$ до 5800 kg/qcm.

Для прокатныхъ листовъ **красной мѣди** имѣемъ, по Баху, въ случаѣ I допускаемое напряженіе $k_z = 600$ kg/qcm, а во II — $k_z = 400$ kg/qcm.

Допускаемыя напряженія въ kg/qcm, по К. Баху.

Способъ нагрузки.		Сварочное желѣзо [1].	Литое желѣзо [2].		Литая сталь [2].		Стальныя отливки.		Чугунъ.	Фосфористая бронза.	Пушечная бронза.
			отъ	до	отъ	до	отъ	до			
Растяженіе. k_z	I.	900	900	1200	1200	1500	600	900	300	750	300
	II.	600	600	800	800	1000	400	600	200	500	200
	III.	300	300	400	400	500	200	300	100	250	100
Сжатіе k	I.	900	900	1200	1200	1500	900	1200	900	—	—
	II.	600	600	800	800	1000	600	900	600		
Изгибъ. k_b	I.	900	900	1200	1200	1500	750	1050	—	750	300
	II.	600	600	800	800	1000	500	700	— [3]	500	200
	III.	300	300	400	400	500	250	350	—	250	100
Сдвиженіе. k_s	I.	720	720	960	960	1200	480	840	300	—	—
	II.	480	480	640	640	800	320	560	200	—	—
	III.	240	240	320	320	400	160	280	100	—	—
Скручиваніе. k_d	I.	360	600	840	900	1200	480	840	—	300	—
	II.	240	400	560	600	800	320	560	— [4]	200	—
	III.	120	200	280	300	400	160	280	—	100	—

[1]) **При отличныхъ качествахъ сварочнаго желѣза** (мелкозернистое желѣзо) допускаемыя въ таблицѣ напряженія могутъ быть увеличены на одну треть, если проектируемая часть по своему характеру допускаетъ связанныя съ этимъ увеличеніемъ большія деформаціи.

[2]) Болѣе высокія значенія слѣдуетъ брать въ случаѣ безусловно надежнаго и не слишкомъ мягкаго матеріала ($Kz = 3400-4400$ и соотв. $= 4500-10000$, см. стр. 334). Для **проволоки** слѣдуетъ брать болѣе высокія значенія для k_z ($k_z = {}^1/_3\ K_z$ до ${}^1/_5\ K_z$).

[3]) **Для обдѣланнаго чугуна** (см. стр. 355), по Баху, допускаемое **напряженіе на изгибъ:**

$$k_b = \mu\, k_z \sqrt{\frac{e}{z_0}},\ \text{гдѣ}\ \mu = 1{,}20\ \text{до}\ 1{,}33,$$

e разстояніе наиболѣе напряженнаго волокна отъ горизонтальной оси, проходящей черезъ центръ тяжести,

z_0 разстояніе центра тяжести сѣченія, расположеннаго по одну сторону отъ горизонтальной линіи, проходящей черезъ центръ тяжести, до этой послѣдней.

Изъ опытовъ найдено (Z. d. V. d. Ing. 1888, стр. 1094) для прямоугольнаго сѣченія $k_b = 1{,}7\ k_z$, для круглаго сѣченія $k_b = 2{,}05\ k_z$,
для двутаврованаго сѣченія $k_b = 1{,}45\ k_z$.

Для **чугуна очень хорошаго качества**, гдѣ можно быть увѣреннымъ въ отсутствіи всякихъ внутреннихъ напряженій при отливкѣ, равно какъ быть увѣреннымъ

НТБ ДНУЗТ

въ совершенной плотности матеріала, можно принимать данныя таблицы для k_b увеличенныя на одну четверть.

Для **сырого литья** необходимо принимать на основаніи опытовъ (Z. d. V. d. Ing. 1889, № 8) уменьшеніе величины k_b на одну шестую.

ε) Допускаемое напряженіе **на скручиваніе** k_d для **обдѣланнаго чугуна** принимаютъ по Баху (см. Z. d. V. d. Ing. 1889, стр. 137 и слѣд.):

для кругового сѣченія . . .	$k_d = k_z$ (съ избыткомъ),
кольцевого и полаго эллиптич. сѣченія	$k_d = 0{,}8\ k_z$ до k,
эллиптическаго сѣченія	$k_d = k_z$ до $1{,}25\ k_z$,
квадратнаго сѣченія	$k_d = 1{,}4\ k_z$,
прямоугольнаго сѣченія .	$k_d = 1{,}4\ k_z$ до $1{,}6\ k_z$,
прямоугольнаго полаго сѣченія	$k_d = k_z$ до $1{,}25\ k_z$,
двутавроваго, коробчатаго, крестообразнаго и углового сѣченія	$k_d = 1{,}4\ k_z$ до $1{,}6\ k_z$,

Вліяніе наружней корки здѣсь менѣе значительно, чѣмъ въ случаѣ работы чугуна на изгибъ. Допускаемое напряженіе на растяженіе k_z см. табл., стр. 341.

b. Допускаемыя напряженія въ постройкахъ

въ kg/qcm.

1. Металлы.

α) Предписанія **Берлинской строительной инспекціи** (21 февр. 1887) и **Прусскаго министр. публичныхъ работъ** (16 мая 1890 г.).

Металлъ:	Растяженіе k_z.	Сжатіе k.	Сдвиженіе k_s.
Сварочное и литое желѣзо	750 (1000)	750 (1000)	600 (750)
Сводчатое волнистое желѣзо	500	500	—
Желѣзная проволока .	1200	—	—
Чугунъ	250	500	200
Цинковые листы .	200	200	$k_b = 150$

Напряженія, указанныя въ скобкахъ, относятся до тѣхъ частей сооруженій изъ сварочнаго и литого желѣза, которыя не подвергаются сотрясеніямъ или значительнымъ измѣненіямъ нагрузки, и лишь въ томъ случаѣ, когда матеріалъ былъ предварительно испытанъ.

β) По германскимъ „**нормальнымъ профилямъ**“ для сооруженій, не подверженныхъ значительнымъ сотрясеніямъ, рекомендуется вмѣсто $k_z = 750$ принимать: для сварочнаго желѣза 1000, а для литого желѣза 1200 kg/qcm.

γ) Данныя **Прусск. министр. публ. работъ** 1897 г.:

1) Въ частяхъ сооруженій, сѣченіе коихъ опредѣляется лишь по собственному вѣсу и давленію снѣга (75 kg/qm), допускается для **литого желѣза** $k_z = 1200$ kg/qcm, а для **сварочнаго** на 10% менѣе.

2) Въ частяхъ сооруженій, подверженныхъ дѣйствію собственнаго вѣса, давленія снѣга и вѣтра (принимая послѣднее давленіе въ 150 kg/qm нормально къ данной поверхности), принимать для **литого желѣза** до 1600 kg/qcm, для **сварочнаго** — на 10% менѣе.

3) При разсчетѣ сжатыхъ частей на продольный изгибъ по формуламъ Эйлера [2) стр. 347] необходимо принимать по крайней мѣрѣ четверную надежность.

4. Заклепки. Допускаемое напряженіе на срѣзываніе не болѣе 1000 kg/qcm, допускаемое давленіе на цилиндрическую поверхность заклепочной дыры не болѣе 2000 kg/qcm.

НТБ ДНУЗТ

2. Дерева.

Жирнымъ шрифтомъ указаны нормы Берлинской строительной инспекціи и Прусскаго минист. публичныхъ работъ.

Родъ дерева.	Растяженіе. k_z	Сжатіе. k	Сдвиженіе. k_s	Родъ дерева.	Растяженіе. k_z	Сжатіе. k	Сдвиженіе. k_s
Ясень	100 — 120	66	—	Сосна . .	**100**	**60**	
Дубъ и букъ . .	**100**	**80**		Тоже, для времен. построекъ	120	70	15
Тоже, для врем. построекъ.		90		Ель	60	50	—

3. Другіе строительные матеріалы.

Допускаемое напряженіе на сжатіе k въ kg/qcm.

Жирнымъ шрифтомъ приведены нормы Берлинской строит. инспекціи и Прусск. мин. публ. работъ. Цифры **въ скобкахъ**—нормы только мин. публ. работъ.

Матеріалъ.	Сжатіе k	Матеріалъ.	Сжатіе k
Базальтъ. .	75	Кладка изъ пористаго кирпича .	**3—6**
Базальтовая лава .	**(40)**	Мраморъ. .	24
Гранитъ .	**45**	Искусствен. песчаникъ.	45
Песчаникъ, смотря по твердости .	**15—30**	Камни изъ цемента, неска и шлаковъ .	12
Песчаникъ въ среднемъ	20	Стекло [1]) .	25
Известнякъ въ плитахъ	**25**	Сваи, смотря по роду грунта .	20—40
Кладка изъ известняка на известковомъ растворѣ. . .		Бетонъ [2]) .	5—10
Кирпичная кладка на **известков.** растворѣ .	**7**	Тоже, лучшаго качества k_z до	
Тоже на цементномъ растворѣ. .	**11 (12)**	Хорошій строительный грунтъ [3]). .	**2,5** до **(5)**
Лучшая кирпичная кладка изъ клинкера на цемент. растворѣ.	**12—14** **(14—20)**		

[1]) Для **дутаго стекла** имѣемъ $k_b = 125$ kg/qcm, для **сырого стекла** (толщ. $s = 0{,}5$ до $1{,}5$ cm) $k_b = {}^1/_3\,[200 + (1{,}5 - s)^2 \,.\, 160]$ kg/qcm.

[2]) Хорошій цементный бетонъ (1 объемъ цемента, $2^1/_2$ до 3 объемовъ песку и 5 до 6 объемовъ гравія) для мостовъ $k = 20$ до 35 kg/qcm.

[3]) Строительный грунтъ при большой глубинѣ заложенія можетъ быть нагруженъ **сильнѣе** (болѣе подробно см. II ч.).

НТБ ДНУЗТ

II. СОПРОТИВЛЕНІЕ ПРЯМЫХЪ БРУСЬЕВЪ.

A. Сопротивленіе растяженію и сжатію.

1. Нагрузка P въ kg, которую безопасно можетъ выдержать призматическій брусъ сѣченіемъ F въ qcm, подверженный растяженію или сжатію, равна:

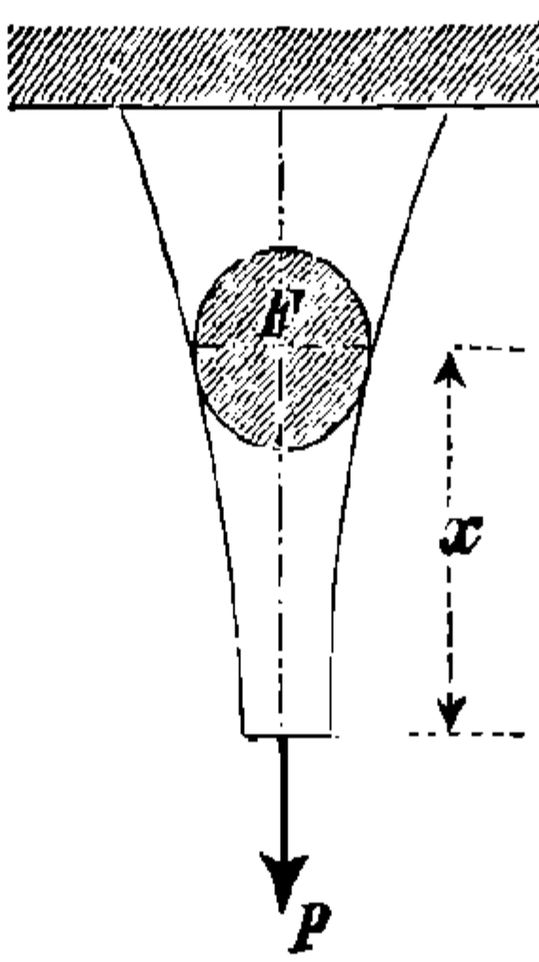
$$P = F k_z \text{ и соотв. } P = F k,$$

гдѣ k_z допускаемое напряженіе на растяженіе, а k — на сжатіе въ kg/qcm.

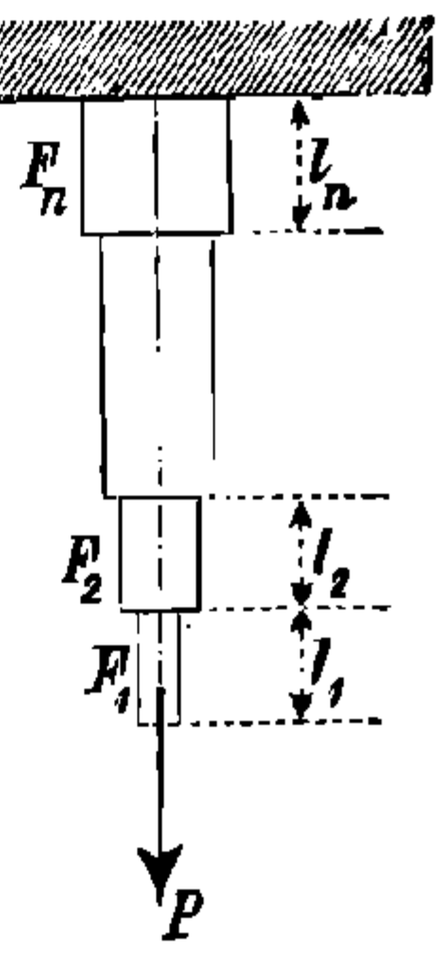
Если тѣло имѣетъ не постоянное, а перемѣнное сѣченіе, то сила P опредѣляется по наименьшему сѣченію.

Сжатые брусья, длина которыхъ сравнительно съ размѣрами поперечнаго сѣченія велика, разсчитываются на **продольный изгибъ** (болѣе подробно см. стр. 347).

Черт. 198.



Черт. 199.



Упругое удлиненіе λ или **укороченіе** бруса, длиною l cm, при нагрузкѣ P или напряженіи σ, будетъ [$\lambda : l = \varepsilon$, см. стр. 331]:

$$\lambda = \frac{\sigma}{E} l = \frac{P l}{F E}, \text{ при этомъ } \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E,$$

если E модуль упругости при растяженіи и соотв. при сжатіи (см. стр. 331, 334 и слѣд.). Относительно **механической работы** при упругомъ измѣненіи длины см. **6.**, стр. 332.

2. Форма тѣла **равнаго сопротивленія** (черт. 198) сжатію или растяженію, если центръ тяжести тѣла находится на одной прямой съ направленіемъ дѣйствія силы P, опредѣляется изъ уравненія:

$$F = \frac{P}{k} e^{\frac{\gamma}{k} x} \quad \text{или} \quad \log F = \log \frac{P}{k} + 0{,}4343 \frac{\gamma}{k} x, \text{ гдѣ}$$

F перемѣнная площадь сѣченія бруса въ разстояніи x отъ нагруженнаго конца, въ qcm,

P нагрузка въ kg,

k = постоян. допускаемая нагрузка въ kg/qcm,

γ вѣсъ единицы объема матеріала бруса въ kg/ccm,

e основаніе натуральныхъ логарнемовъ (см. стр. 46 и 47).

Для тѣла, составленнаго изъ призматическихъ брусьевъ разнаго сѣченія (черт. 199), имѣемъ:

$$F_n = \frac{P k^{n-1}}{(k - \gamma l_1)(k - \gamma l_2) \ldots \quad . (k - \gamma l_n)}, \text{ гдѣ}$$

НТБ ДНУЗТ

l_n длина n-го призматическаго бруска, считая отъ нагруженнаго конца, въ cm,

F_n площадь сѣченія n-го бруса, въ qcm.

Механическая работа при измѣненіи длины бруса равнаго сопротивленія, подверженнаго растяженію или сжатію въ cmkg (см. стр. 332), равна:

$$A = \frac{P}{\gamma}\frac{k^2}{2E}\left(e^{\frac{\gamma}{k}x} - 1\right),$$

если l вся длина бруса, то **упругое его удлиненіе** будетъ

$$\lambda = \frac{k\,l}{E}.$$

3. Выборъ допускаемыхъ напряженій.

Части сооруженій, подверженныя исключительно **спокойной** нагрузкѣ, разсчитываются по k_z и k, приведеннымъ на стр. 342 и 343.

При **подвижной перемѣнной** нагрузкѣ, какъ, напр., желѣзные мосты съ перемѣнной подвижной нагрузкой, необходимо допускаемыя напряженія опредѣлять, руководствуясь опытами Велера*).

По этимъ опытамъ, сопротивленіе брусьевъ сжатію и растяженію при часто мѣняющейся нагрузкѣ меньше, чѣмъ при нагрузкѣ постоянной и неподвижной. Допускаемое въ брусьяхъ напряженіе должно находиться въ зависимости отъ размѣровъ предѣльныхъ допускаемыхъ колебаній въ величинѣ нагрузки. Въ мостахъ необходимо, кромѣ того, принимать въ разсчетъ еще вліяніе ударовъ**).

Поэтому размѣры сжатыхъ и вытянутыхъ частей, особенно въ мостовыхъ сооруженіяхъ, опредѣляются по нижеслѣдующимъ даннымъ.

Обозначимъ:

S_0 напряженіе бруса отъ собственнаго вѣса въ kg,

S_1 напряженіе, вызываемое самою невыгодною подвижною нагрузкой, отклоняющееся отъ нуля въ ту же сторону, какъ и S_0,

S_2 напряженіе, вызываемое самою невыгодною подвижною нагрузкою, отклоняющееся отъ нуля въ сторону противоположную S_0. (Если, напр., S_0 и S_1 растягиваютъ брусъ, то S_2 сжимаетъ его, и наоборотъ),

σ_e напряженіе матеріала у предѣла упругости въ kg/qcm; для сварочнаго желѣза $\sigma_e = 1600$, для литого желѣза $\sigma_e = 2000$ kg/qcm (см. стр. 332),

k допускаемое напряженіе на растяженіе или сжатіе при спокойной нагрузкѣ въ kg/qcm,

ζ коэффиціентъ подвижной нагрузки, зависящій отъ ударовъ,

---

*) Велеръ. Ueber die Festigkeitsversuche mit Eisen und Stahl. Zeitschr. f. Bauwesen, 1870.

**) Допускаемые М. П. С. для мостовыхъ сооруженій коэффиціенты приведены въ отдѣлѣ мостовъ, во II части.

НТБ ДНУЗТ

μ коэффиціентъ, зависящій отъ различныхъ случайныхъ дополнительныхъ напряженій,

F сѣченіе (наименьшее) бруса въ qcm,

S_{min} и S_{max} абсолютное наименьшее и наибольшее напряженія бруса отъ собственнаго вѣса и подвижной нагрузки, умноженной на соотвѣтствующій ударный коэффиціентъ, въ kg.

При разсчетѣ **балокъ со сплошною стѣнною** (см. II, строительная механика) вмѣсто напряженій S_0, S_1, S_2, S_{min}, S_{max} слѣдуетъ принимать соотвѣтствующіе сгибающіе моменты M или $\mathfrak{M}$ (въ cmkg), а вмѣсто F — моментъ сопротивленія W (въ ccm).

α) Формулы Ландсберга *).

1. Для **частей только сжимаемыхъ или только вытягиваемыхъ**:

для сварочнаго желѣза: $F = \frac{S_0}{1050} + \frac{S_1}{700}$. | для литого желѣза: $F = \frac{S_0}{1310} + \frac{S_1}{875}$.

2. Для **вытягиваемыхъ и сжимаемыхъ частей** при

$$S_2 > -\frac{2}{3} S_0 \text{ и } S_2 - S_1 < \frac{4}{3} S_0$$ имѣемъ:

для сварочнаго желѣза: $F = \frac{S_0}{1575} + \frac{S_1}{700} + \frac{S_2}{2100}$. | для литого желѣза: $F = \frac{S_0}{1970} + \frac{S_1}{875} + \frac{S_2}{2625}$.

3. Для **вытягиваемыхъ и сжимаемыхъ частей** при

$$S_2 > -\frac{2}{3} S_0 \text{ и } S_2 - S_1 > \frac{4}{3} S_0$$ имѣемъ:

для сварочнаго желѣза: $F = -\frac{S_0}{1575} + \frac{S_1}{2100} + \frac{S_2}{700}$. | для литого желѣза: $F = -\frac{S_0}{1970} + \frac{S_1}{2625} + \frac{S_2}{875}$.

По P. Кропу, формулы для литого желѣза относятся къ мартеновскому желѣзу съ $K_z = 3700$ до 4400 kg/qcm **).

β) Формулы Гезелера.

Вообще имѣемъ: $$F = \frac{S_0 + S_1}{k}.$$

1. Если часть фермы подвергается **только растяженію или только сжатію** (не подвергаясь продольному изгибу), то принимаютъ:

$$k = \frac{\sigma_e}{\mu} \frac{S_0 + S_1}{S_0 + \zeta S_1}.$$

2. Если часть фермы подвергается **быстро слѣдующимъ** одинъ за другимъ **растяженію** и **сжатію** (не подвергаясь продольному изгибу), то:

$$k = \frac{\sigma_e}{\mu} \frac{S_0 + S_1}{S_0 + \zeta S_1} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{S_{min}}{S_{max}}\right).$$ ***)

*) См. Zeitschr. d. hannovr. Arch.- u. Ing.-V. 1888, стр. 575.

**) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 1121.

***) Мюллеръ-Бреслау предлагаетъ въ этой формулѣ замѣнить множитель $^1/_2$ множителемъ $^1/_3$.

НТБ ДНУЗТ

Герберъ даетъ для **ударнаго коэффиціента** $\zeta = 1{,}5$; Винклеръ $\zeta = 1{,}3$ для желѣзнодорожныхъ мостовъ и $= 1{,}2$ для мостовъ проѣзжихъ дорогъ. Гезелеръ принимаетъ ζ въ зависимости отъ пролета:

для $l =$	5	10	15	20	40	60	80	100	150 m.
$\zeta =$	1,7	1,6	1,5	1,3	1,3	1,25	1,2	1,2	1,2.

Таблица значеній μ для желѣзныхъ балочныхъ фермъ на двухъ опорахъ.

Родъ фермъ.	Случайныя напряженія.	Дополнительныя напряженія.	Прибавка на временную усиленную нагрузку.	Коэффиціентъ μ
	въ процентахъ отъ S.			
Балочныя (со сплошн. стѣн.)		30		1,6
Рѣшетчатыя и раскосныя:				
a) Узловыя точки неизмѣняемы .	40		20	1,9
b) Узловыя точки на шарнирахъ...			20	1,5

B. Сопротивленіе продольному изгибу.

1. Сжатые брусья, длина которыхъ велика сравнительно съ размѣрами ихъ поперечнаго сѣченія, разсчитываются на продольный изгибъ. Пусть нагрузка дѣйствуетъ центрально, т.-е. сила приложена въ центрѣ тяжести концевого сѣченія бруса.

Если:

l длина бруса, подверженнаго продольному изгибу, въ cm,

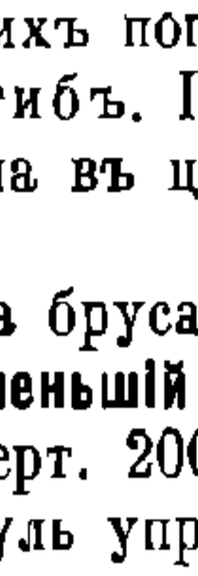
J **наименьшій экваторіальный** моментъ инерціи опаснаго сѣченія a (см. черт. 200 до 203), въ cm^4,

E модуль упругости матеріала, въ kg/qcm (см. стр. 331, 334 и слѣд.), тогда по Л. Эйлеру найдемъ:

раздавливающій грузъ P_k (въ kg) **при продольномъ изгибѣ** для различныхъ способовъ нагрузки:

Черт. 200.

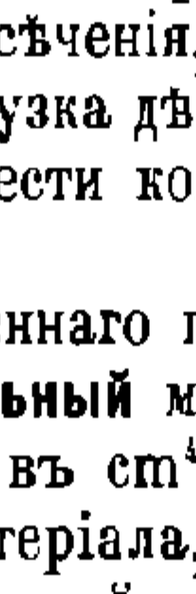
1. Одинъ конецъ закрѣпленъ, а другой свободенъ:



$$P_k = \frac{\pi^2}{4}\frac{EJ}{l^2}.$$

Черт. 201.

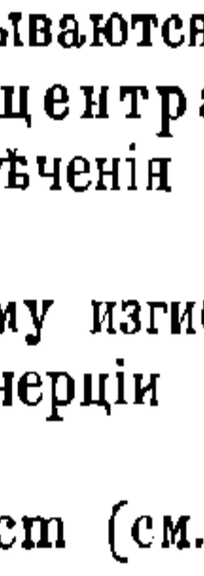
2. Оба конца свободны и остаются на первоначальной оси AB бруса:



$$P_k = \pi^2\frac{EJ}{l^2}.$$

Черт. 202.

3. Одинъ конецъ закрѣпленъ, а другой свободенъ и остается на первоначальной оси AB бруса:



$$P_k = 2\pi^2\frac{EJ}{l^2}$$

Черт. 203.

4. Оба конца закрѣплены и остаются на первоначальной оси AB бруса.

$$P_k = 4\pi^2\frac{EJ}{l^2}.$$

НТБ ДНУЗТ

По опытамъ Баушингера *) величина P_k выражаетъ ту предѣльную нагрузку, которая, мало-по-малу увеличивая первоначальный (незначительный) прогибъ бруса, доводитъ этотъ прогибъ почти мгновенно до значительной величины.

2. Допускаемая нагрузка для бруса, подверженнаго продольному изгибу (въ kg), составляетъ только

$$P = P_k : \mathfrak{S},$$

гдѣ $\mathfrak{S}$ степень безопасности для продольнаго изгиба.

Если наименьшее сѣченіе бруса F (въ qcm) и k допускаемое напряженіе на сжатіе для матеріала бруса (въ kg/qcm), то давленіе, которое безопасно можетъ выдержать брусъ, въ kg:

$$P_0 = k\,F.$$

При опредѣленіи груза, который можетъ безопасно выдержать брусъ, необходимо принимать меньшую изъ двухъ величинъ P и P_0.

Та длина бруса l_0, при которой разсчетъ на сжатіе и продольный изгибъ даетъ одинаковые результаты, получится послѣ подстановки $P_0 = P$ въ соотвѣтствующія формулы для различныхъ способовъ нагрузки. При длинахъ большихъ l_0 разсчетъ ведется на продольный изгибъ; при длинахъ меньшихъ нежели l_0, — разсчетъ ведется на сжатіе.

Въ каждомъ частномъ случаѣ, при опредѣленіи размѣровъ поперечнаго сѣченія, необходимо, пользуясь формулами Эйлера, изслѣдовать, не превзойдетъ ли k для выбраннаго сѣченія бруса предѣла допускаемаго напряженія на сжатіе.

Если $r = \sqrt{J : F}$ представляетъ наименьшее плечо инерціи сѣченія бруса (стр. 181) въ cm, то по новымъ опытамъ Тетмайера **) формула Эйлера (стр. 347, 2) только тогда примѣнима, когда отношеніе длинъ $l : r$ болѣе—для дерева 100, для чугуна 80, для сварочнаго желѣза 112 и для литого желѣза 105.

3. Въ слѣдующей таблицѣ приведены для важнѣйшихъ матеріаловъ наиболѣе употребительныя значенія **степени безопасности** $\mathfrak{S}$ на продольный изгибъ, равно и необходимые для случая 2***) (черт. 201, стр. 347) наименьшіе моменты инерціи сѣченій брусьевъ, подверженныхъ продольному изгибу, а также упомянутыя выше длины l_0. Таблица относится до различныхъ строительныхъ работъ. Значеніе $\mathfrak{S}$ для деталей машинъ см. V отд., детали машинъ (поршневые стержни, шатуны и др.). Принято $\pi^2 \backsim 10$.

Въ таблицѣ означаютъ:

P грузъ въ kg, P_t грузъ въ **тоннахъ**,

l длину бруса въ m,

---

*) См. Centralbl. d. Bauverw. 1886, стр. 353 и слѣд.

**) L. Tetmayer, Gesetze der Knickfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe, Mitteilungen der Züricher Materialprüfungsfanstalt, 1896, выпускъ VIII. Также Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, стр. 1404.

***) Въ обыкновенно встрѣчающихся случаяхъ продольнаго изгиба можно принимать **способъ закрѣпленія 2**). Поэтому вторая часть таблицы стр. 349 составлена только для этого случая.

НТБ ДНУЗТ

b короткую сторону прямоугольнаго сѣченія бруса въ m,
d діаметръ кругового сѣченія бруса въ m.

Обозначенія.	Чугунъ.	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.	Литая сталь.	Дерево (сосна).	
Времен. сопротивленіе сжатію..... $K =$	7500	3600	4000	5000	280	kg/qcm.
Допускаемое напряженіе на сжатіе. $k =$	500	750	875**)	1250	60	kg/qcm.
Модуль упругости.. $E =$	1000000	2000000	2150000	2200000	120000	kg/qcm.
Степень безопасности на продольный изгибъ ... $\mathfrak{S} =$	8 *)	5	5**)	4		

Случай укрѣпленія 2. (Черт. 201, стр. 347).

Необходимый наименьшій экватор. мом. инерціи опаснаго сѣченія. $J =$	$\frac{P l^2}{125} =$ $8 P_1 l^2$	$\frac{P l^2}{400} =$ $2{,}5 P_1 l^2$	$\frac{P l^2}{430} =$ $2{,}33 P_1 l^2$	$\frac{P l^2}{550} =$ $1{,}82 P_1 l^2$	$\frac{P l^2}{12} =$ $83{,}3 P_1 l^2$	cm⁴.
Прэдѣльная длина l_0:						
Прямоугольникъ $\frac{l_0}{b} = \frac{\pi}{\sqrt{12}}\sqrt{\frac{E}{k\mathfrak{S}}} =$	14,4	21,0	20,1	19,0	12,8	
Площадь круга. $\frac{l_0}{d} = \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{E}{k\mathfrak{S}}} =$	12,4	18,1	17,4	16,4		
Кольцо съ весьма малымъ δ. $\frac{l_0}{d} = \frac{\pi}{\sqrt{8}}\sqrt{\frac{E}{k\mathfrak{S}}} =$	17,6	25,6	24,5	23,3	—	

Сѣченіе, разсчитанное на продольный изгибъ въ случаѣ закрѣпленія по 2, должно имѣть необходимые размѣры **только въ срединѣ** длины бруса у a; на концахъ бруса достаточны размѣры, опредѣляемые лишь по разсчету на сжатіе по допускаемому напряженію k; законъ уменьшенія сѣченія бруса отъ средины къ концамъ имѣетъ лишь малое вліяніе на сопротивленіе ***).

*) По требованіямъ строительной инспекціи въ Берлинѣ для **чугунныхъ колоннъ** должно быть $\mathfrak{S} = 8$ при вполнѣ центральной нагрузкѣ (одинаковое разстояніе между колоннами по всѣмъ направленіямъ). Если нагрузка не строго центральна, то примѣняется формула для продольнаго изгиба $J = 12 P_1 l^2$ при $\mathfrak{S} = 12$ (для дерева $J = 125 P_1 l^2$, а $\mathfrak{S} = 15$); въ этомъ послѣднемъ случаѣ допускаемое напряженіе не должно превосходить $k = 330$ kg/qcm (для дерева 40 kg/qcm) или же, если извѣстенъ эксцентрицитетъ нагрузки, колонна разсчитывается на сложное сопротивленіе (сжатіе и изгибъ, см. ниже. См. также „чугунныя колонны“ въ VIII отдѣлѣ).

**) По Крону, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 1121, для основного Мартеновскаго желѣза (при $K = 3700$ до 4000 kg/qcm).

***) R. Bredt, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1894, стр. 845.

НТБ ДНУЗТ

Моментъ инерціи J для случаевъ укрѣпленія бруса 1., 3. и 4. принимается въ 4 раза и соотв. въ $^1/_2$ и $^1/_4$ отъ приведенной величины. Предѣльная величина l_0 для тѣхъ же случаевъ укрѣпленія принимается равной $^1/_2$ и соотв. 1,41 и 2 раза большей сравнительно съ приведенной выше величиной по таблицѣ.

4. Во всѣхъ случаяхъ, за исключеніемъ небольшихъ длинъ l, для которыхъ разсчетъ производится на сжатіе (см. 2), при разсчетѣ на продольный изгибъ слѣдуетъ пользоваться формулой Эйлера. Эмпирическія формулы Ранкина, Шварца, Лапга, Шеффера и др., по которымъ допускаемая нагрузка опредѣляется въ предположеніи извѣстнаго наибольшаго давленія въ ребрахъ при внѣцентренномъ сжатіи (см. II, F), на основаніи опытовъ Баушингера и теоретическихъ изслѣдованій Циммермана *), не оправдываются научно.

Въ виду частаго пользованія формулами **Ранкина и Шварца** **), формулы эти приводятся ниже.

По этимъ формуламъ, принимая вышеприведенныя обозначенія, (kg и cm какъ единицы вѣса и длины) имѣемъ нагрузку бруса, свободно стоящаго и вверху незадѣланнаго (черт. 201):

$$P = \frac{F k}{1 + \mu l^2 \frac{F}{J}} = \frac{F k}{1 + \mu \left(\frac{l}{r}\right)^2}.$$

При этомъ $r = \sqrt{J : F}$ наименьшее плечо инерціи сѣченія (стр. 181) и μ коэффиціентъ, который, въ случаѣ плоской формы конечныхъ сѣченій бруса, можетъ быть принятъ въ среднемъ ***):

для чугуна .	$\mu = 0{,}00016$,	для стали (мягкой).	$\mu = 0{,}00004$,
„ сварочнаго желѣза.	$\mu = 0{,}00008$,	„ стали (твердой)	$\mu = 0{,}00006$.
		„ дерева. .	$\mu = 0{,}00015$

1) По Шефферу ****) для укрѣпленія по 2):

$$\mu = \frac{\mathfrak{S}\, k}{\pi^2 E}.$$

Значенія $\mathfrak{S}$, E и k см. табл. стр. 349. Для случаевъ укрѣпленія по 1., 3. и 4. величина μ берется въ $^1/_4$, 2 и 4 раза больше.

2) По опытамъ Тетмайера *****) величина μ зависитъ отъ $\frac{l}{r}$, причемъ можно принимать:

для сварочнаго желѣза. $\mu = 0{,}0001 \sqrt{0{,}00867\ (l \quad r) - 0{,}6936}$,

для дерева $\mu = 0{,}0001 \sqrt{0{,}05 (l : r) - 0{,}80}$.

---

*) См. Centralbl. d. Bauverw. 1886, стр. 217, 225, 243 и 353.
**) См. R. Krohn, Centralbl. d. Bauverw. 1885, стр. 400.
***) По Крону, Z. d. V. d. Ing. 1891, стр. 1122: для литого желѣза $\mu = 0{,}000\,076\,9$ при $k = 875$), а для сварочнаго желѣза $\mu = 0{,}000\,043\,5$ (при $k = 700$).
****) См. Deutsche Bauzeit., 1877, стр. 499.
*****) См. Schweizerische Bauzeit., 1887, т. 10, № 16.

НТБ ДНУЗТ

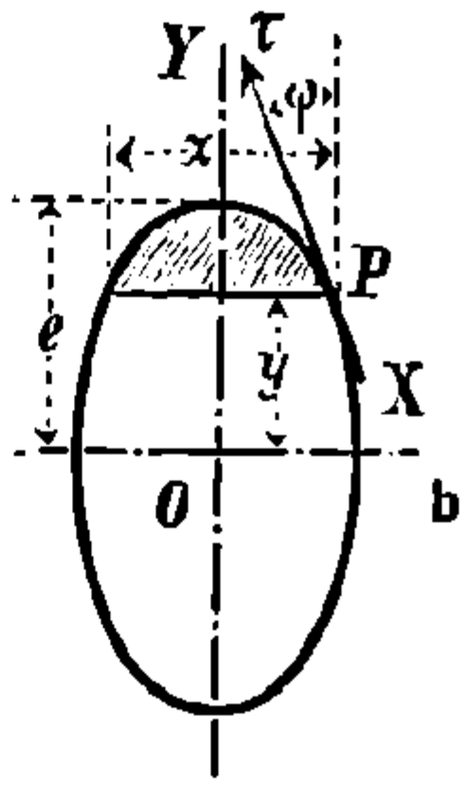
3) По Бредту *) слѣдуетъ принимать:
для литого желѣза $\mu = 0{,}00001\ (l:r)$ и слѣд., для способа закрѣпленія 2):

$$P = \frac{F\,k}{1 + 0{,}00001\,(l:r)^3}.$$

C. Сопротивленіе сдвиженію.

При дѣйствіи на данный призматическій брусъ силы Q, направленной въ плоскости разсматриваемаго сѣченія и пересѣкающей ось OY (см. черт. 204), найдемъ, что сѣченіе это подвергается дѣйствію срѣзывающей или сдвигающей силы.

Черт. 204.



Сдвигающее напряженіе τ въ точкѣ P (стр. 333) имѣетъ мѣсто не только въ плоскости разсматриваемаго сѣченія по одновременно и въ направленіи, перпендикулярномъ къ разсматриваемому сѣченію.

При обозначеніяхъ черт. 204 имѣемъ для обоихъ направленій:

$$\tau = \frac{Q\,S_y}{J\,z\cos\varphi} \text{ и должно быть } \tau_{max} \leqq k_s,$$

гдѣ J моментъ инерціи всего сѣченія относительно оси OX, проходящей черезъ центръ тяжести и перпендикулярной къ Q; интегралъ

$$S_y = \int_y^e y\,z\,.\,dy$$

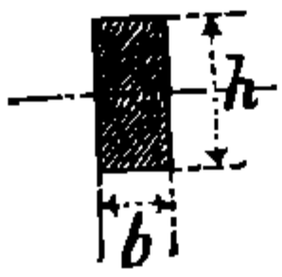
представляетъ статическій моментъ заштрихованной части сѣченія относительно оси OX.

Составляющая τ, параллельная оси симметріи OY:

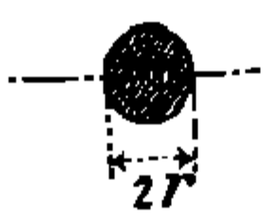
$$\tau_y = \tau\cos\varphi = \frac{Q\,S_y}{J\,z}$$

$$\tau = 0 \text{ для } y = e.$$

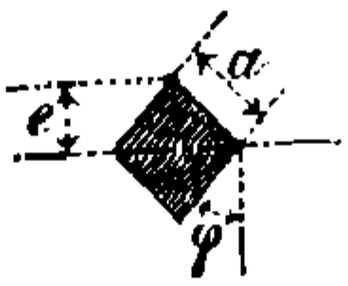
Черт. 205.



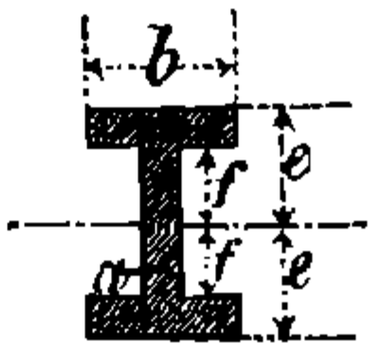
Черт. 206.



Черт. 207.



Черт. 208.



*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1894, стр. 878.

НТБ ДНУЗТ

Для **прямоугольнаго сѣченія** $b\,h$ имѣемъ (черт. 205):

$$\tau = \frac{3}{2}\,\frac{Q}{b\,h}\left[\,1 - \left(\frac{2\,y}{h}\right)^2\right];$$

$$\tau_{max} = \frac{3}{2}\,\frac{Q}{b\,h} = \frac{3}{2}\,\frac{Q}{F} \text{ для } y = 0.$$

Для **круга** радіуса r имѣемъ (черт. 206):

$$\tau = \frac{4}{3}\,\frac{Q}{\pi\,r^2}\cos\varphi;$$

$$\tau_{max} = \frac{4}{3}\,\frac{Q}{\pi\,r^2} = \frac{4}{3}\,\frac{Q}{F} \text{ для } y = 0.$$

Для **кругового кольца**, если толщина его не велика сравнительно съ внутреннимъ діаметромъ, для центра ($y = 0$) имѣемъ:

$$\tau_{max} = 2\,\frac{Q}{F}.$$

Для **квадрата, поставленнаго на ребро**, имѣемъ (черт. 207):

$$\tau = \frac{Q\sqrt{2}}{a^2}\left[\,1 + \frac{y\sqrt{2}}{a} - 4\left(\frac{y}{a}\right)^2\right]:$$

$$\tau_{max} = \frac{9}{4\sqrt{2}}\,\frac{Q}{a^2} = 1{,}591\,\frac{Q}{F} \text{ для } y = {}^1\!/_4\,e.$$

Для **двутавроваго сѣченія** имѣемъ (черт. 208):

$$\tau_{max} = \frac{3}{4}\,\frac{Q}{a}\,\frac{b\,e^2 - (b-a)\,f^2}{b\,e^3 - (b-a)\,f^3} \text{ для } y = 0.$$

Примѣчаніе. Обыкновенно примѣняемая формула

$$\tau = \frac{Q}{F} \leqq k_s$$

даетъ въ большинствѣ случаевъ для сдвигающаго напряженія **весьма малыя величины.**

D. Сопротивленіе изгибу.

a. Общія данныя о внѣшнихъ силахъ прямыхъ балокъ.

Въ предположеніи, что всѣ дѣйствующія на балку внѣшнія силы, равно и сопротивленія опоръ A и B (см. стр. 169—171), дѣйствуютъ нормально къ оси бруса (т.-е. что нѣтъ внѣшнихъ силъ, дѣйствующихъ по оси балки), обозначимъ для опредѣленнаго сѣченія балки черезъ:

Q **срѣзывающую силу**—равную и параллельную равнодѣйствующей всѣхъ внѣшнихъ силъ, приложенныхъ слѣва отъ разсматриваемаго сѣченія (стр. 164), и наз. ее положительной, когда она направлена **вверхъ** (т.-е. для правой части направлена внизъ);

M **изгибающій моментъ** равнодѣйствующей или (стр. 164) алгебранческую сумму моментовъ всѣхъ внѣшнихъ силъ, дѣйствующихъ слѣва отъ разсматриваемаго сѣченія, относительно этого сѣченія.

НТБ ДНУЗТ

M положителенъ, когда вращеніе происходитъ вправо (или для правой стороны балки вращеніе влѣво).

Пусть балка имѣетъ постоянную нагрузку q въ kg на погонный cm. Если принять длину балки за ось x-овъ, то для любого сѣченія балки x:

$$Q = A - \int q.dx; \quad dQ = -q.dx \quad \text{и, слѣд.,} \quad \frac{dQ}{dx} = -q \ldots. \quad \text{I.}$$

$$dM = Q.dx \quad \text{и, слѣд.,} \quad \frac{dM}{dx} = Q.. \quad \text{II.}$$

$$\frac{d^2M}{dx^2} = \frac{dQ}{dx} = -q \ldots \quad \text{III.}$$

Если отъ нѣкоторой горизонтальной прямой для различныхъ сѣченій балки откладывать соотвѣтственныя значенія Q и M какъ ординаты, то для полученныхъ кривыхъ Q и M и соотвѣтственно ихъ площадей получимъ по предыдущему слѣдующія соотношенія:

1. Тригонометр. тангенсъ кривой Q въ сѣченіи x будетъ $= -q$.
2. Тригонометр. тангенсъ кривой M въ сѣченіи x будетъ $= Q$.
3. $M_x = \int_0^x Q.dx = \Big[\text{площади } Q\Big]_0^x$ (по уравненію II).

Изъ 2. слѣдуетъ, что величина M_{max} (относительный) имѣетъ мѣсто въ каждомъ сѣченіи, гдѣ $Q = 0$ или переходитъ изъ $+$ въ $-$.

Изъ 3. слѣдуетъ, что величина M дѣлается равною **нулю** для каждаго сѣченія, для котораго площадь Q (состоящая изъ положительныхъ и отрицательныхъ частей) будетъ равна нулю.

Срѣзывающая сила Q вызываетъ сдвигающія напряженія τ въ плоскости разсматриваемаго сѣченія (см. стр. 333 и 351), моментъ M — нормальныя напряженія σ, перпендикулярныя къ сѣченію, и сдвигающія напряженія τ въ плоскостяхъ, параллельныхъ оси балки.

b. Напряженія.

Общія данныя. При изгибѣ балки только волокна одного **нейтральнаго слоя** (проходящаго черезъ ось балки) сохраняютъ свою первоначальную длину. Каждое сѣченіе балки, нормальное къ ея оси (центровъ тяжести), даетъ въ пересѣченіи съ нейтральнымъ слоемъ т. н. **нейтральную ось сѣченія** или **нулевую линію.** Нулевая линія, такимъ образомъ, проходитъ черезъ центръ тяжести сѣченія, представляетъ прямую и отдѣляетъ сжатыя волокна отъ вытянутыхъ такъ, что вытягивающія и сжимающія напряженія волоконъ въ сѣченіи увеличиваются пропорціонально разстоянію ихъ отъ нейтральной оси.

Два сдвигающихъ напряженія, которыя пересѣкаются подъ прямымъ угломъ на ребрѣ какого-либо весьма малаго кубическаго

НТБ ДНУЗТ

элемента балки, между собой равны и имѣютъ по отношенію къ этому ребру одинаковое направленіе (стр. 351).

Примѣчаніе. Приводимые ниже методы для опредѣленія напряженій могутъ быть примѣняемы достаточно точно также къ **изогнутымъ брусьямъ** и тѣмъ точнѣе, чѣмъ радіусъ кривизны больше по отношенію къ высотѣ сѣченія балки.

1. Плоскость моментовъ проходитъ черезъ главную ось сѣченія балки.

Въ этомъ случаѣ другая главная ось сѣченія является нейтральной осью.

1. Нормальныя напряженія.

Пусть:

M изгибающій моментъ въ данномъ сѣченіи въ kgcm,
Q вертикальное срѣзывающее усиліе въ kg,
σ нормальное напряженіе волокна въ kg/qcm,
y разстояніе этого волокна до нейтральной оси въ cm,
σ_1 нормальное напряженіе для $y = 1$ въ kg/qcm, слѣд. $\sigma_1 = \sigma : y$,
e_1 разстояніе наиболѣе удаленнаго вытянутаго волокна въ cm,
e_2 „ „ „ сжатаго волокна въ cm,
e большее изъ двухъ разстояній e_1 и e_2,
k_z допускаемое напряженіе при растяженіи въ kg/qcm,
k „ „ „ сжатіи въ kg/qcm,
k_b допускаемое напряженіе на изгибъ въ kg/qcm,
J экваторіальный моментъ инерціи сѣченія относительно нейтральной оси, въ cm^4.

Основныя уравненія для изгиба:

$$\sigma_1 = \frac{M}{J} = \frac{\text{изгибающій моментъ}}{\text{моментъ инерціи}}, \quad \text{слѣд. } \sigma = \frac{M}{J} y \qquad \text{IV.}$$

Для того, чтобы допускаемыя предѣльныя напряженія не были превзойдены, должно быть:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{J} e_1 < k_z \qquad \sigma_{min} = \frac{M}{J} e_2 < k.$$

Значенія $J : e_1 = W_1$ и $J : e_2 = W_2$ назыв. **моментами сопротивленія** даннаго сѣченія для вытянутыхъ и сжатыхъ волоконъ.

Отсюда находимъ **общія условія для прочности бруса:**

$$\frac{M}{W_1} \leqq k_z; \qquad \frac{M}{W_2} \leqq k.$$

Въ тѣхъ случаяхъ, когда k_z и k неодинаковы (напр., чугунъ и т. д.), слѣдуетъ пользоваться вышеприведенными двумя формулами. Если нейтральная ось сѣченія (т.-е. горизонт. ось центра тяжести) есть ось симметріи ($e_1 = e_2$), то $W_1 = W_2$ и пользуются формулой для той изъ обѣихъ величинъ k, которая меньше.

Если допускаемыя напряженія на растяженіе, сжатіе и изгибъ между собой равны, $k_z = k = k_b$ (напр., **сварочное желѣзо, литое желѣзо, литая сталь**), то меньшая изъ двухъ величинъ W_1 и W_2 принимается равной $W = J : e$, и условія прочности выражаются:

для **разсчета напряженій:** $\sigma_{max} = M : W$
„ **разсчета сѣченій:** $W = M : k_b$ } V.

Таблицу моментовъ сопротивленій W для различныхъ сѣченій см. стр. 363 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Для нѣкоторыхъ тѣлъ, главнымъ образомъ **для чугуна, камней, цемента и бетона** *), вышеприведенныя соображенія о пропорціональности между напряженіями и удлиненіями не могутъ быть примѣняемы.

Для этихъ строительныхъ матеріаловъ напряженія увеличиваются менѣе, чѣмъ удлиненія, почему σ_{max} въ дѣйствительности менѣе, чѣмъ по вышеприведеннымъ формуламъ.

Изъ опытовъ надъ изгибомъ чугунныхъ балокъ найдено, посредствомъ вышеприведенныхъ формулъ, что временное сопротивленіе чугуна изгибу: a) превосходитъ величину временнаго сопротивленія чугуна растяженію тѣмъ болѣе, чѣмъ матеріалъ балки болѣе сосредоточенъ у нейтральной оси, и b) тѣмъ болѣе приближается къ временному сопротивленію разрыву, чѣмъ болѣе разстояніе z_0 отъ центра тяжести части сѣченія, расположенной по одну сторону горизонтальной нейтральной оси, до этой послѣдней приближается къ величинѣ e. Величину допускаемаго напряженія на нагибъ k_b см. стр. 341.

По Р. Латовскому **) **нейтральный слой** (см. стр. 353) у балокъ (прямоугольнаго сѣченія) изъ вышеуказанныхъ строительныхъ матеріаловъ имѣетъ при перемѣнной нагрузкѣ въ каждомъ сѣченіи перемѣнное положеніе; при нагрузкѣ постоянной (спокойной) кривизна этого слоя отличается отъ кривизны оси балки. Въ послѣднемъ случаѣ направленіе нейтральнаго слоя въ средней части длины балки приблизительно параллельно ея оси и расположено надъ осью балки; по мѣрѣ приближенія къ опорѣ нейтральный слой приближается къ оси балки, проходя черезъ нижнюю грань балки на самой опорѣ.

Нулевая линія (нейтральная ось) перемѣщается отъ горизонтальной оси, проходящей черезъ центръ тяжести сѣченія по направленію меньшаго удлиненія и большаго сопротивленія, т.-е. по направленію къ сжатой части. Величина этого перемѣщенія опредѣляется не только въ зависимости отъ отношенія коэффиціентовъ удлиненія α для вытягиванія и сжатія, но также и отъ ихъ измѣненія въ зависимости отъ напряженій, каковая общая зависимость выражается въ видѣ закона $\varepsilon = \alpha \sigma^n$ (стр. 331).

По Гейсену **) имѣемъ для чугуна, гранита, при прямоугольномъ сѣченіи, необходимый моментъ сопротивленія $W = M : 2k_z$.

Опасное сѣченіе (сѣченіе излома) балки, которое принимается для разсчета балки, получается изъ уравненія V по условію

$$\sigma_{max} = M \quad W$$

Для балокъ постояннаго сѣченія $W =$ постоян., и опасное сѣченіе тамъ, гдѣ M имѣетъ наибольшее значеніе, т.-е. то, при которомъ срѣзывающая сила $Q = 0$ или переходитъ изъ $+$ въ $-$ (см. стр. 352 и 371).

Балки равнаго сопротивленія изгибу (см. стр. 391) имѣютъ въ каждомъ сѣченіи одно и то же $\sigma_{max} = k_b$ и въ этомъ случаѣ по уравн. V должно быть соблюдено условіе

$$\sigma_{max} = M : W = \text{постоян.},$$

т.-е. M и W должны для всей длины балки измѣняться по одному общему закону.

2. Сдвигающія напряженія.

Въ предположеніи, что внѣшнія силы дѣйствуютъ въ плоскости симметріи балки, пересѣкающей данное сѣченіе по оси y-овъ, назовемъ:

---

*) См. C. Bach, Zeitschr. d. V. d. Ing., 1888, стр. 193 и слѣд.; также стр. 1094 и слѣд.: Die Biegungslehre und das Gusseisen. Далѣе Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, стр. 1381 и слѣд.; 1897, стр. 241 и слѣд.; 1898, стр. 35 и слѣд.

**) См. R. Latowsky, Die Biegungselasticität bei Körpern von ungleicher Festigkeit Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 941; далѣе L. Geusen, 1898, стр. 463.

НТБ ДНУЗТ

z ширину разсматриваемаго сѣченія на разстояніи y отъ нейтральной оси, въ cm,

T_y срѣзывающую силу для единицы длины балки на разстояніи y отъ нейтральнаго слоя, въ kg/cm,

τ_y сдвигающее напряженіе на томъ же разстояніи y (= составляющей сдвигающаго напряженія въ сѣченіи, параллельной оси y-овъ), въ kg/qcm,

$S_y = \int_y^e yz.dy$ статическій моментъ заштрихованной (на черт. 204, стр. 351) площади въ ccm; тогда

$$T_y = \tau_y z = Q\frac{S_y}{J} \text{ и } \tau_y = \frac{Q\,S_y}{z\,J} \qquad \text{VI.}$$

Въ дѣйствительности сдвигающее напряженіе τ по окружности сѣченія имѣетъ направленіе касательной и, поэтому, по черт. 204,

$$\tau = \frac{\tau_y}{\cos\varphi} = \frac{Q\,S_y}{z\,J\cos\varphi}.$$

Значенія τ и τ_{max} для главнѣйшихъ сѣченій приведены на стр. 352.

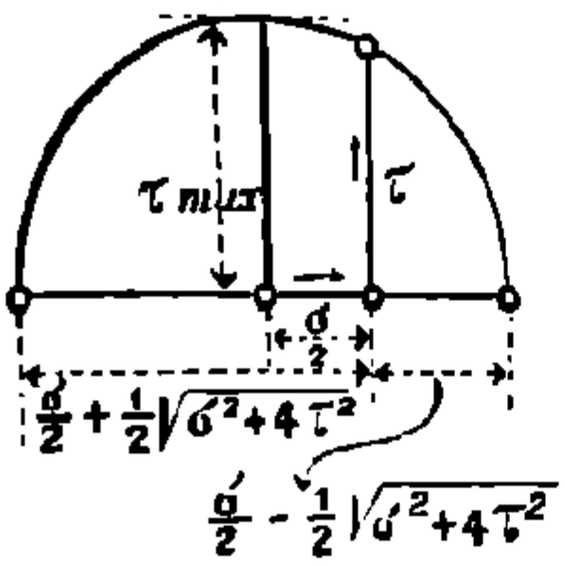
3. Главныя напряженія.

Если на какомъ-либо элементѣ площади сѣченія балки вызываются одновременно нормальное и сдвигающее напряженія (σ и τ), то отъ совмѣстнаго ихъ дѣйствія получается одно наибольшее и одно наименьшее нормальное напряженіе (σ_{max} и σ_{min}), т. и. **главныя напряженія**, и, кромѣ того, наибольшее и наименьшее удлиненіе (ε_{max} и ε_{min})—**главныя удлиненія**. Направленія обоихъ ε (у однородныхъ тѣлъ) соотвѣтствуютъ направленіямъ обоихъ σ. Величины же ε и σ не находятся въ простомъ соотношеніи, какъ обыкновенное нормальное напряженіе и удлиненіе ($\varepsilon = \sigma\alpha$, см. стр. 331).

Если представить себѣ, что главныя удлиненія ε_{max} и ε_{min} произошли отъ дѣйствія двухъ напряженій σ'_{max} и σ'_{min} согласно уравненію $\varepsilon = \alpha\sigma$, то напряженія σ'_{max} и σ'_{min} назыв. **идеальными напряженіями.**

Каждое изъ главныхъ напряженій σ_{max} и σ_{min} вызываетъ осевое удлиненіе по направленію этого напряженія и поперечное измѣненіе длины по направленію къ нему перпендикулярному; σ_{max} и σ_{min} могутъ быть поэтому замѣнены идеальными напряженіями σ'_{max} и σ'_{min}, изъ которыхъ каждое, дѣйствуя по одному лишь своему направленію, вызываетъ деформацію, которая получается отъ совмѣстнаго дѣйствія силъ σ_{max} и σ_{min}.

Черт. 209.



1. **Главныя напряженія** въ опредѣленной точкѣ сѣченія получаются изъ нормальнаго напряженія σ и сдвигающаго напряженія τ:

$$\sigma\frac{\max}{\min} = {}^1/_2\,\sigma \pm {}^1/_2\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}.$$

Построеніе σ_{max} и σ_{min} см. черт. 209.

Верхній знакъ для наибольшаго напряженія при вытягиваніи, нижній знакъ для наибольшаго напряженія при сжатіи.

НТБ ДНУЗТ

Уголъ ψ наклоненія $\sigma\frac{max}{min}$ къ оси балки опредѣляется изъ уравненія:

$$tg\,2\psi = \mp 2\tau : \sigma.$$

Отсюда слѣдуетъ, что направленіе наибольшаго растягивающаго напряженія перпендикулярно къ направленію наибольшаго сжимающаго напряженія, или что главныя напряженія перпендикулярны другъ къ другу.

При $\tau = 0$ (напр. для тѣхъ частей сѣченія, которыя всего болѣе удалены отъ нейтральной оси) имѣемъ $\psi = 0$, и $\sigma_{max} = \sigma$, $\sigma_{min} = 0$, т.-е. наибольшее удлиненіе имѣетъ мѣсто по направленію оси балки. Для $\sigma = 0$ (для нейтральной оси) имѣемъ $\psi = \mp 45^0$, $\sigma_{max} = +\tau$, $\sigma_{min} = -\tau$, и, слѣд., одни сдвигающія напряженія вызываютъ главныя напряженія въ плоскостяхъ, наклоненныхъ къ оси балки подъ угломъ 45^0.

Наибольшія напряженія матеріала (идеальныя напряженія), поэтому, опредѣляются слѣдующимъ образомъ:

$$\sigma'\frac{max}{min} = \frac{m-1}{2m}\sigma \pm \frac{m+1}{2m}\sqrt{\sigma^2 + 4(\alpha_0\tau)^2},$$

гдѣ $m = {}^{10}/_{3}$ = отнош. $\varepsilon : \varepsilon_q$ (болѣе подробно см. стр. 323),

$\alpha_0 = k_z : \frac{m+1}{m} k_s$ и соотв. $\alpha_0 = k : \frac{m+1}{m} k_s$ (по К. Баху). Для вполнѣ однородныхъ тѣлъ $\alpha_0 = 1$, въ другихъ случаяхъ α_0 опредѣляется по табл. стр. 341.

Для $m = {}^{10}/_{3}$ имѣемъ:

$$\sigma'\frac{max}{min} = 0{,}35\,\sigma \pm 0{,}65\sqrt{\sigma^2 + 4(\alpha_0\tau)^2},$$

гдѣ $\alpha_0 = k_z : 1{,}3\,k_s$ и соотв. $\alpha_0 = k : 1{,}3\,k_s$.

2. Плоскость моментовъ произвольная.

(Несимметрическая нагрузка).

Подъ **направленіемъ дѣйствія силъ** подразумѣвается линія пересѣченія плоскости моментовъ, проходящей черезъ ось центровъ тяжести сѣченій балки, съ плоскостью сѣченія балки; пусть обозначаютъ:

J_x и J_y моменты инерціи относительно двухъ произвольныхъ прямоугольныхъ координатныхъ осей X и Y, проходящихъ черезъ центръ тяжести,

$J_{max} = J_I$; $J_{min} = J_{II}$ главные моменты инерціи,

α уголъ между направленіемъ дѣйствія силы и первою главною

β „ „ нейтральною (пулевою) осью } осью SI (для J_{max}),

δ „ направленіемъ дѣйствія силы и нейтральною осью.

1. Соотношенія между направленіемъ дѣйствія силы и нейтральною осью.

Направленіе дѣйствія силъ и нейтральная ось образуютъ двѣ сопряженныя оси сѣченія (для которыхъ центробѣжный мо-

НТБ ДНУЗТ

ментъ = 0). Каждое изъ обоихъ направленій можетъ быть, поэтому, опредѣлено по другому при помощи круга инерціи (см. черт. 114, стр. 187). Если даны главныя оси сѣченія, то нейтральная ось сѣченія находится также и безъ построенія круга инерціи на основаніи нижеприведенаго построенія (см. 2). Аналитически имѣемъ величину β изъ соотношенія

$$\operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\beta = J_{\mathrm{I}} \quad J_{\mathrm{II}}.$$

2. Опредѣленіе напряженія.

α) Даны **главныя оси** SI съ $J_{\max} = J_{\mathrm{I}}$ и SII съ $J_{\min} = J_{\mathrm{II}}$.

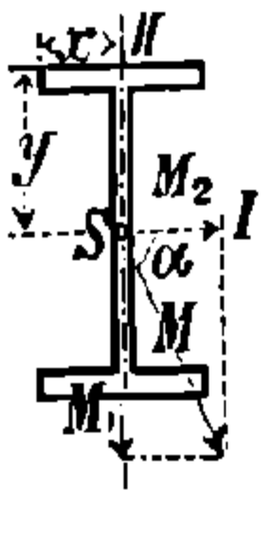
Аналитическій способъ (см. черт. 210). Если

$M_1 = M \sin\alpha =$ составляющій моментъ, перпендикулярный къ SI,

$M_2 = M \cos\alpha =$ „ „ „ „ SII,

то напряженіе въ любой точкѣ, имѣющей координату x, параллельно SI, и y, параллельно SII,

Черт. 210.



$$\sigma = \frac{M_1}{J_{\mathrm{I}}} y + \frac{M_2}{J_{\mathrm{II}}} x.$$

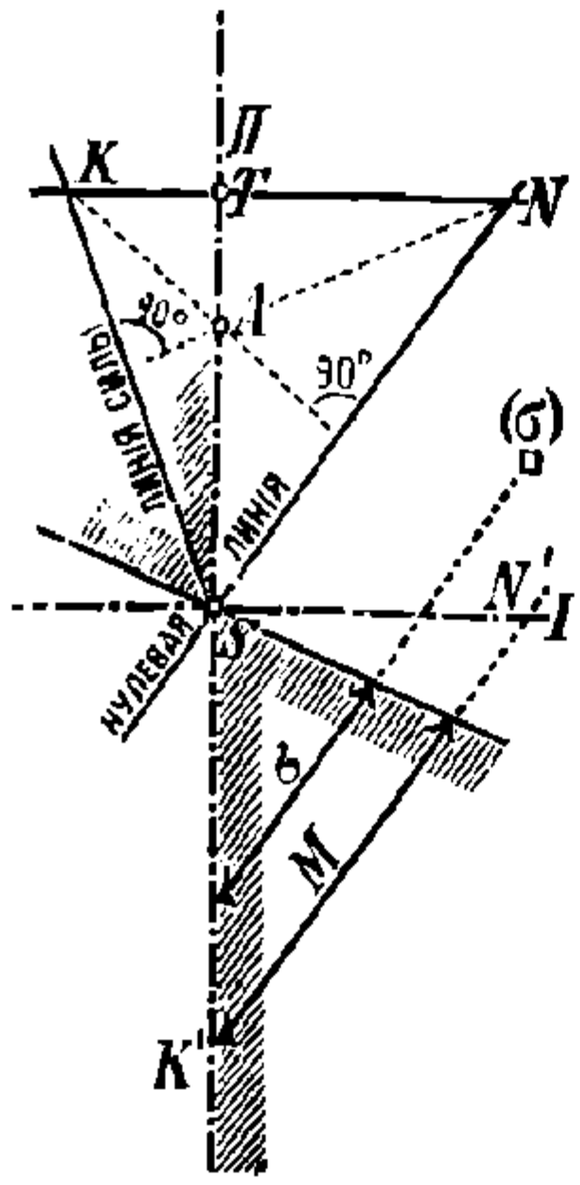
$\sigma_{\max}$ получится, если для x и y подставить координаты точки, наиболѣе удаленной отъ соотвѣтствующей нейтральной оси, причемъ нейтральная ось должна быть предварительно опредѣлена графическимъ путемъ согласно черт. 211 или 212. Для сѣченій двутавровыхъ и коробчатыхъ имѣемъ:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_1}{W_1} + \frac{M_2}{W_2},$$

гдѣ W_1 и W_2 моменты сопротивленія относительно главныхъ осей и наиболѣе удаленныхъ (отъ нейтральной оси) точекъ сѣченія.

Графическое построеніе по Роберту Ланду *) (черт. 211).

Черт. 211.



Пусть SK направленіе дѣйствія силъ; откладываемъ по оси SII величину $ST = J_{\mathrm{I}}$, $TA = J_{\mathrm{II}}$; тогда прямыя KTN (параллельная SI) и AN (нормальная къ SK) пересѣкаются въ точкѣ N нейтральной оси, которая перпендикулярна къ KA.

Діаграмма напряженій. Откладываемъ по SI (черт. 211) $SN' = AN$ (или по SII величину $SK' = SK$), затѣмъ черезъ прямую, проведенную въ N' (или K') параллельно SN въ любомъ ея мѣстѣ, откладываемъ значеніе M въ видѣ отрѣзка прямой; прямыя, проведенныя изъ точки S къ концамъ прямой M, даютъ діаграмму напряженій, въ которой напряженія эти берутся въ видѣ ординатъ σ параллельно SN и изъ которой величины $\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\min}$ берутся непосредственно. Масштабъ для σ получается изъ

*) См. Centralbl. d. Bauverw. 1893, стр. 465.

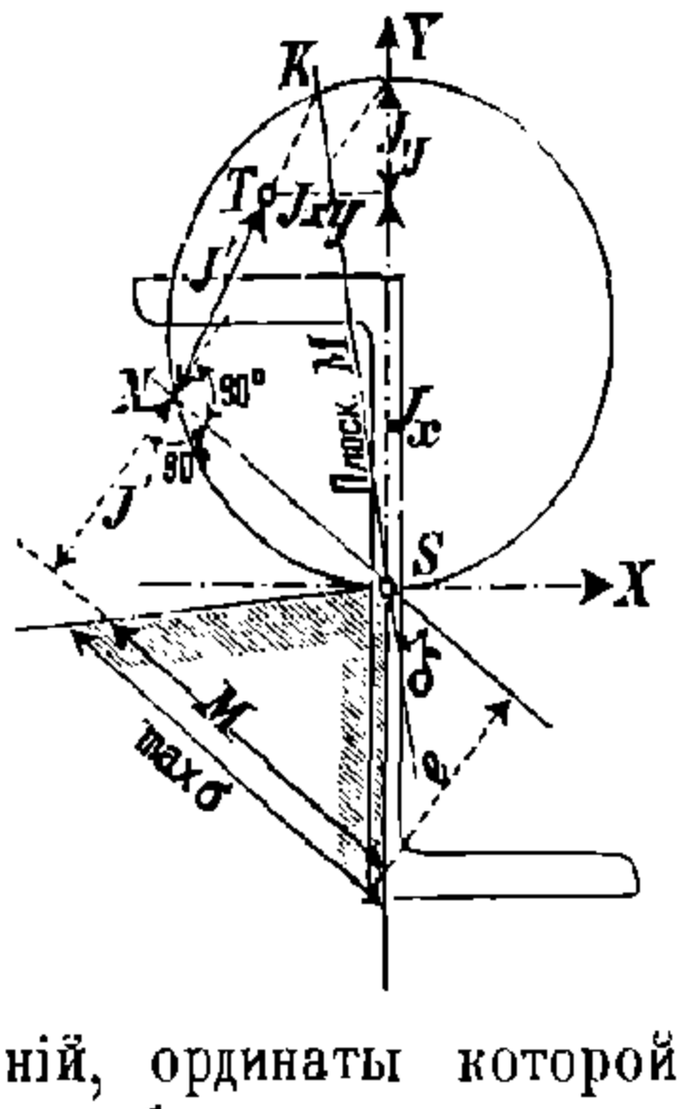
НТБ ДНУЗТ

соотношенія $\sigma = (M : J)\, y$, если вмѣсто буквъ вставить отрѣзки прямыхъ по чертежу.

Примѣръ для масштабовъ. Длины (y): 1 cm = 2 cm въ натурѣ; моменты (M): 1 cm = 5000 cmkg; моменты инерціи (J): 1 cm = 100 cm^4; откуда масштабъ напряженій (σ): $1\text{ cm} = \frac{5000\text{ cmkg} \cdot 2\text{ cm}}{100\text{ cm}^4} = 100$ kg/qcm.

β) Данъ **кругъ инерціи** (опредѣляемый изъ J_x, J_y и J_{xy} для **двухъ произвольныхъ** взаимно-перпендикулярныхъ координатныхъ осей SX и SY, проходящихъ черезъ центръ тяжести, см. стр. 186), черт. 212. Нейтральная ось представляетъ сопряженную ось съ направленіемъ дѣйствія силъ SK, т.-е. направленіе SN, опредѣляемое по хордѣ KTN. Если отрѣзокъ $TN = J'$ и v обозначаетъ разстояніе какой-либо точки сѣченія до его нейтральной оси, то напряженіе въ этой точкѣ, вообще. по Роб. Ланду *).

Черт. 212.



$$\sigma = \frac{M}{J'} v \qquad \sigma_{max} = \frac{M}{J'} e,$$

причемъ $e = v_{max}$.

Діаграмма напряженій. Если на разстояніи $J' = TN$ отъ нейтральной оси провести параллельную къ SN, отложить на ней отрѣзокъ M, то прямыя, проведенныя изъ S къ концамъ отрѣзка M, ограничиваютъ собою діаграмму напряженій, ординаты которой σ параллельны SN и для которыхъ масштабъ опредѣляется по вышеприведенному. Удобство этого способа заключается въ томъ, что нѣтъ необходимести знать направленія главныхъ осей.

3. **Полярная діаграмма сопротивленій** (по Роб. Ланду) **)

По 2., β) (см. выше) имѣемъ: $\sigma_{max} = \frac{M}{J'} e = \frac{M}{W'}$, гдѣ черезъ $W' = \frac{J'}{e} = \frac{J}{e \sin \delta}$ назовемъ **величину сопротивленія** для нейтральной оси SN. (J—моментъ инерціи относительно SN). Слѣд.:

$W' = W : \sin \delta$, гдѣ W моментъ сопротивленія относительно SN (по стр. 354). Если откладывать на каждомъ направленіи дѣйствія силъ, какъ на лучѣ, проходящемъ черезъ точку S, соотвѣтствующее значеніе W' для соотвѣтственной нейтральной оси отъ точки S по обѣ стороны въ произвольномъ масштабѣ, то эти лучи покрываютъ собою полярно-симметрическую діаграмму сопро-

---

*) См. R. Land, Die Ermittlung der Spannungsverteilung и т. д., Zeitschr. f. Bauwesen, 1892, стр. 554.

**) См. приложеніе къ нѣмецкому Baukalender 1894, стр. 29; далѣе R. Land, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 445.

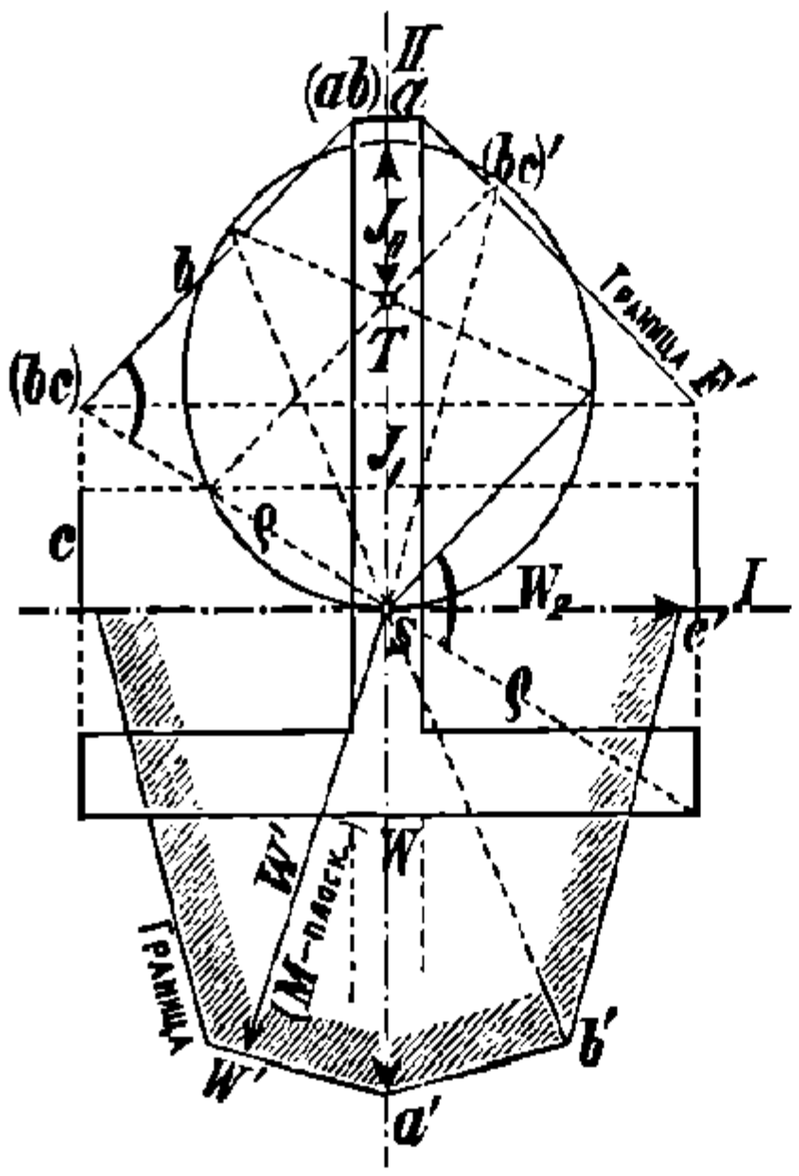
НТБ ДНУЗТ

тивленій, или короче — „площадь W'“, очертаніе которой называютъ предѣльной линіей (границей) W'.

Примѣчаніе. Для каждой нейтральной оси имѣемъ **два момента** сопротивленія $W = J : e$, т.-е. для $e_{max} = e$ и для $e_{min} = e_1$ (на другой сторонѣ нейтральной оси), почему имѣются также и двѣ величины W': $W' = J' : e$ и $W'_1 = J' : e_1$, изъ которыхъ $W' < W_1'$. Если на каждомъ направленіи дѣйствія силъ, проходящемъ черезъ S, откладывать оба момента W' и W'_1, соотвѣтствующіе данной нейтральной оси, и притомъ по направленіямъ противоположнымъ нейтральной оси соотвѣтственно e и e_1, то получимъ вмѣсто вышеуказанной діаграммы W' **общую діаграмму сопротивленій** W'.

Графическое построеніе и свойства діаграммы W' (черт. 213). Для данной площади F строимъ полярно-симметрическую площадь F', откладывая на каждой оси, проходящей черезъ S, отрѣзокъ ϱ до наиболѣе удаленной точки сѣченія по другую сторону точки S, и чертимъ кругъ инерціи, соотвѣтствующій площади F; если геометрическое мѣсто этихъ точекъ назвать предѣльнымъ очертаніемъ площади (границей) F', то очертаніе площади W' будетъ сопряжено съ этою послѣднею (F') такимъ образомъ, что каждой вершинѣ (bc), опредѣляемой какъ пересѣченіе сторонъ (b и c), соотвѣтствуетъ прямая (b' c') (соединяющая соотвѣтственныя вершины b' и c') и наоборотъ. Лучи Sb' и Sc' имѣютъ при этомъ **направленіе, сопряженное** со сторонами b и c (какъ направленіе дѣйствія силъ и нейтральная ось), равно какъ и оба луча $S(bc)$ площади F' и прямая $b'c'$ площади W', такъ что все очертаніе площади W' опредѣляется по кругу инерціи и одной величинѣ W', опредѣленной вычисленіемъ.

Черт. 213.



Въ виду симметричности очертанія площади W' достаточно построить лишь одну половину этой площади. Очертаніе этой площади отрѣзаетъ на каждой главной оси моментъ сопротивленія W относительно другой главной оси, ибо $\delta = 90^0$, и слѣд., $W' = W : \sin \delta = W$.

Опредѣленіе напряженій. Если W' длина луча площади W' по направленію дѣйствія силы, то, по предыдущему, $\sigma_{max} = M : W'$ (см. форм. V, стр. 354).

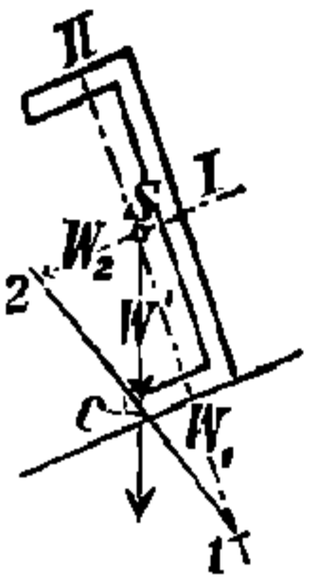
Примѣръ 1. На черт. 213 показана полярно симметричная площадь W' для нормальнаго таврoваго сѣченія № 6/6. Здѣсь $J_1 = 23{,}8\,cm^4$, $J_{II} = 12{,}2\,cm^4$, $W_1 = 5{,}48\,ccm$, $W_2 = 4{,}05$ ccm. Величины, которыя на чертежѣ представлены какъ 1 cm: для размѣровъ сѣченія 2 cm ($^1/_2$ нат. велич.), для $J = 20\,cm^4$, для W' и W 3 = ccm. Если a, b и c представляютъ прямыя очертанія площади F' [съ углами (ab) и (bc)], а a', b' и c' соотвѣтствующія вершины очертанія площади W', то откладываемъ $Sa' = W_1$, $Sc' = W_2$; тогда направленіе $a'b'$ сопряжено съ лучомъ $S(ab)$, а направленіе $c'b$

НТБ ДНУЗТ

сопряжено съ лучомъ $S(bc)$ [т.-е. параллельно $S(bc)'$] и для провѣрки: лучъ Sb' имѣетъ направленіе, сопряженное съ прямой b площади F; одновременно лучъ $S(ac)$ (къ пересѣченію a и c) долженъ быть сопряженъ съ направленіемъ $a'c'$ (на черт. 213 для ясности не построены).

Примѣръ 2. Наклонно установленное коробчатое сѣченіе нагружено вертикально (черт. 214), и пусть наибольшій моментъ будетъ M. Очертаніе площади W' получится откладываніемъ моментовъ сопротивленія относительно первой и второй главной осей $W_1 = S1$ (нормально къ SI) и $W_2 = S2$ (нормально къ SII), масштабъ 1 cm = 20 ccm. Прямая 12 образуетъ границу очертанія площади W' и пересѣкается вертикальной прямой (направленія дѣйствія силъ) въ c. Тогда $\sigma_{max} = M : W'$, гдѣ $W' = Sc$ измѣряется какъ и W_1 и W_2.

Черт. 214.



4. Опредѣленіе поперечныхъ сѣченій.

Для часто примѣняемыхъ профилей двутавровыхъ и коробчатыхъ балокъ можно, на основаніи уравненія для σ_{max} (2. α, стр. 358), при заданномъ k_b, направленіи плоскости моментовъ (дѣйствія силъ) и главныхъ осей, пользоваться слѣдующимъ способомъ. Данный моментъ M разлагаютъ на два составляющихъ момента: M_1 нормально къ первой главной оси SI и M_2 нормально ко второй главной оси SII (черт. 210, стр. 358); тогда необходимый моментъ сопротивленія будетъ

$$W_1 = (M_1 + u\,M_2) : k_b, \text{ гдѣ } u = W_1 : W_2.$$

Затѣмъ принимаютъ предварительно нѣкоторую примѣрную величину для u, которая для двутавровыхъ балокъ = 9, а для коробчатыхъ балокъ = 7 *), и находятъ по формулѣ величину W_1, для которой подбираютъ соотвѣтствующее сѣченіе; для этого сѣченія находятъ точнѣе отношеніе $u = W_1 \; W_2$ и снова вычисляютъ болѣе точно величину W_1, по которой уже находится сѣченіе.

Примѣръ. Двутавровая балка воспринимаетъ горизонтальный распоръ отъ свода съ одной стороны, причемъ дѣйствуютъ слѣдующіе составляющіе моменты M, разсчитанные для средины балки: $M_1 = 50\,000$ cmkg (въ вертикальной плоскости) и $M_2 = 100\,000$ cmkg (въ горизонтальной плоскости). Для $k_b = 1000$ kg/qcm имѣемъ по вышеприведенной формулѣ: $W_1 = (50\,000 + 9 \,.\, 100\,000) : 1000 = 950$ ccm.

Наиболѣе подходитъ балка № 36 съ $W_1 = 1088$ ccm, для котораго $u = W_1 \; W_2 = 9{,}53$, слѣд. точнѣе будемъ имѣть:

$$W_1 = (50\,000 + 9{,}53 \,.\, 100\,000) : 1000 = 1003 \text{ ccm},$$

т.-е. сѣченіе № 36 является достаточнымъ.

c. Упругія деформаціи прямыхъ балокъ.

За начало прямоугольныхъ координатъ принимаемъ опору балки, за ось x-овъ принимаемъ предварительно прямую ось (центровъ тяжести сѣченій) балки.

---

*) См. также Rob. Land, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 293 и 1007; 1898, стр. 444. Величины u для Германскихъ профилей см. въ Deutsches Normalprofil-Buch für Walzeisen, изд. 5, 1897.

НТБ ДНУЗТ

1. Относительное **вращеніе** двухъ сѣченій балки x_1 и x_2 выражается, если моментъ инерціи $J =$ постоян.:

$$\alpha = \int_{x_1}^{x_2} \frac{M.dx}{EJ} = \frac{1}{EJ}\int_{x_1}^{x_2} M.dx = \frac{1}{EJ}\Big[\text{площадь моментовъ}\Big]_{x_1}^{x_2}.$$

E см. стр. 331, 334 и слѣд.—Если J перемѣнно, то въ формулу для J необходимо подставить нѣкоторое постоянное J_c (цѣлесообразно наибольшее изъ имѣющихся J), а вмѣсто данной площади моментовъ—нѣкоторую измѣненную, ординаты которой

$$M' = M(J_c : J).$$

2. Упругая линія представляетъ изогнутую отъ дѣйствія внѣшнихъ силъ (первоначально прямую) ось (центровъ тяжести сѣченій) балки; для ея радіуса кривизны ϱ имѣемъ формулу

$$\varrho = \frac{EJ}{M} \qquad \text{VII.}$$

Ось балки при прогибѣ пріобрѣтаетъ лишь весьма малый наклонъ, такъ что въ общей формулѣ для ϱ (стр. 99) можно принять приблизительно $ds = dx$. Отсюда получается **дифференціальное уравненіе упругой линіи**:

$$\pm\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EJ} = \frac{1}{\varrho} \qquad \text{VIII.}$$

Двойнымъ интегрированіемъ этого уравненія получаемъ уравненіе упругой линіи, причемъ постоянныя при интегрированіи даются въ зависимости отъ устройства и расположенія опоръ балки. Для неподвижной или горизонтально скользящей опоры $y = 0$, а для закрѣпленнаго конца балки $dy : dx = 0$. **Точки перегиба** (см. стр. 102) упругой линіи имѣютъ мѣсто тамъ, гдѣ $M = 0$ (т.-е. $\varrho = \infty$). Условіе, при которомъ упругая линія будетъ **кругъ**, выражается:

$$\frac{\varrho}{E} = \frac{J}{M} = \text{постоян.}$$

Уравненіе упругой линіи для различныхъ способовъ нагрузки см. стр. 374 по 379.

3. Механическая работа при изгибѣ. Отъ дѣйствія изгибающаго момента M элементъ dx бруса испытываетъ вращеніе $dx : \varrho$, измѣренное дугой радіуса $= 1$; слѣд. механическая работа, которая производится при этомъ вращеніи, будетъ:

$$A = \frac{1}{2}\int_0^l M\frac{dx}{\varrho} = \frac{1}{2}\int_0^l \frac{M^2.dx}{EJ}.$$

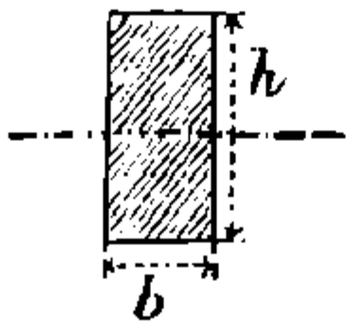
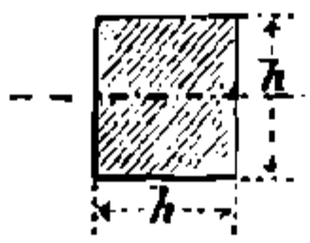
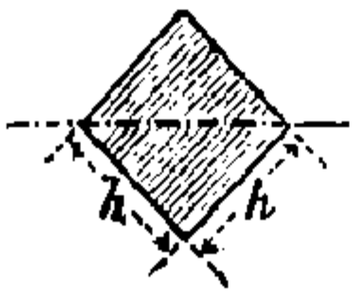
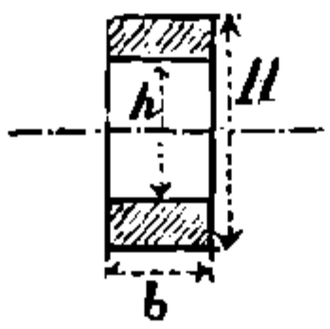
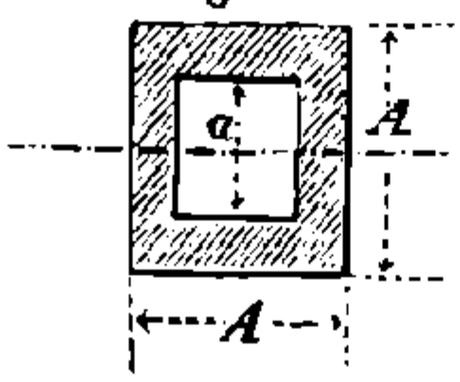
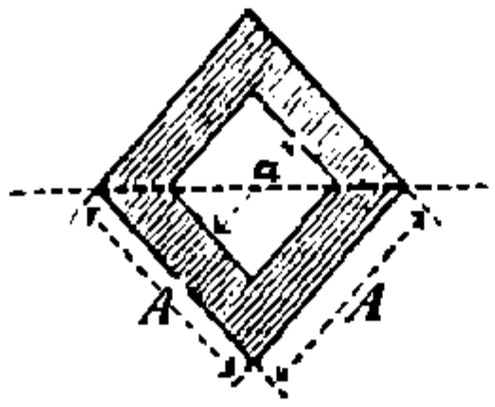
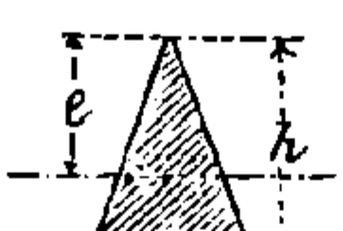
НТБ ДНУЗТ

d. Моменты инерціи и моменты сопротивленія.

(Подробно см. стр. 181 и слѣд., графическое опредѣленіе моментовъ инерціи стр. 185 и сл., опредѣленіе мом. инерціи помощью маятника стр. 212).

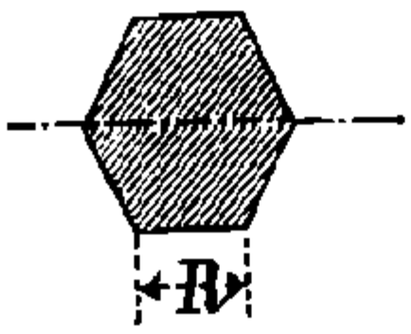
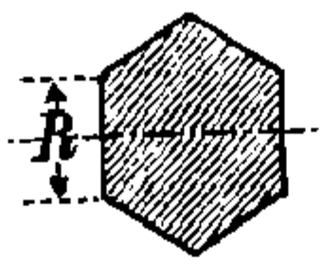
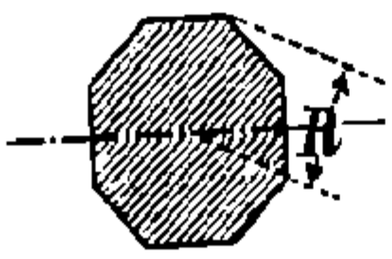
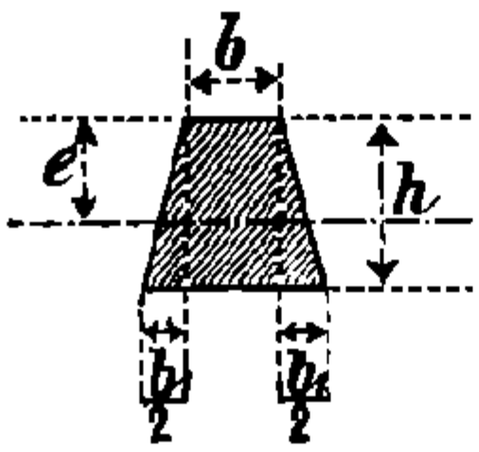
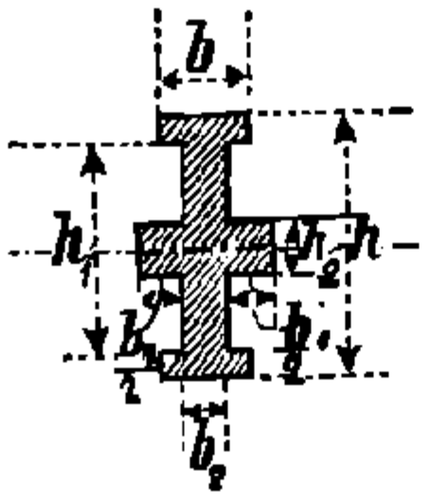
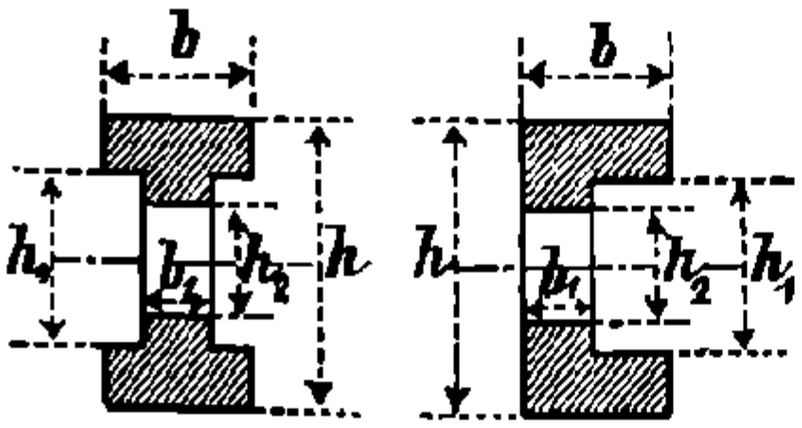
Таблица экваторіальныхъ моментовъ инерціи и моментовъ сопротивленія наиболѣе употребительныхъ сѣченій.

(Для **несимметричныхъ** сѣченій № 7, 12 необходимо принимать **меньшій** изъ двухъ моментовъ сопротивленій W_1 и W_2; см. стр. 354). J и W для нормальныхъ профилей желѣза см. отд. VIII, матеріалы; для **клепаныхъ балокъ** ч. II, строительная механика; для **желѣзнодорожныхъ** рельсовъ ч. II, желѣзнодор. дѣло.

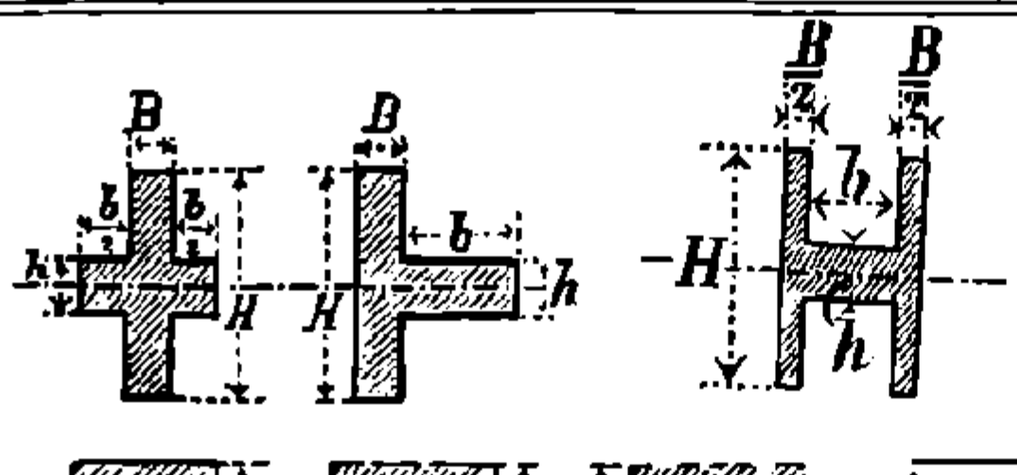
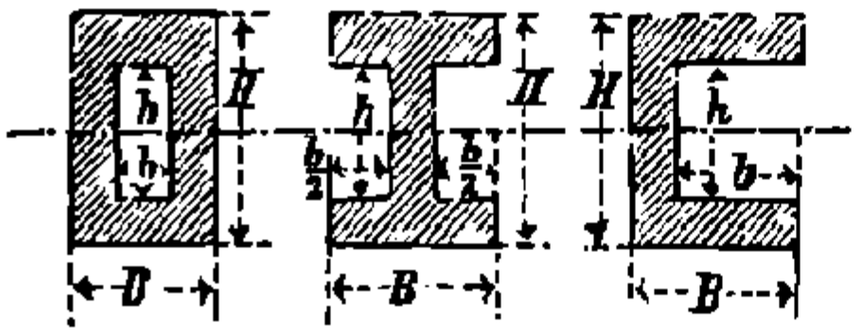
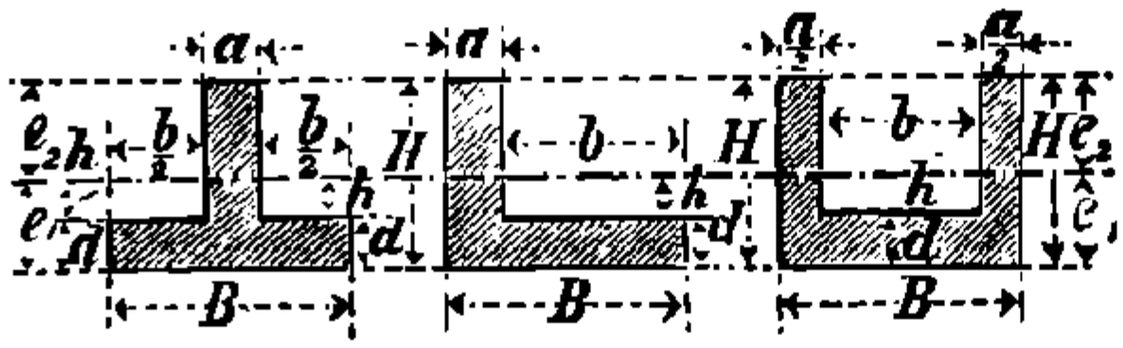
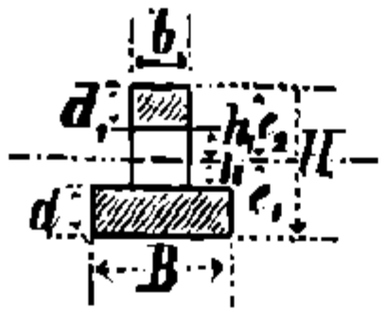
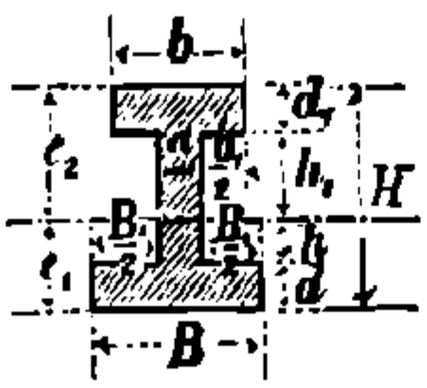
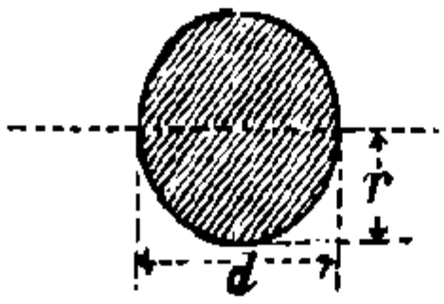
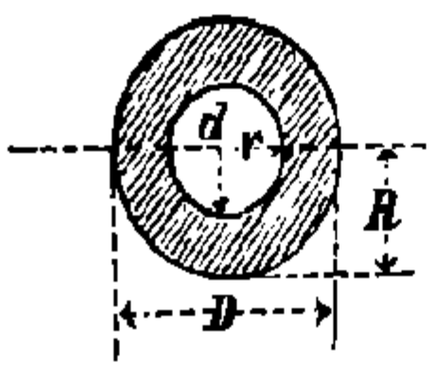
№	Форма сѣченія.	Моментъ инерціи.	Моментъ сопротивленія.
1 *)		$J = \frac{b\,h^3}{12}$.	$W = \frac{b\,h^2}{6}$.
2 **)		$J = \frac{h^4}{12}$.	$W = \frac{h^3}{6}$.
3 **)		$J = \frac{h^4}{12}$.	$W = \frac{\sqrt{2}}{12} h^3 = 0{,}1179\,h^3$.
4		$J = \frac{b}{12}(H^3 - h^3)$.	$W = \frac{b}{6}\,\frac{H^3 - h^3}{H}$.
5 ***)		$J = \frac{A^4 - a^4}{12}$.	$W = \frac{1}{6}\,\frac{A^4 - a^4}{A}$.
6 ***)		$J = \frac{A^4 - a^4}{12}$.	$W = \frac{\sqrt{2}}{12}\,\frac{A^4 - a^4}{A} = 0{,}1179\,\frac{A^4 - a^4}{A}$.
7 ****)		$J = \frac{b\,h^3}{36}$ $e = \frac{2}{3}h$.	$W = \frac{b\,h^2}{24}$

*) Подробную таблицу см. стр. 370 и слѣд; кромѣ того, см. стр. 189.
**) Подробную таблицу см. стр. 369.
***) Для этого сѣченія можно пользоваться таблицей стр. 369.
****) Подробныя данныя см. стр. 188.

НТБ ДНУЗТ

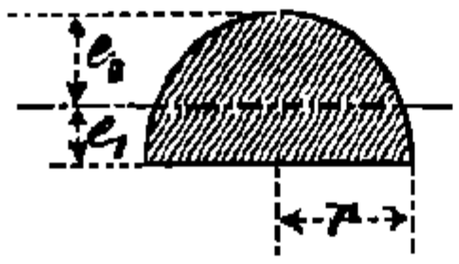
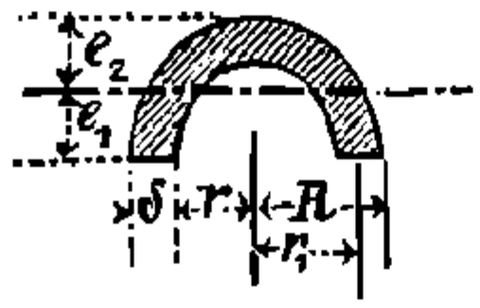
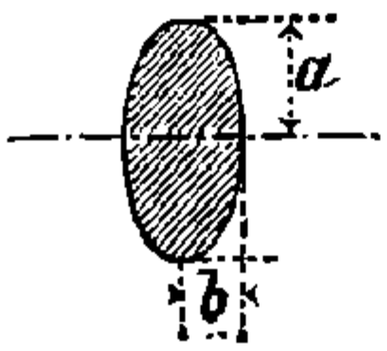
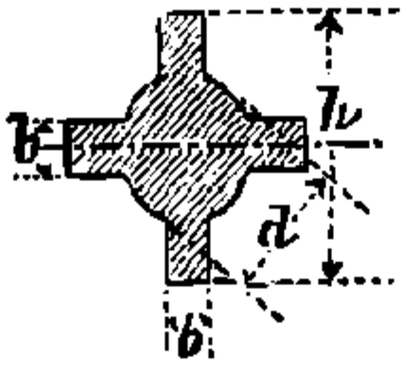
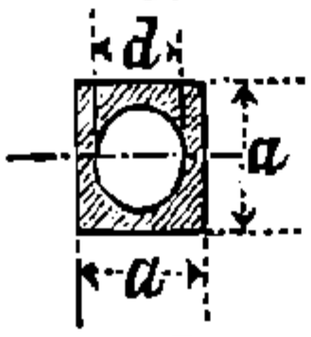
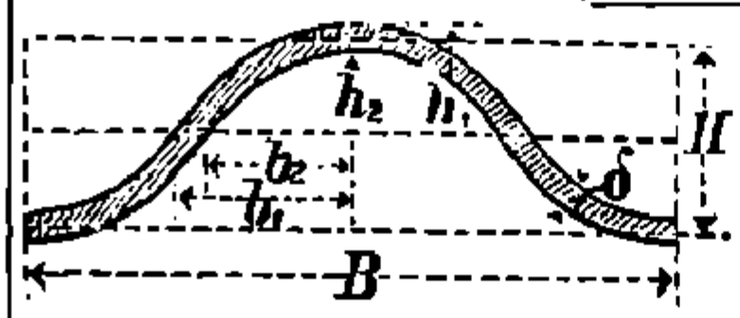
№	Форма сѣченія.	Моментъ инерціи.	Моментъ сопротивленія.
8		$J = \frac{5\sqrt{3}}{16} R^4 = 0{,}5413\, R^4.$	$W = \frac{5}{8} R^3.$
9			$W = 0{,}5413\, R^3.$
10		$J = \frac{1+2\sqrt{2}}{6} R^4 = 0{,}6381\, R^4.$	$W = 0{,}6906\, R^3.$
11	**Правильный многоугольникъ** о n сторонахъ, у котораго a сторона, F площадь, R радіусъ описаннаго круга и r рад. вписан. круга. Моментъ инерціи относительно произвольной оси, проходящей черезъ центръ. (Подробно см. стр. 35 и 132).	$J = \frac{F}{24}(6R^2 - a^2) = \frac{F}{48}(12r^2 + a^2).$ $J \sim \frac{F R^2}{4}.$	$W \sim \frac{F R}{4}.$
12		$J = \frac{6b^2+6bb_1+b_1^2}{36(2b+b_1)} h^3.$ $e = \frac{1}{3}\frac{3b+2b_1}{2b+b_1} h.$	$W = \frac{6b^2+6bb_1+b_1^2}{12(3b+2b_1)} h^2.$
13		$J = \frac{bh^3-(b-b_2)h_1^3+b_1h_2^3}{12}.$	$W = \frac{bh^3-(b-b_2)h_1^3+b_1h_2^3}{6h}.$
14		$J = \frac{b(h^3-h_1^3)+b_1(h_1^3-h_2^3)}{12}.$ $W = \frac{b(h^3-h_1^3)+b_1(h_1^3-h_2^3)}{6h}.$	

НТБ ДНУЗТ

№	Форма сѣченія.	Моментъ инерціи.	Моментъ сопротивленія.
15		$J = \frac{BH^3 + bh^3}{12}$.	$W = \frac{BH^3 + bh^3}{6H}$.
16		$J = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$.	$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$.
17		$J = 1/3\,(Be_1^3 - bh^3 + ae_2^3)$. $e_1 = \frac{1}{2}\frac{aH^2 + bd^2}{aH + bd}$; $e_2 = H - e_1$.	
18		$J = 1/3\,[B(e_1^3 - h^3) + b(e_2^3 - h_1^3)]$. $e_1 = \frac{1}{2}\frac{Bd^2 + bd_1(2H - d_1)}{Bd + bd_1}$. $e_2 = H - e_1$.	
19		$J = 1/3\,[Be_1^3 - B_1h^3 + be_2^3 - b_1h_1^3]$. $e_1 = \frac{1}{2}\frac{aH^2 + B_1d^2 + b_1d_1(2H - d_1)}{aH + B_1d + b_1d_1}$.	
20 *)		$J = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4}$ $= 0{,}0491\,d^4$ $= 0{,}7854\,r^4$ $= F\left(\frac{r}{2}\right)^2 = \frac{F}{4}r^2$. $J \backsim 0{,}05\,d^4$.	$W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi r^3}{4}$ $= 0{,}0982\,d^3$ $= 0{,}7854\,r^3$ $= \frac{F}{4}r$. $W \backsim 0{,}1\,d^3$.
21 **)	 $d_m = 1/2\,(D + d)$, $s = 1/2\,(D - d)$.	$J = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$ $= \frac{\pi}{4}(R^4 - r^4)$ $= 1/4\,F(R^2 + r^2)$. $J \backsim 0{,}05\,(D^4 - d^4)$.	$W = \frac{\pi}{32}\frac{(D^4 - d^4)}{D}$ $= \frac{\pi}{4}\frac{(R^4 - r^4)}{R}$ $W \backsim 0{,}8\,d_m^3 s$.

*) Подробную табл. см. стр. 367.
**) Подробную табл. см. стр. 368.

НТБ ДНУЗТ

№	Форма сѣченія.	Моментъ инерціи.	Моментъ сопротивленія.
22		$J = r^4\left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi}\right) = 0{,}1098\, r^4.$	$W_1 = 0{,}1908\, r^3,$ $W_2 = 0{,}2587\, r^3.$ $e_1 = 0{,}4244\, r.$
23		$J = 0{,}1098\,(R^4 - r^4) - \frac{0{,}283\, R^2 r^2 (R-r)}{R+r}.$ $J \backsim 0{,}3\, \delta\, r_1^3.$	$e_1 = \frac{4}{3\pi}\frac{R^2+Rr+r^2}{R+r}$ $e_2 = R - e_1.$
24		$J = \frac{\pi a^3 b}{4} = 0{,}7854\, a^3 b.$	$W = \frac{\pi a^2 b}{4} = 0{,}7854 a^2 b$
25	**Полый эллипсъ.** a и b наружнія } полуоси. a_1 и b_1 внутреннія } оси. $a - a_1 = b - b_1 = \delta =$ =средн. толщинѣ. J и W отнесены къ оси $2b$.	$J = \frac{\pi}{4}(a^3 b - a_1^3 b_1)$ $\backsim \frac{\pi}{4} a^2 (a+3b)\,\delta.$	$W \backsim \frac{\pi}{4} a\,(a+3b)\,\delta.$
26		$J = \frac{1}{12}\left[\frac{3\pi}{16} d^4 + b\,(h^3 - d^3) + b^3 (h-d)\right].$ $W = \frac{1}{6h}\left[\frac{3\pi}{16} d^4 + b\,(h^3 - d^3) + b^3 (h-d)\right].$	
27		$J = \frac{1}{12}\left(a^4 - \frac{3\pi}{16} d^4\right).$	$W = \frac{1}{6a}\left(a^4 - \frac{3\pi}{16} d^4\right).$
28 *)	**Балочное волнистое желѣзо.**	$J = \frac{\delta}{4}\left(\frac{\pi B^3}{16} + B^2 h + \frac{\pi B h^2}{2} + \frac{2}{3} h^3\right),$ гдѣ $h = H - {}^1/_2 B.$ $W = \frac{2J}{H+\delta}.$	
29 *)	 **Пологое волнистое желѣзо. (Профиль волны изъ дугъ параболы).**	$J = \frac{64}{105}(b_1 h_1^3 - b_2 h_2^3)$, гдѣ $h_1 = {}^1/_2 (H+\delta),$ $h_2 = {}^1/_2 (H-\delta),$ $b_1 = {}^1/_6 (B + 2{,}6\,\delta),$ $b_2 = {}^1/_6 (B - 2{,}6\,\delta).$ $W = \frac{2J}{H+\delta}.$	

*) Дальнѣйшія данныя для **волнистаго желѣза** см. отдѣлъ VIII, строит. матеріалы, II.

НТБ ДНУЗТ

1. Круглое сѣченіе.

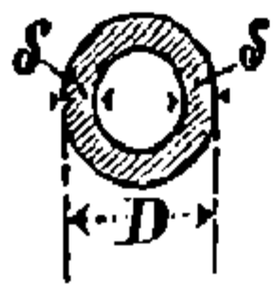
J = экваторіальный моментъ инерціи, W = моментъ сопротивленія.

d	$J=\frac{\pi d^4}{64}$	$W=\frac{\pi d^3}{32}$	d	$J=\frac{\pi d^4}{64}$	$W=\frac{\pi d^3}{32}$	d	$J=\frac{\pi d^4}{64}$	$W=\frac{\pi d^3}{32}$
1	0,0491	0,0982	34	65597	3859	67	989166	29527
2	0,7854	0,7854	35	73662	4209	68	1049556	30869
3	3,976	2,651	36	82448	4580	69	1112660	32251
4	12,57	6,283	37	91998	4973	70	1178588	33674
5	30,68	12,27	38	102354	5387	71	1247393	35138
6	63,62	21,21	39	113561	5824	72	1319167	36644
7	117,9	33,67	40	125664	6283	73	1393995	38192
8	201,1	50,27	41	138709	6766	74	1471963	39783
9	322,1	71,57	42	152745	7274	75	1553156	41417
10	490,9	98,17	43	167820	7806	76	1637662	43096
11	718,7	130,7	44	183984	8363	77	1725571	44820
12	1018	169,6	45	201289	8946	78	1816972	46589
13	1402	215,7	46	219787	9556	79	1911967	48404
14	1886	269,4	47	239531	10193	80	2010619	50265
15	2485	331,3	48	260576	10857	81	2113051	52174
16	3217	402,1	49	282979	11550	82	2219347	54130
17	4100	482,3	50	306796	12272	83	2329605	56135
18	5153	572,6	51	332086	13023	84	2443920	58189
19	6397	673,4	52	358908	13804	85	2562392	60292
20	7854	785,4	53	387323	14616	86	2685120	62445
21	9547	909,2	54	417393	15459	87	2812205	64648
22	11499	1045	55	449180	16334	88	2943748	66903
23	13737	1194	56	482750	17241	89	3079853	69210
24	16286	1357	57	518166	18181	90	3220623	71569
25	19175	1534	58	555497	19155	91	3366165	73982
26	22432	1726	59	594810	20163	92	3516586	76448
27	26087	1932	60	636172	21206	93	3671992	78968
28	30172	2155	61	679651	22284	94	3832492	81542
29	34719	2394	62	725332	23398	95	3998198	84173
30	39761	2651	63	773272	24548	96	4169220	86859
31	45333	2925	64	823550	25736	97	4345671	89601
32	51472	3217	65	876240	26961	98	4527664	92401
33	58214	3528	66	931420	28225	99	4715315	95259
						100	4908738	98175

$\pi : 64 = 0{,}0490874$; $\log(\pi : 64) = 0{,}6909699 - 2.$

$\pi : 32 = 0{,}0981748$; $\log(\pi : 32) = 0{,}9919999 - 2.$

НТБ ДНУЗТ



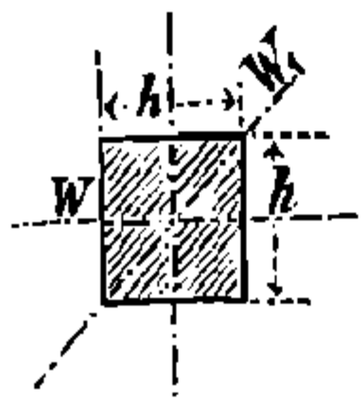
2. Кольцевое сѣченіе.

Вѣса *g* относятся до **гладк. чугунныхъ трубъ (колоннъ)** (въ kg на ног. метръ). Вѣсъ 1 cbm. чугуна 7250 kg. Для **сварочнаго желѣза**, для **литого желѣза** и для **литой стали** эти цифры необходимо помножить на 1,076 и соотв. на 1,083 и 1,084.

Наружній діаметръ.	Толщ. стѣнокъ.	Сѣченіе.	Моментъ сопротивленія.	Моментъ инерціи.	Вѣсъ чугунной трубы.	Наружній діаметръ.	Толщ. стѣнокъ.	Сѣченіе.	Моментъ сопротивленія.	Моментъ инерціи.	Вѣсъ чугунной трубы.
D	*δ*	*F*	*W*	*J*	*g*	*D*	*δ*	*F*	*W*	*J*	*g*
mm	mm	qcm	ccm	cm⁴	kg/m	mm	mm	qcm	ccm	cm⁴	kg/m
100	10	28,27	57,96	289,81	20,50	170	25	113,88	362,6	3082	82,57
	12	33,18	65,42	327,1	24,05		28	124,91	384,8	3271	90,56
	15	40,06	74,59	373,0	29,04		30	131,95	397,8	3381	95,66
	18	46,37	81,70	408,5	33,62	180	15	77,75	296,4	2668	56,38
	20	50,27	85,45	427,3	36,44		18	91,61	338,0	3042	66,42
110	12	36,95	81,85	450,2	26,79		20	100,53	363,0	3267	72,88
	15	44,77	94,11	517,6	32,46		22	109,20	386,1	3475	79,17
	18	52,02	103,90	571,5	37,72		25	121,74	416,8	3751	88,26
	20	56,55	109,2	600,8	40,99		28	133,71	443,6	3992	96,94
120	12	40,71	100,2	601,0	29,52		30	141,37	459,5	4135	102,49
	15	49,48	116,0	695,8	35,88		35	159,44	492,7	4434	115,59
	18	57,68	128,9	773,5	41,82	190	15	82,47	334,8	3180	59,79
	20	62,83	136,1	816,8	45,56		18	97,26	382,8	3636	70,52
130	12	44,48	120,3	782,3	32,25		20	106,81	411,8	3912	77,44
	15	54,19	140,2	911,1	39,29		22	116,11	438,7	4168	84,18
	18	63,33	156,8	1019	45,92		25	129,59	474,9	4511	93,95
	20	69,11	166,1	1080	50,11		28	142,50	506,8	4814	103,31
	22	74,64	174,4	1134	54,12		30	150,80	525,8	4995	109,33
	25	82,47	184,8	1201	59,79		35	170,43	566,2	5379	123,56
140	12	48,26	142,4	997	34,98	200	15	87,18	375,4	3754	63,20
	15	58,90	166,7	1167	42,70		18	102,92	430,3	4303	74,62
	18	68,99	187,4	1311	50,02		20	113,10	463,7	4637	82,00
	20	75,40	199,3	1395	54,66		25	137,44	536,9	5369	99,65
	22	81,56	209,9	1469	59,13		28	151,30	574,3	5743	109,69
	25	90,32	223,4	1564	65,49		30	160,22	596,8	5968	116,16
150	15	63,62	195,6	1467	46,12		35	181,43	645,2	6452	131,53
	18	74,65	220,8	1656	54,12	225	20	128,81	607,2	6831	93,38
	20	81,68	235,5	1766	59,22		25	157,08	709,0	7977	113,88
	22	88,47	248,8	1866	64,14		30	183,78	794,9	8942	133,24
	25	98,18	265,9	1994	71,17		35	208,92	866,4	9747	151,46
	28	107,32	280,2	2102	77,80	250	22	157,58	827,0	10334	114,25
160	15	68,33	226,9	1815	49,54		25	176,72	905,7	11320	128,12
	18	80,30	257,1	2056	58,22		30	207,35	1022	12778	150,33
	20	87,97	274,9	2199	63,77		35	236,41	1122	14022	171,39
	22	95,38	291,1	2329	69,15	275	25	196,35	1127	15493	142,35
	25	106,03	312,3	2498	76,87		30	230,91	1279	17585	167,41
	28	116,11	330,3	2643	84,18		35	263,89	1411	19397	191,32
	30	122,52	340,8	2726	88,83	300	28	239,26	1491	22359	173,47
170	15	73,04	260,5	2214	52,96		30	254,47	1565	23472	184,49
	18	85,95	296,1	2517	62,32		35	291,38	1735	26021	211,25
	20	94,25	317,4	2698	68,33	350	30	301,59	2225	38938	218,56
	22	102,29	336,8	2863	74,16		35	346,36	2485	43484	251,11

НТБ ДНУЗТ

3. Квадратное сѣченіе.



$J = \frac{h^4}{12}$ = моментъ инерціи для всѣхъ осей, проходящихъ черезъ центръ тяжести.

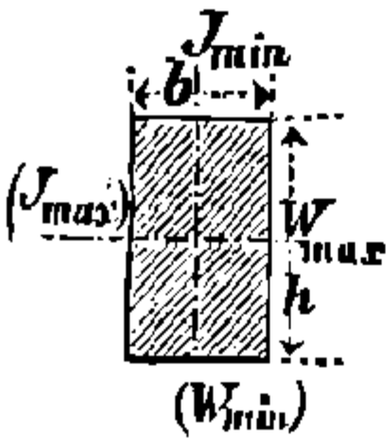
$W = \frac{h^3}{6}$ = моментъ сопротивленія относительно осей, проходящихъ черезъ центръ тяжести и параллельныхъ сторонамъ.

$W_1 = \frac{\sqrt{2}}{12} h^3 = 0{,}117\,851\,130\, h^3$ = моментъ сопротивленія относительно осей, совпадающихъ съ діагоналями.

h	J	W	W_1	h	J	W	W_1
1	0,0833	0,1667	0,1179	31	76960	4965,2	3510,9
2	1,3333	1,3333	0,9428	32	87381	5461,3	3861,7
3	6,7500	4,5000	3,1820	33	98827	5989,5	4235,2
4	21,333	10,667	7,5425	34	111361	6550,7	4632,0
5	52,083	20,833	14,731	35	125052	7145,8	5052,8
6	108,00	36,000	25,456	36	139968	7776,0	5498,4
7	200,08	57,167	40,423	37	156180	8442,2	5969,5
8	341,33	85,333	60,340	38	173761	9145,3	6466,7
9	546,75	121,50	85,913	39	192787	9886,5	6990,7
10	833,33	166,67	117,85	40	213333	10667	7542,5
11	1220,1	221.83	156,86	41	235480	11487	8122,3
12	1728,0	288,00	203,64	42	259308	12348	8731,3
13	2380,1	366,17	258,92	43	284900	13251	9369,9
14	3201,3	457,33	323,38	44	312341	14197	10039
15	4218,8	562,50	397,74	45	341719	15188	10739
16	5461,3	682,67	482,71	46	373121	16223	11471
17	6960,1	818,83	579,00	47	406640	17304	12236
18	8748,0	972,00	687,30	48	442368	18432	13033
19	10860	1143,2	808,33	49	480400	19608	13865
20	13333	1333,3	942,81	50	520833	20833	14731
21	16207	1543,5	1091,4	51	563767	22109	15633
22	19521	1774,7	1254,9	52	609301	23435	16571
23	23320	2027,8	1433,9	53	657540	24813	17545
24	27648	2304,0	1629,2	54	708588	26244	18557
25	32552	2604,2	1841,4	55	762552	27729	19607
26	38081	2929,3	2071,3	56	819541	29269	20696
27	44287	3280,5	2319,6	57	879667	30866	21825
28	51221	3658,7	2587,0	58	943041	32519	22994
29	58940	4064,8	2874,2	59	1009780	34230	24204
30	67500	4500,0	3182,0	60	1080000	36000	25456

НТБ ДНУЗТ

4. Прямоугольное сѣченіе.



$$J_{\min} = \frac{b^3 h}{12}.$$

$$W_{\max} = \frac{b h^2}{6}.$$

Примѣчаніе. $J_{\max} = \frac{b h^3}{12}$ получается изъ $W_{\max}$ по таблицѣ черезъ умноженіе на $\frac{h}{2}$;

$W_{\min} = \frac{b^2 h}{6}$ получается изъ $J_{\min}$ по таблицѣ черезъ дѣленіе на $\frac{b}{2}$.

Сѣченіе. h	b	$J_{\min}$.	$W_{\max}$.	Сѣченіе. h	b	$J_{\min}$.	$W_{\max}$.	Сѣченіе. h	b	$J_{\min}$.	$W_{\max}$.
1	1	0,0833	0,1667	8	2	5,3333	21,333	11	6	198,00	121,00
2	1	0,1667	0,6667		3	18,000	32,000		7	314,42	141,17
	2	1,3333	1,3333		4	42,667	42,667		8	469,33	161,33
3	1	0,2500	1,5000		5	83,333	53,333		9	668,25	181,50
	2	2,0000	3,0000		6	144,00	64,000		10	916,67	201,67
	3	6,7500	4,5000		7	228,67	74,667		11	1220,1	221,83
4	1	0,3333	2,6667		8	341,33	85,333	12	1	1,0000	24,000
	2	2,6667	5,3333	9	1	0,7500	13,500		2	8,0000	48,000
	3	9,0000	8,0000		2	6,0000	27,000		3	27,000	72,000
	4	21,333	10,667		3	20,250	40,500		4	64,000	96,000
5	1	0,4167	4,1667		4	48,000	54,000		5	125,00	120,00
	2	3,3333	8,3333		5	93,750	67,500		6	216,00	144,00
	3	11,250	12,500		6	162,00	81,000		7	343,00	168,00
	4	26,667	16,667		7	257,25	94,500		8	512,00	192,00
	5	52,083	20,833		8	384,00	108,00		9	729,00	216,00
6	1	0,5000	6,0000		9	546,75	121,50		10	1000,0	240,00
	2	4,0000	12,000	10	1	0,8333	16,667		11	1331,0	264,00
	3	13,500	18,000		2	6,6667	33,333		12	1728,0	288,00
	4	32,000	24,000		3	22,500	50,000	13	1	1,0833	28,167
	5	62,500	30,000		4	53,333	66,667		2	8,6667	56,333
	6	108,00	36,000		5	104,17	83,333		3	29,250	84,500
7	1	0,5833	8,1667		6	180,00	100,00		4	69,333	112,67
	2	4,6667	16,333		7	285,83	116,67		5	135,42	140,83
	3	15,750	24,500		8	426,67	133,33		6	234,00	169,00
	4	37,333	32,667		9	607,50	150,00		7	371,58	197,17
	5	72,917	40,833		10	833,33	166,67		8	554,67	225,33
	6	126,00	49,000	11	1	0,9167	20,167		9	789,75	253,50
	7	200,08	57,167		2	7,3333	40,333		10	1083,3	281,67
8	1	0,6667	10,667		3	24,750	60,500		11	1441,9	309,83
					4	58,667	80,667		12	1872,0	338,00
					5	114,58	100,83		13	2380,1	366,17

НТБ ДНУЗТ

Сѣченіе. h | b	$J_{min.}$	$W_{max.}$
14 | 1	1,1667	32,667
14 | 2	9,3333	65,333
14 | 3	31,500	98,000
14 | 4	74,667	130,67
14 | 5	145,83	163,33
14 | 6	252,00	196,00
14 | 7	400,17	228,67
14 | 8	597,33	261,33
14 | 9	850,50	294,00
14 | 10	1166,7	326,67
14 | 11	1552,8	359,33
14 | 12	2016,0	392,00
14 | 13	2563,2	424,67
14 | 14	3201,3	457,33
15 | 1	1,2500	37,500
15 | 2	10,000	75,000
15 | 3	33,750	112,50
15 | 4	80,000	150,00
15 | 5	156,25	187,50
15 | 6	270,00	225,00
15 | 7	428,75	262,50
15 | 8	640,00	300,00
15 | 9	911,25	337,50
15 | 10	1250,0	375,00
15 | 11	1663,8	412,50
15 | 12	2160,0	450,00
15 | 13	2746,3	487,50
15 | 14	3430,0	525,00
15 | 15	4218,8	562,50
16 | 1	1,3333	42,667
16 | 2	10,667	85,333
16 | 3	36,000	128,00
16 | 4	85,333	170,67
16 | 5	166,67	213,33
16 | 6	288,00	256,00
16 | 7	457,33	298,67
16 | 8	682,67	341,33
16 | 9	972,00	384,00
16 | 10	1333,3	426,67
16 | 11	1774,7	469,33
16 | 12	2304,0	512,00
16 | 13	2929,3	554,67
16 | 14	3658,7	597,33
16 | 15	4500,0	640,00
16 | 16	5461,3	682,67
17 | 1	1,4167	48,167
17 | 2	11,333	96,333
17 | 3	38,250	144,50
17 | 4	90,667	192,67
17 | 5	177,08	240,83
17 | 6	306,00	289,00
17 | 7	485,92	337,17
17 | 8	725,33	385,33
17 | 9	1032,8	433,50
17 | 10	1416,7	481,67
17 | 11	1885,6	529,83
17 | 12	2448,0	578,00
17 | 13	3112,4	626,17
17 | 14	3887,3	674,33
17 | 15	4781,3	722,50
17 | 16	5802,7	770,67
17 | 17	6960,1	818,83
18 | 1	1,5000	54,000
18 | 2	12,000	108,00
18 | 3	40,500	162,00
18 | 4	96,000	216,00
18 | 5	187,50	270,00
18 | 6	324,00	324,00
18 | 7	514,50	378,00
18 | 8	768,00	432,00
18 | 9	1093,5	486,00
18 | 10	1500,0	540,00
18 | 11	1996,5	594,00
18 | 12	2592,0	648,00
18 | 13	3295,5	702,00
18 | 14	4116,0	756,00
18 | 15	5062,5	810,00
18 | 16	6144,0	864,00
18 | 17	7369,5	918,00
18 | 18	8748,0	972,00
19 | 1	1,5833	60,167
19 | 2	12,667	120,33
19 | 3	42,750	180,50
19 | 4	101,33	240,67
19 | 5	197,92	300,83
19 | 6	342,00	361,00
19 | 7	543,08	421,17
19 | 8	810,67	481,33
19 | 9	1154,3	541,50
19 | 10	1583,3	601,67
19 | 11	2107,4	661,83
19 | 12	2736,0	722,00
19 | 13	3478,6	782,17
19 | 14	4344,7	842,33
19 | 15	5343,8	902,50
19 | 16	6485,3	962,67
19 | 17	7778,9	1022,8
19 | 18	9234,0	1083,0
19 | 19	10860	1143,2
20 | 1	1,6667	66,667
20 | 2	13,333	133,33
20 | 3	45,000	200,00
20 | 4	106,67	266,67
20 | 5	208,33	333,33
20 | 6	360,00	400,00
20 | 7	571,67	466,67
20 | 8	853,33	533,33
20 | 9	1215,0	600,00
20 | 10	1666,7	666,67
20 | 11	2218,3	733,33
20 | 12	2880,0	800,00
20 | 13	3661,7	866,67
20 | 14	4573,3	933,33
20 | 15	5625,0	1000,0
20 | 16	6826,7	1066,7
20 | 17	8188,3	1133,3
20 | 18	9720,0	1200,0
20 | 19	11432	1266,7
20 | 20	13333	1333,3
21 | 1	1,7500	73,500
21 | 2	14,000	147,00
21 | 3	47,250	220,50
21 | 4	112,00	294,00
21 | 5	218,75	367,50
21 | 6	378,00	441,00
21 | 7	600,25	514,50

НТБ ДНУЗТ

Сѣченіе. h	b	$J_{min.}$	$W_{max.}$	Сѣченіе. h	h	$J_{min.}$	$W_{max.}$	Сѣченіе. h	b	$J_{min.}$	$W_{max.}$
	8	896,00	588,00		7	657,42	617,17		2	16,667	208,33
	9	1275,8	661,50		8	981,33	705,33		3	56,250	312,50
	10	1750,0	735,00		9	1397,3	793,50		4	133,33	416,67
	11	2329,3	808,50		10	1916,7	881,67		5	260,42	520,83
	12	3024,0	882,00		11	2551,1	969,83		6	450,00	625,00
	13	3844,8	955,50		12	3312,0	1058,0		7	714,58	729,17
21	14	4802,0	1029,0		13	4210,9	1146,2		8	1066,7	833,33
	15	5906,3	1102,5		14	5259,3	1234,3		9	1518,8	937,50
	16	7168,0	1176,0	23	15	6468,8	1322,5		10	2083,3	1041,7
	17	8597,8	1249,5		16	7850,7	1410,7		11	2772,9	1145,8
	18	10206	1323,0		17	9416,6	1498,8		12	3600,0	1250,0
	19	12003	1396,5		18	11178	1587,0	25	13	4577,1	1354,2
	20	14000	1470,0		19	13146	1675,2		14	5716,7	1458,3
	21	16207	1543,5		20	15333	1763,3		15	7031,3	1562,5
					21	17750	1851,5		16	8533,3	1666,7
	1	1,8333	80,667		22	20409	1939,7		17	10235	1770,8
	2	14,667	161,33		23	23320	2027,8		18	12150	1875,0
	3	49,500	242,00						19	14290	1979,2
	4	117,33	322,67		1	2,0000	96,000		20	16667	2083,3
	5	229,17	403,33		2	16,000	192,00		21	19294	2187,5
	6	396,00	484,00		3	54,000	288,00		22	22183	2291,7
	7	628,83	564,67		4	128,00	384,00		23	25348	2395,8
	8	938,67	645,33		5	250,00	480,00		24	28800	2500,0
	9	1336,5	726,00		6	432,00	576,00		25	32552	2604,2
	10	1833,3	806,67		7	686,00	672,00				
	11	2440,2	887,33		8	1024,0	768,00		1	2,1667	112,67
22	12	3168,0	968,00		9	1458,0	864,00		2	17,333	225,33
	13	4027,8	1048,7		10	2000,0	960,00		3	58,500	338,00
	14	5030,7	1129,3		11	2662,0	1056,0		4	138,67	450,67
	15	6187,5	1210,0		12	3456,0	1152,0		5	270,83	563,33
	16	7509,3	1290,7	24	13	4394,0	1248,0		6	468,00	676,00
	17	9007,2	1371,3		14	5488,0	1344,0		7	743,17	788,67
	18	10692	1452,0		15	6750,0	1440,0		8	1109,3	901,33
	19	12575	1532,7		16	8192,0	1536,0		9	1579,5	1014,0
	20	14667	1613,3		17	9826,0	1632,0	26	10	2166,7	1126,7
	21	16979	1694,0		18	11664	1728,0		11	2883,8	1239,3
	22	19521	1774,7		19	13718	1824,0		12	3744,0	1352,0
					20	16000	1920,0		13	4760,2	1464,7
	1	1,9167	88,167		21	18522	2016,0		14	5945,3	1577,3
	2	15,333	176,33		22	21296	2112,0		15	7312,5	1690,0
23	3	51,750	264,50		23	24334	2208,0		16	8874,7	1802,7
	4	122,67	352,67		24	27648	2304,0		17	10645	1915,3
	5	239,58	440,83						18	12636	2028,0
	6	414,00	529,00	25	1	2,0833	104,17		19	14861	2140,7

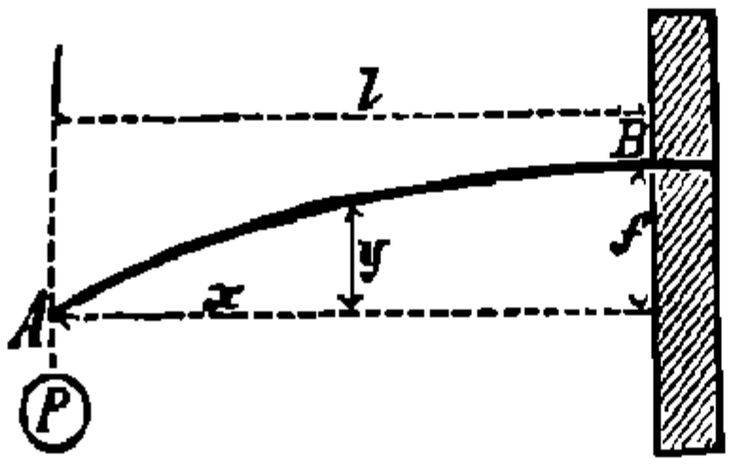
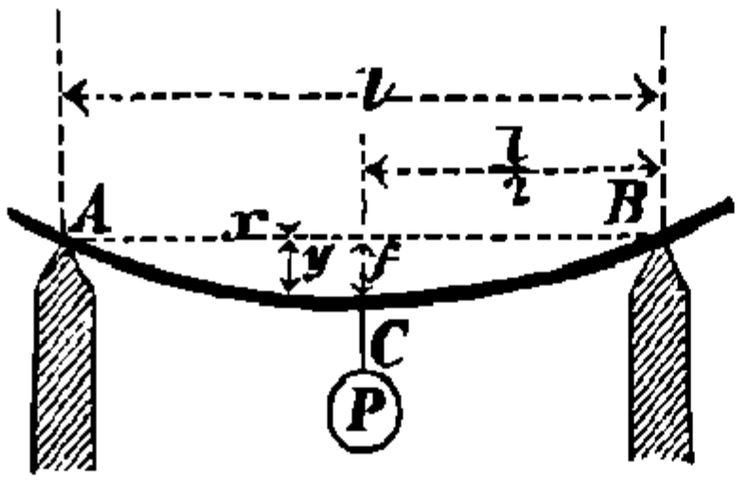
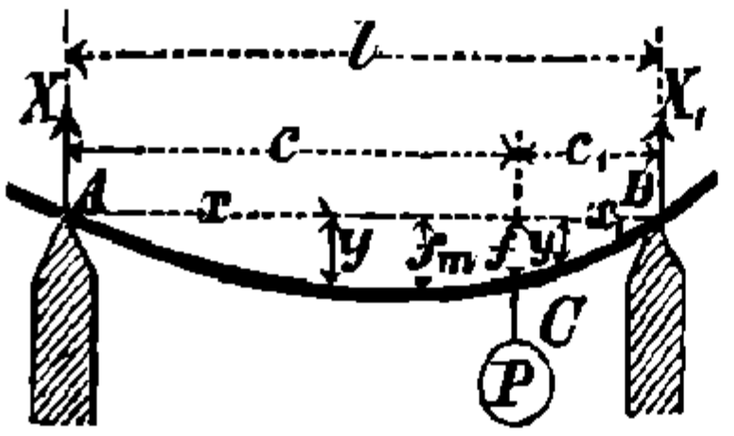
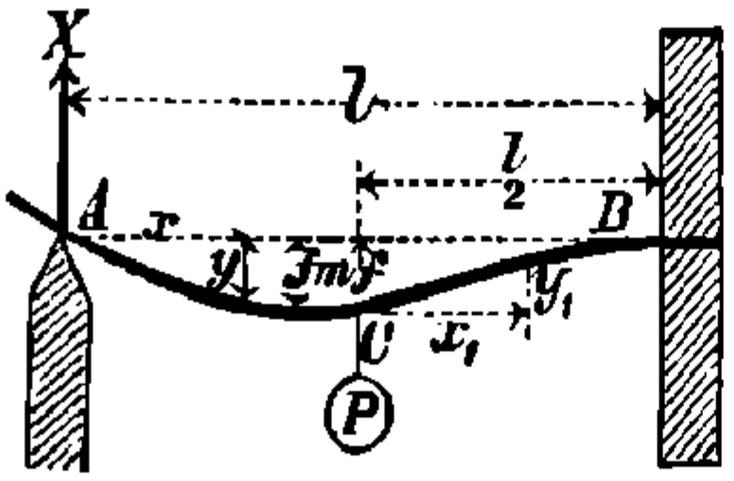
НТБ ДНУЗТ

Сѣченіе. h	b	$J_{min.}$	$W_{max.}$
26	20	17333	2253,3
	21	20066	2366,0
	22	23071	2478,7
	23	26362	2591,3
	24	29952	2704,0
	25	33854	2816,7
	26	38081	2929,3
27	1	2,2500	121,50
	2	18,000	243,00
	3	60,750	364,50
	4	144,00	486,00
	5	281,25	607,50
	6	486,00	729,00
	7	771,75	850,50
	8	1152,0	972,00
	9	1640,3	1093,5
	10	2250,0	1215,0
	11	2994,8	1336,5
	12	3888,0	1458,0
	13	4943,3	1579,5
	14	6174,0	1701,0
	15	7593,8	1822,5
	16	9216,0	1944,0
	17	11054	2065,5
	18	13122	2187,0
	19	15433	2308,5
	20	18000	2430,0
	21	20837	2551,5
	22	23958	2673,0
	23	27376	2794,5
	24	31104	2916,0
	25	35156	3037,5
	26	39546	3159,0
	27	44287	3280,5
28	1	2,3333	130,67
	2	18,667	261,33
	3	63,000	392,00
	4	149,33	522,67
	5	291,67	653,33
	6	504,00	784,00
	7	800,33	914,67
	8	1194,7	1045,3
	9	1701,0	1176,0
	10	2333,3	1306,7
	11	3105,7	1437,3
	12	4032,0	1568,0
	13	5126,3	1698,7
	14	6402,7	1829,3
	15	7875,0	1960,0
	16	9557,3	2090,7
28	17	11464	2221,3
	18	13608	2352,0
	19	16004	2482,7
	20	18667	2613,3
	21	21609	2744,0
	22	24845	2874,7
	23	28390	3005,3
	24	32256	3136,0
	25	36458	3266,7
	26	41011	3397,3
	27	45927	3528,0
	28	51221	3658,7
29	1	2,4167	140,17
	2	19,333	280,33
	3	65,250	420,50
	4	154,67	560,67
	5	302,08	700,83
	6	522,00	841,00
	7	828,92	981,17
	8	1237,3	1121,3
	9	1761,8	1261,5
29	10	2416,7	1401,7
	11	3216,6	1541,8
	12	4176,0	1682,0
	13	5309,4	1822,2
	14	6631,3	1962,3
	15	8156,3	2102,5
	16	9898,7	2242,7
	17	11873	2382,8
	18	14094	2523,0
	19	16576	2663,2
29	20	19333	2803,3
	21	22381	2943,5
	22	25733	3083,7
	23	29404	3223,8
	24	33408	3364,0
	25	37760	3504,2
	26	42475	3644,3
	27	47567	3784,5
	28	53051	3924,7
	29	58940	4064,8
30	1	2,5000	150,00
	2	20,000	300,00
	3	67,500	450,00
	4	160,00	600,00
	5	312,50	750,00
	6	540,00	900,00
	7	857,50	1050,0
	8	1280,0	1200,0
	9	1822,5	1350,0
	10	2500,0	1500,0
	11	3327,5	1650,0
	12	4320,0	1800,0
	13	5492,5	1950,0
	14	6860,0	2100,0
	15	8437,5	2250,0
	16	10240	2400,0
	17	12283	2550,0
	18	14580	2700,0
	19	17148	2850,0
	20	20000	3000,0
	21	23153	3150,0
	22	26620	3300,0
	23	30418	3450,0
	24	34560	3600,0
	25	39063	3750,0
	26	43940	3900,0
	27	49208	4050,0
	28	54886	4200,0
	29	60973	4350,0
	30	67500	4500,0

НТБ ДНУЗТ

e. Балки постояннаго сѣченія *)

Длина l, прогибъ f, высота балки h, координаты x и y и другія измѣренія по длинѣ k_b (стр. 340 и слѣд.) и модуль упругости E (стр. 331 и 334 и слѣд.)—въ kg/qcm, моментъ стн,—въ cm^4 и соотвѣтствующій этому J моментъ

№	Родъ нагрузки.	Давленія на опоры A и B. Изгибающій моментъ M.	Грузъ P и необходимый моментъ сопротивленія W.
1.		$B = P$ $M = Px.$ $M_{max} = Pl.$	$P = \frac{k_b W}{l}.$ $W = \frac{Pl}{k_b}.$
2.		$A = B = \frac{P}{2}.$ $M = \frac{Px}{2}.$ $M_{max} = \frac{Pl}{4}.$	$P = 4\frac{k_b W}{l}.$ $W = \frac{Pl}{4k_b}.$
3.		$A = \frac{Pc_1}{l}, \quad B = \frac{Pc}{l}.$ Для AC: $M = \frac{Pc_1 x}{l}$; Для BC: $M = \frac{Pcx_1}{l}.$ $M_{max} = \frac{Pcc_1}{l}.$	$P = k_b W \frac{l}{cc_1}.$ $W = \frac{Pcc_1}{lk_b}.$
4.		$A = \frac{5}{16}P; \quad B = \frac{11}{16}P.$ Для AC: $M = \frac{5}{16}Px;$ Для C: $M = \frac{5}{32}Pl;$ Для BC: $M = Pl\left(\frac{5}{32} - \frac{11}{16}\frac{x_1}{l}\right).$ $M_{max} = \frac{3Pl}{16}.$	$P = \frac{16}{3}\frac{k_b W}{l}.$ $W = \frac{3}{16}\frac{Pl}{k_b}.$

Общія примѣчанія къ стр. 374 до 384.

Формулы для изгибающихъ моментовъ и давленій на опоры примѣняются также для балокъ перемѣннаго сѣченія.

При разсчетѣ балокъ, **задѣланныхъ въ стѣну**, послѣднія разсчитываются какъ балки, свободно лежащія (въ интересахъ прочности), почему данными, приведенными въ 4, 5, 9, 10, **пользоваться не слѣдуетъ.**

НТБ ДНУЗТ

(катанныя, полыя).

даны въ cm, внѣшнія силы A, B, P, Q и т. д.—въ kg, допускаемыя напряженія на изгибъ k_b, моментъ инерціи J сѣченія—относительно горизонтальной оси, проходящей черезъ центръ тяжести, моментъ сопротивленія W—въ ccm. Вообще имѣемъ: $k_b\ W = M_{max}$.

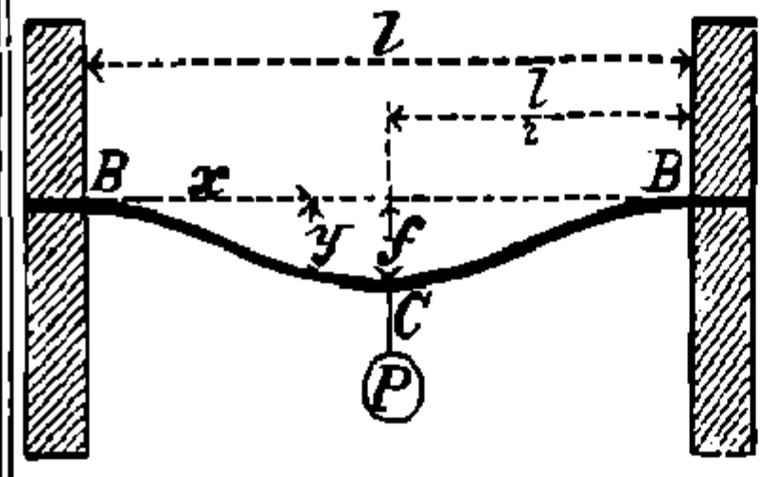
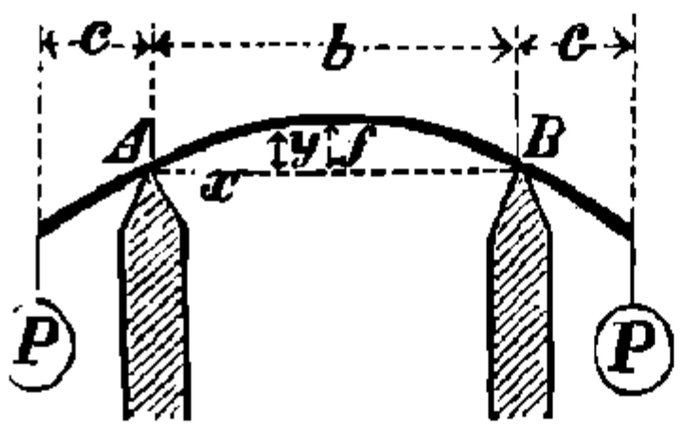
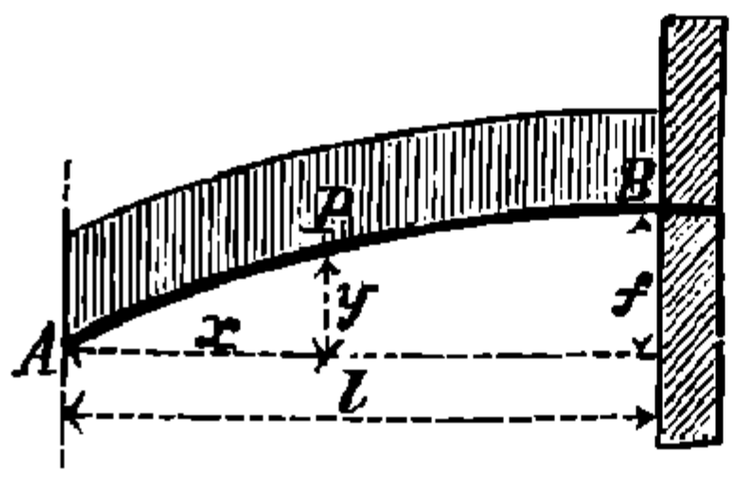
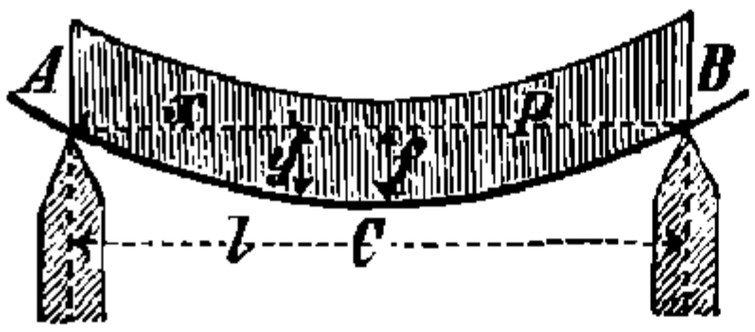
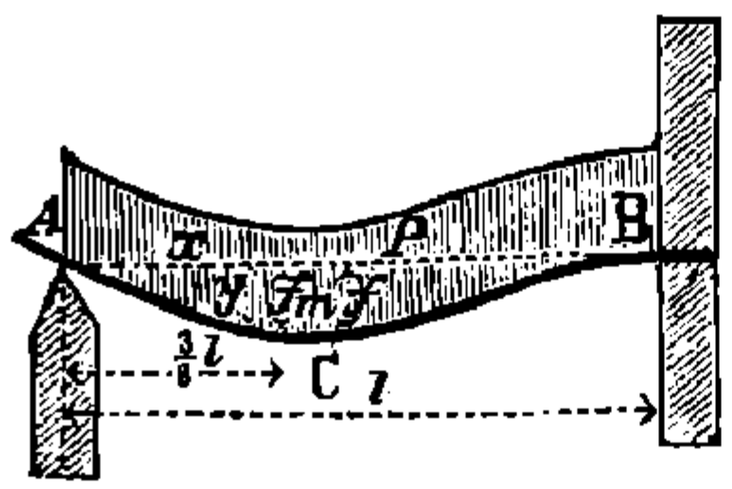
Уравненіе упругой линіи.	Прогибъ f*).	Примѣчанія.
$y = \frac{P\,l^3}{2\,E\,J}\left(\frac{x}{l} - \frac{1}{3}\,\frac{x^3}{l^3}\right)$.	$f = \frac{P}{E\,J}\,\frac{l^3}{3}$**) $= \frac{2}{3}\,\frac{k_b}{E}\,\frac{l^2}{h}$.	Свободная балка. Опасное сѣченіе у B.
$y = \frac{P\,l^3}{16\,E\,J}\left(\frac{x}{l} - \frac{4}{3}\,\frac{x^3}{l^3}\right)$.	$f = \frac{P}{E\,J}\,\frac{l^3}{48}$ $= \frac{1}{6}\,\frac{k_b}{E}\,\frac{l^2}{h}$. (см. стр. 385).	Балка, свободно лежащая. Опасное сѣченіе посрединѣ.
$y = \frac{P}{E\,J}\,\frac{c^2 c_1^2}{6\,l}\left(2\,\frac{x}{c} + \frac{x}{c_1} - \frac{x^3}{c^2 c_1}\right)$, $y_1 = \frac{P}{E\,J}\,\frac{c_1^2 c^2}{6\,l}\left(2\,\frac{x_1}{c_1} + \frac{x_1}{c} - \frac{x_1^3}{c_1^2 c}\right)$.	$f = \frac{P}{E\,J}\,\frac{l^3}{3}\,\frac{c^2}{l^2}\,\frac{c_1^2}{l^2}$; f_{max} для: $x = c\sqrt{\frac{1}{3} + \frac{2c_1}{3\,c}}$, если $c > c_1$; $x_1 = c_1\sqrt{\frac{1}{3} + \frac{2\,c}{3\,c_1}}$, если $c < c_1$.	Балка, свободно лежащая. Опасное сѣченіе у C.
$y = \frac{P}{E\,J}\,\frac{l^3}{32}\left(\frac{x}{l} - \frac{5}{3}\,\frac{x^3}{l^3}\right)$, $y_1 = \frac{P}{E\,J}\,\frac{l^3}{32}\left(\frac{1}{4}\,\frac{x_1}{l} + \frac{5}{2}\,\frac{x_1^2}{l^2} - \frac{11}{3}\,\frac{x_1^3}{l^3}\right)$.	$f = \frac{P}{E\,J}\,\frac{7\,l^3}{768}$; $f_{max} = \sqrt{\frac{1}{5}}\,\frac{P\,l^3}{48\,E\,J}$ для $x = l\sqrt{1/5}$.	Полузакрѣпленная балка. Опасное сѣченіе у B. Точка перегиба при $x_1 = {}^5/_{11}\,l$.

*) Черезъ f обозначенъ прогибъ l въ точкѣ приложенія сосредоточенной нагрузки P, черезъ f_{max} (или f_m) наибольшій прогибъ, если съ нимъ не совпадаетъ прогибъ f.

**) Отсюда слѣдуетъ, что $P = 3\,E\,\frac{J}{l^3}\left(\frac{f}{l}\right)$ и $J = \frac{P}{3E}\,l^3\left(\frac{l}{f}\right)$.

Эта формула часто примѣняется (въ предположеніи $f : l = 1 : 600$ до $1 : 1000$) для разсчета длинныхъ, слабо напряженныхъ балокъ, напр., передвижн. телѣжекъ и т. п. (Подобныя формулы находимъ и ниже). Дальнѣйшее для случаевъ нагрузки 2) до 8) см. стр. 385, 25.

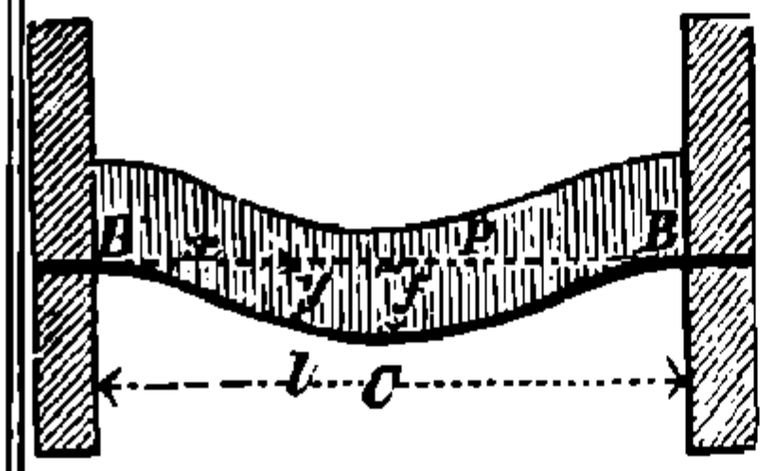
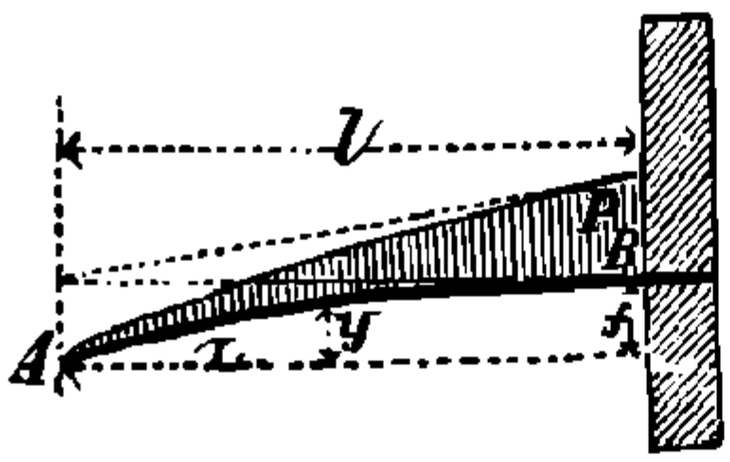
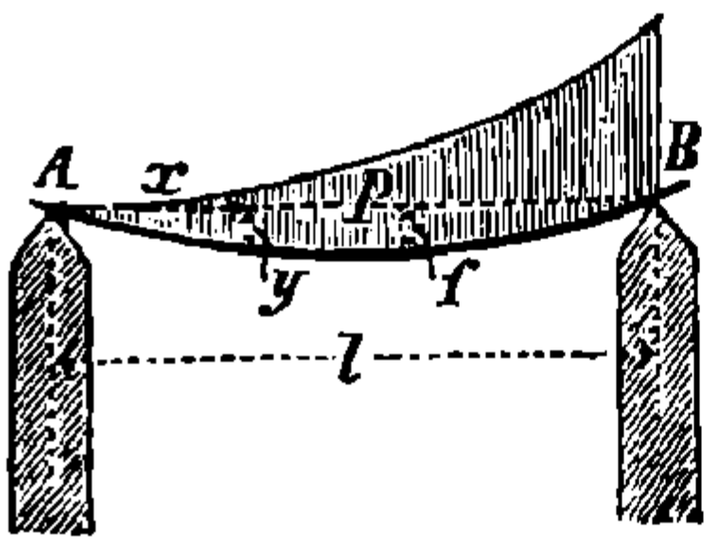
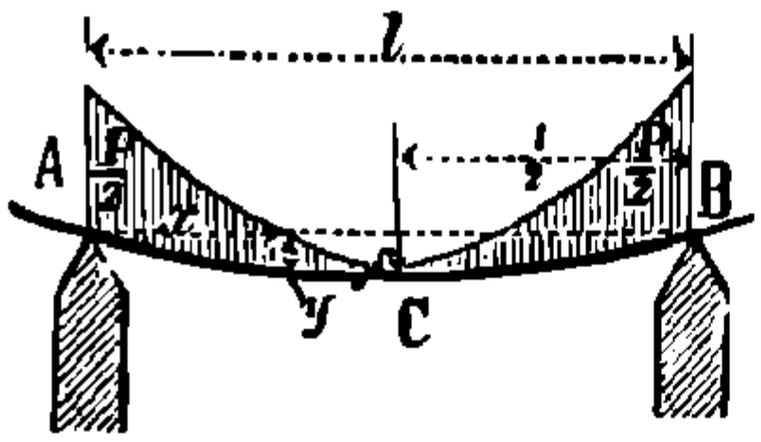
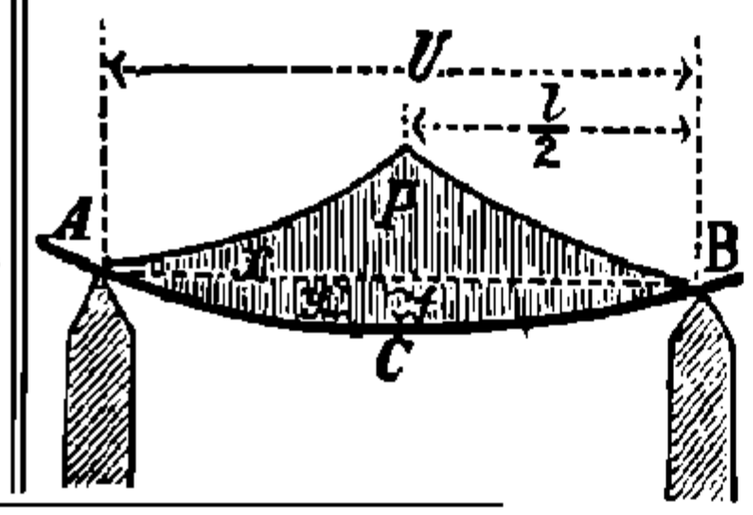
НТБ ДНУЗТ

№	Родъ нагрузки.	Давленія на опоры A и B. Изгибающій моментъ M.	Грузъ P и необходимый моментъ сопротивленія W.
5.	 См. также частный случай 24), стр. 384.	$B = \frac{P}{2}$. $M = \frac{Pl}{2}\left(\frac{x}{l} - \frac{1}{4}\right)$. $M_{max} = \frac{Pl}{8}$.	$P = 8\frac{k_b W}{l}$. $W = \frac{Pl}{8k_b}$.
6.		$A = B = P$. Для AB: $M = Pc =$ постоян.	$P = \frac{k_b W}{c}$. $W = \frac{Pc}{k_b}$.
7.		$B = P$. $M = \frac{Px^2}{2l}$. $M_{max} = \frac{Pl}{2}$.	$P = 2\frac{k_b W}{l}$. $W = \frac{Pl}{2k_b}$.
8.		$A = B = \frac{P}{2}$. $M = \frac{Px}{2}\left(1 - \frac{x}{l}\right)$. $M_{max} = \frac{Pl}{8}$.	$P = 8\frac{k_b W}{l}$. $W = \frac{Pl}{8k_b}$.
9.		$A = \frac{3}{8}P$; $B = \frac{5}{8}P$. $M = \frac{Px}{2}\left(\frac{3}{4} - \frac{x}{l}\right)$ $M_{max} = \frac{Pl}{8}$ (абсолют. max.). $M_C = \frac{9}{128}Pl$. (относит. max.).	$P = 8\frac{k_b W}{l}$. $W = \frac{Pl}{8k_b}$.

НТБ ДНУЗТ

Уравненіе упругой линіи.	Прогибъ f.	Примѣчанія.
$y = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{16}\left[\frac{x^2}{l^2} - \frac{4}{3}\frac{x^3}{l^3}\right]$	$f = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{192}$ $= \frac{1}{12}\frac{k_b}{E}\frac{l^2}{h}$.	Закрѣпленная балка. Опасныя сѣченія у B и C. Точки перегиба при $x = {}^1/_4\, l$ и $x = {}^3/_4\, l$.
$y = f - [\varrho - \sqrt{\varrho^2 - ({}^1/_2 l - x)^2}]$, гдѣ $\varrho = \frac{EJ}{Pc}$ = постоян. Упругая линія между A и B представляетъ дугу круга радіуса ρ.	Прогибъ посрединѣ: $f = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{8}\frac{c}{l}$ $= \frac{1}{4}\frac{k_b}{E}\frac{l^2}{h} = \frac{l^2}{8\varrho}$. На концахъ: $f_2 = \frac{P}{EJ}\left(\frac{c^3}{3} + \frac{c^2 l}{2}\right)$.	Балка, свободно лежащая. Опасное сѣченіе въ какомъ угодно мѣстѣ между A и B.
$y = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{6}\left[\frac{x}{l} - \frac{1}{4}\frac{x^4}{l^4}\right]$.	$f = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{8}$ $= \frac{1}{2}\frac{k_b}{E}\frac{l^2}{h}$.	Свободная балка. Опасное сѣченіе у B.
$y = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{24}\left[\frac{x}{l} - 2\frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4}\right]$.	$f = \frac{P}{EJ}\frac{5\,l^3}{384}$ $= \frac{5}{24}\frac{k_b}{E}\frac{l^2}{h}$. (См. стр. 385).	Свободно лежащая на опорахъ балка. Опасное сѣченіе посрединѣ балки.
$y = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{48}\left[\frac{x}{l} - 3\frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4}\right]$.	$f_{max} = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{185}$, гдѣ $\frac{1}{185} = \frac{78 + 110\sqrt{33}}{2 \cdot 16^4}$ $f C = \frac{175}{8^5}\frac{P}{EJ}l^3$ $= \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{187}$.	Полузакрѣпленная балка. Опасное сѣченіе у B. Наибольшій прогибъ f_{max} при $x' = \frac{1}{16}\,l\,(1 + \sqrt{33})$ $= 0{,}4215\ l$. Точка перегиба при $x = {}^3/_4\, l$.

НТБ ДНУЗТ

№	Родъ нагрузки.	Давленія на опоры A и B. Изгибающій моментъ M.	Грузъ P и необходимый моментъ сопротивленія W.
10.		$B = \frac{P}{2}$. $M = \frac{Pl}{2}\left(\frac{1}{6} - \frac{x}{l} + \frac{x^2}{l^2}\right)$ $M_{max} = \frac{Pl}{12}$ (абсолют. maximum). $M_C = \frac{Pl}{24}$ (относ. maximum).	$P = 12\frac{k_b W}{l}$. $W = \frac{Pl}{12\,k_b}$.
11.		$B = P$ $M = \frac{P}{3}\frac{x^3}{l^2}$. $M_{max} = \frac{Pl}{3}$.	$P = 3\frac{k_b W}{l}$. $W = \frac{Pl}{3k_b}$.
12.		$A = \frac{1}{3}P$; $B = \frac{2}{3}P$. $M = \frac{P}{3}x\left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right)$. $M_{max} = \frac{2}{9\sqrt{3}}Pl$ $= 0{,}128\ Pl$.	$P = \frac{9\sqrt{3}}{2}\frac{k_b W}{l}$ $= 7{,}794\frac{k_b W}{l}$. $W = \frac{Pl}{7{,}794\,k_b}$.
13.		$A = B = \frac{P}{2}$. $M = Px\left(\frac{1}{2} - \frac{x}{l} + \frac{2x^2}{3l^2}\right)$. $M_{max} = \frac{Pl}{12}$.	$P = 12\frac{k_b W}{l}$. $W = \frac{Pl}{12\,k_b}$.
14.		$A = B = \frac{P}{2}$. $M = Px\left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\frac{x^2}{l^2}\right)$. $M_{max} = \frac{Pl}{6}$.	$P = 6\frac{k_b W}{l}$. $W = \frac{Pl}{6\,k_b}$.*)

*) Если въ № 14 нагрузка ограничена не треугольникомъ, а **параболой**, вершина которой лежитъ надъ срединой балки, то:

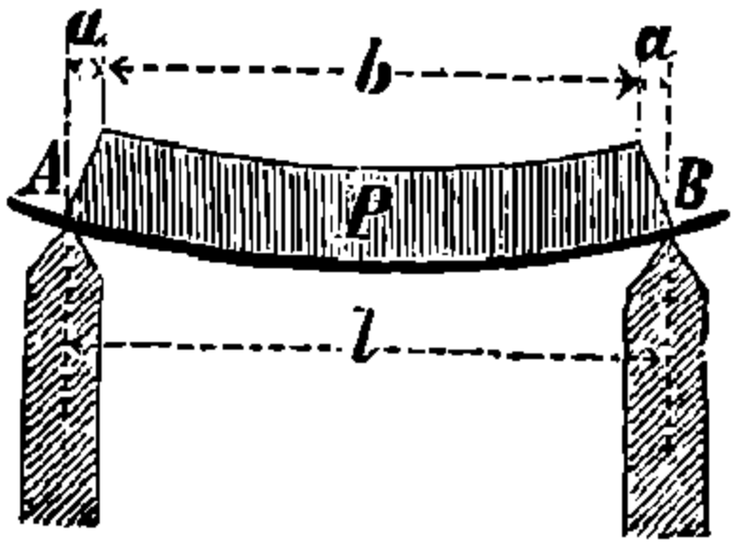
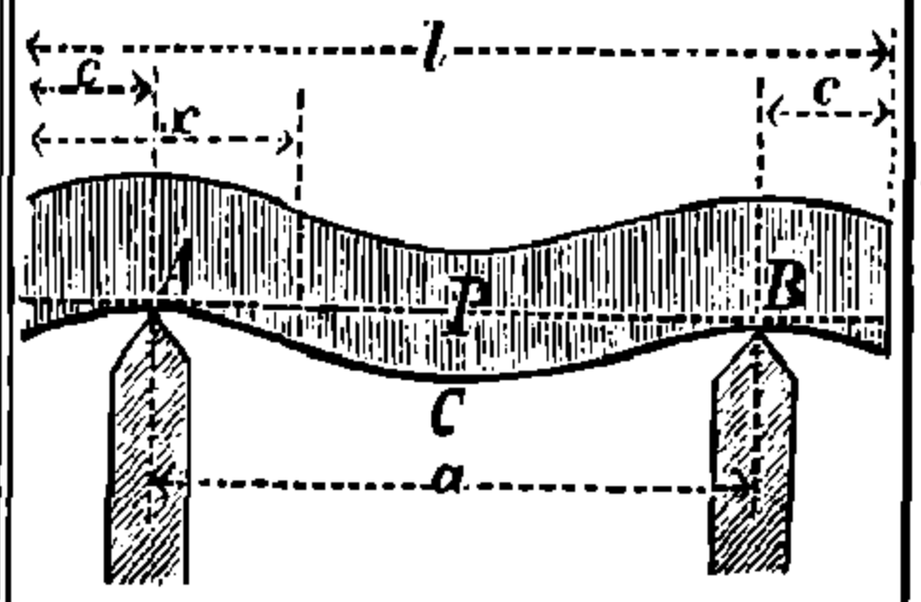
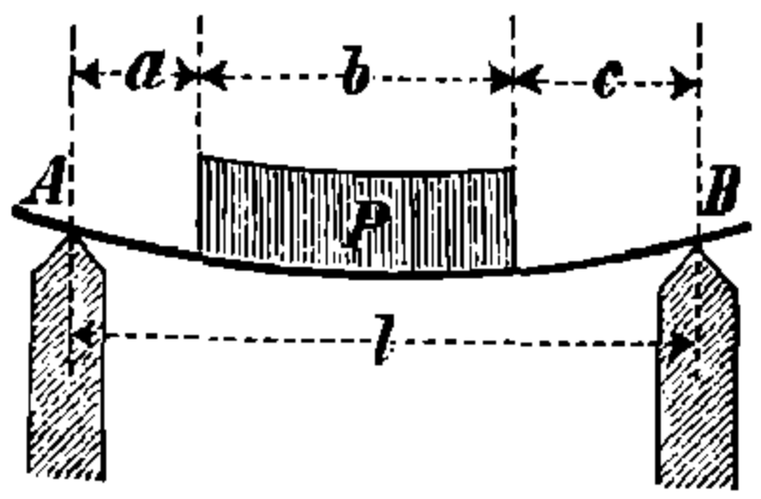
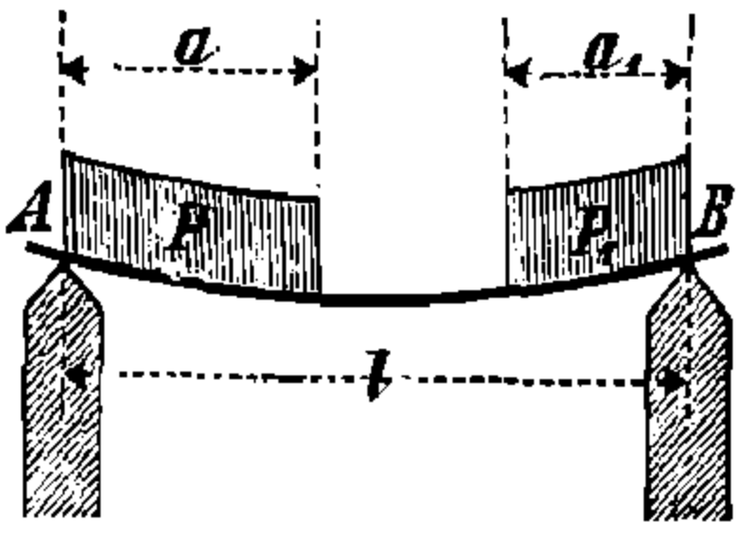
$$P = 6{,}4\frac{k_b W}{l} \quad \text{и} \quad W = \frac{5}{32}\frac{Pl}{k_b}.$$

НТБ ДНУЗТ

Уравненіе упругой линіи.	Прогибъ f.	Примѣчанія.
$y = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{24}\left(\frac{x^2}{l^2} - 2\frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4}\right)$.	$f = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{384} = \frac{1}{16}\frac{k_b}{E}\frac{l^2}{h}$.	Закрѣпленная балка. Опасное сѣченіе въ мѣстахъ закрѣпленія B. Точки перегиба для $x = {}^1/_2\, l\left(1 \pm \sqrt{{}^1/_3}\right)$, т.-е. при $x_1 = 0{,}7887\, l$ и $x_2 = 0{,}2113 l$.
$y = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{12}\left(\frac{x}{l} - \frac{1}{5}\frac{x^5}{l^5}\right)$.	$f = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{15} = \frac{2}{5}\frac{k_b}{E}\frac{l^2}{h}$.	Свободная балка. Опасное сѣченіе у B.
$y = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{180}\left(7\frac{x}{l} - 10\frac{x^3}{l^3} + 3\frac{x^5}{l^5}\right)$.	Наибольшій прогибъ для $x = l\sqrt{1 - \sqrt{{}^6/_{15}}} = 0{,}5193\, l$: $f = \frac{Pl^3}{EJ}\frac{2 + 5\sqrt{{}^6/_{15}}}{225}\sqrt{1 - \sqrt{{}^6/_{15}}} = 0{,}01304\frac{Pl^3}{EJ}$.*)	Балка, свободно лежащая. Опасное сѣченіе для $x = {}^1/_3\, l\sqrt{3} = 0{,}5774\, l$.
$y = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{12}\left(\frac{3}{8}\frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} - \frac{2}{5}\frac{x^5}{l^5}\right)$.	$f = \frac{P}{EJ}\frac{3l^3}{320} = \frac{9}{40}\frac{k_b}{E}\frac{l^2}{h}$.	Балка, свободно лежащая. Опасное сѣченіе посрединѣ балки.
$y = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{12}\left(\frac{5}{8}\frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} + \frac{2}{5}\frac{x^5}{l^5}\right)$.	$f = \frac{P}{EJ}\frac{l^3}{60} = \frac{1}{5}\frac{k_b}{E}\frac{l^2}{h}$.	Балка, свободно лежащая. Опасное сѣченіе посрединѣ балки.

*) Въ виду того, что M_{max} и f для № 12 (нагрузка треугольникомъ) почти такія же, какъ и для № 8 (равномѣрно распредѣленная нагрузка), то всякая нагрузка треугольникомъ, равно какъ нагрузка трапеціей (если параллельныя стороны площади нагрузки перпендикулярны къ направленію балки), можетъ быть, при опредѣленіи M и f, принята какъ равномѣрно распредѣленная. Сопротивленія опоръ, напротивъ того, разнятся на величину, доходящую до ${}^1/_6$ отъ общей нагрузки по 8.

НТБ ДНУЗТ

№	Родъ нагрузки.	Давленія на опоры A и B.	Наибольшій изгибающій моментъ $M_{max} = Wk$
15.		$A = B = \frac{P}{2}$.	$Wk_b = \frac{8a^2 + 3b(4a+b)}{24(a+b)} P$
16.		$A = B = \frac{P}{2}$.	Для AB: $M_x = \frac{Px}{2}\left(1 - \frac{c}{x} - \frac{x}{l}\right)$. Для $x \lessgtr c$: $M_x = -\frac{Px^2}{2l}$.
	Опасныя сѣченія въ A, B и C. Точки перегиба при: $x = \frac{l}{2} \pm \sqrt{\frac{l^2}{4} - cl}$. $M_A = M_B$ со знакомъ, обратнымъ M_C.	Абсолютныя наибольшія значенія $M_A = M_B = \frac{Pc^2}{2l}$, и для средины бал $M_C = \frac{P}{2}\left(\frac{l}{4} - c\right)$ равны для $c = (\sqrt{1/2} - 1/2)\, l = 0{,}207\, l$, а именно: $M_A = M_C = M_{max} = 0{,}021\,447\, Pl \backsim 1/47\, Pl$. Для различныхъ значеній c—это наименьшій относительный M_{max}, такъ что $W = \frac{Pl}{47 k_b}$ и $P = 47 \frac{k_b W}{l}$; т.-е. грузъ можетъ быть увеличенъ въ 6 разъ противъ случая балки, свободно лежащей на двухъ опорахъ (случай 8), если $a = 0{,}586\, l$.	
17.		$A = \frac{P(2c+b)}{2l}$; $B = \frac{P(2a+b)}{2l}$.	$Wk_b = A\left(a + \frac{bA}{2P}\right.$
		при $a = c$: $A = B = \frac{P}{2}$.	при $a = c$: $W k_b = \frac{P}{2}\left(\frac{l}{2} \frac{b}{4}\right.$
18.		$A = \frac{P(2l-a) + P_1 a_1}{2l}$; $B = \frac{P_1(2l-a_1) + Pa}{2l}$.	для $A < P$: $W k_b = \frac{A^2 a}{2P}$; для $B < P_1$: $W k_b = \frac{B^2 a_1}{2 P_1}$.
		Если $P + P_1 = Q$ и $l - (a + a_1) = b$, то $P = P_1$ и $a = a_1$: $A = B = P = 1/2\, Q$ и $Wk_b = 1/2\, Pa = 1/8\, Q(l - b)$.	

НТБ ДНУЗТ

Если балка подвергается одновременно нѣсколькимъ способамъ нагрузки, приведеннымъ на стр. 374 до 380, то изгибающіе моменты и ординаты упругой линіи суммируются; по суммѣ опредѣляется значеніе $M_{max} = W k_b$ и f_{max} для соотвѣтствующихъ значеній x.

Для **свободно лежащихъ балокъ постояннаго сѣченія** (на двухъ опорахъ безъ свѣшивающихся концовъ), имѣемъ слѣдующій

способъ разсчета.

1. **Опредѣленіе сопротивленія опоръ.** Сопротивленіе опоры A получается раздѣленіемъ алгебраической суммы произведеній всѣхъ грузовъ на разстояніе ихъ точекъ приложенія (при подвижныхъ грузахъ—центровъ тяжести) до опоры B на общую длину балки l. Сопротивленіе опоры B опредѣляется соотвѣтственно такимъ же путемъ или вычитаніемъ изъ общей нагрузки балки вычисленнаго сопротивленія опоры A.

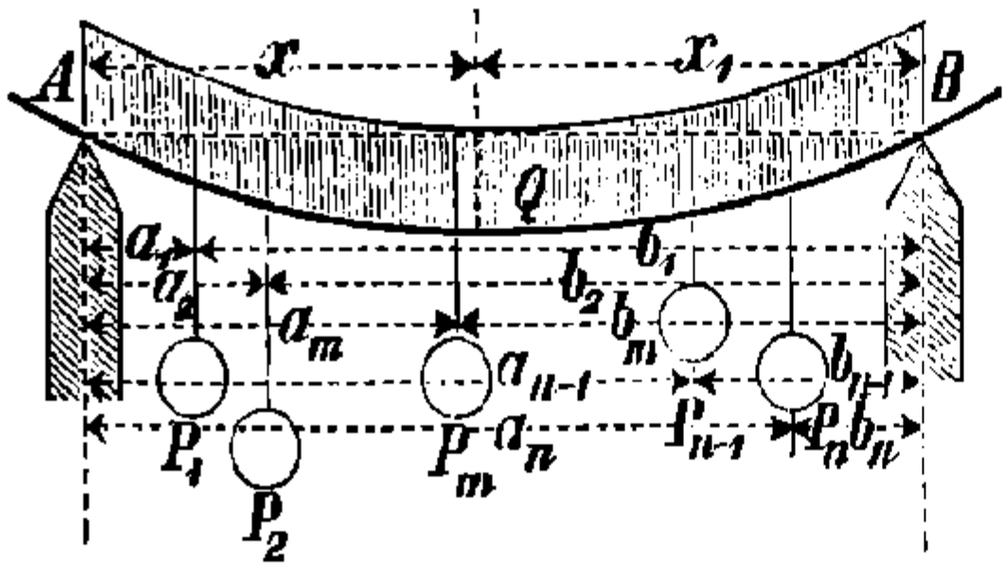
2. Если суммировать, начиная отъ какой-либо опоры, послѣдовательные грузы до тѣхъ поръ, пока получится сопротивленіе этой опоры, то **опасное сѣченіе** будетъ находиться въ томъ мѣстѣ, гдѣ приложена послѣдняя сила; послѣдняя еще должна быть приложена (полностью или частью) къ суммѣ предыдущихъ для полученія полнаго сопротивленія опоры, избытокъ послѣдней силы долженъ быть разсматриваемъ какъ дѣйствующій уже на вторую опору. Равномѣрно распредѣленные грузы разсматриваютъ какъ сумму сосредоточенныхъ грузовъ, дѣйствующихъ на единицахъ длины = 1 cm.

3. Умноженіемъ единичныхъ грузовъ (въ kg), равно и дополнительнаго груза, необходимаго для полученія полнаго давленія на опору (см. выше 2), въ предѣлахъ отъ опоры до опаснаго сѣченія, на соотвѣтственныя разстоянія точекъ приложенія этихъ грузовъ до опоры (въ cm), получается, какъ сумма этихъ произведеній, M_{max} (въ cmkg), который по раздѣленіи на k_b (въ kg/qcm) даетъ необходимый **моментъ сопротивленія** W (въ ccm).

Полученная по предыдущему величина наибольшаго момента вполнѣ отвѣчаетъ величинѣ этого момента M_{max}, по общему способу опредѣленія момента изгиба на стр. 352.

19. **Случай 3) для нѣсколькихъ силъ и случай 8)** (черт. 215). Сопротивленія опоръ:

Черт. 215.



$$A = \Sigma\left(\frac{Pb}{l}\right) + \frac{Q}{2},$$

$$B = \Sigma\left(\frac{Pa}{l}\right) + \frac{Q}{2}.$$

Если

$$\sum_{1}^{m-1} P + \frac{Q}{l}\, a_{m-1} < A$$

и одновременно:

$$\sum_{1}^{m-1} P + \frac{Q}{l}\, a_m > A,$$

то **опасное сѣченіе** находится между P_{m-1} и P_m; его разстояніе отъ опоры A опредѣляется изъ формулы:

НТБ ДНУЗТ

$$x = \left(A - \sum_{1}^{m-1} P \right) : \frac{Q}{l},$$

а величина:

$$M_{\max} = W k_b = \sum_{1}^{m-1} P a + \frac{Q}{2\,l}\, x^2.$$

Если: $\sum_{1}^{m-1} P + \frac{Q}{l}\, a_m < A < \sum_{1}^{m} P + \frac{Q}{l}\, a_m$, причемъ

$$A - \left[\sum_{1}^{m-1} P + \frac{Q}{l}\, a_m \right] = P'_m,$$

та часть отъ P_m, которая дополняетъ расположенную на длинѣ a_m сумму грузовъ до величины сопротивленія опоры A (см. стр. 381,2.), то опасное сѣченіе находится въ P_m, т.-е. $x = a_m$ и величина

$$M_{\max} = W k_b = \sum_{1}^{m-1} P a + P'_m a_m + \frac{Q}{2\,l}\, a^2_m.$$

При $Q = 0$ (см. черт. 215), опасное сѣченіе совпадаетъ съ точкой приложенія одного изъ сосредоточенныхъ грузовъ P_m, если

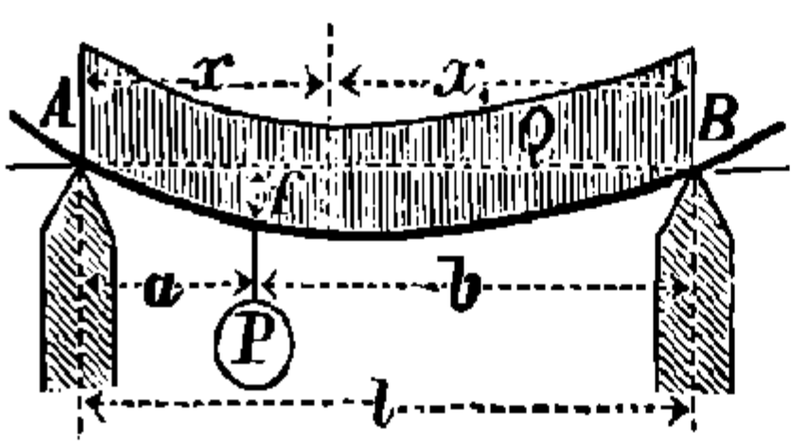
$$\sum_{1}^{m-1} P < \Sigma \left(\frac{P b}{l} \right) < \sum_{1}^{m} P;$$

а въ виду того, что $\Sigma \left(\frac{P b}{l} \right) - \sum_{1}^{m-1} P = P'_m$

представлятъ ту часть P_m, которая дополняетъ до сопротивленія лѣвой опоры сумму грузовъ, расположенную на длинѣ a_m, то будемъ имѣть:

$$M_{\max} = W k_b = \sum_{1}^{m-1} P a + P'_m a_m.$$

Черт. 216.



20. **Случаи 3) и 8) имѣютъ мѣсто одновременно** (черт. 216). Пусть

$$a < b.$$

$$A = P \frac{b}{l} + \frac{Q}{2};$$

$$B = P \frac{a}{l} + \frac{Q}{2}.$$

Если x_1 разстояніе опаснаго сѣченія отъ опоры B, то:

α) при $\frac{P}{Q} < \frac{b-a}{2\,a}$:

$$M_{\max} = W k_b = \frac{B x_1}{2} = \frac{B^2 l}{2\,Q}.$$

$$x_1 = B : \frac{Q}{l} = \frac{P}{Q}\, a + \frac{l}{2}.$$

β) при $\frac{P}{Q} > \frac{b-a}{2\,a}$:

$$M_{\max} = W k_b = \left(P + \frac{Q}{2} \right) \frac{a\,b}{l}.$$

$$x_1 = b.$$

НТБ ДНУЗТ

Прогибъ въ точкѣ приложенія силы P:

$$f = \left(P + \frac{l^2 + ab}{8ab} Q \right) \frac{a^2 b^2}{3EJl}.$$

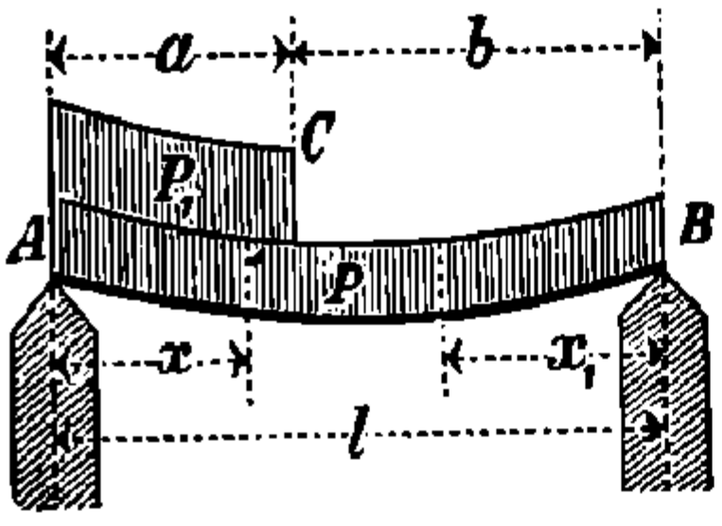
Въ частномъ случаѣ $a = b = {}^1/_2 l$ [нагрузка по 2) и 8) одновременно] имѣемъ:

$$B = A = {}^1/_2 (P + Q); \quad M_{\max} = W k_b = {}^1/_8 (2P + Q) l;$$

$$x_1 = {}^1/_2 l \text{ и } f_{\max} = \frac{P + {}^5/_8 Q}{EJ} \frac{l^3}{48}.$$

21. **Случай 8) и подвижная нагрузка** (черт. 217).

Черт. 217.



$$A = \frac{P}{2} + P_1 \left(1 - \frac{a}{2l} \right),$$

$$B = \frac{P}{2} + P_1 \frac{a}{2l} = P + P_1 - A.$$

При $\frac{P}{P_1} < \frac{a}{l - 2a}$ имѣемъ разстояніе опаснаго сѣченія отъ опоры A:

$$x = \frac{A}{\frac{P}{l} + \frac{P_1}{a}} \quad \text{и} \quad M_{\max} = W k_b = A \frac{x}{2} = \frac{A^2 a l}{2 (P a + P_1 l)}.$$

При $\frac{P}{P_1} = \frac{a}{l - 2a}$ опасное сѣченіе находится въ C (слѣд. $x = a$), и имѣемъ: $M_{\max} = W k_b = {}^1/_2 A a = {}^1/_2 B b$.

При $\frac{P}{P_1} > \frac{a}{l - 2a}$ имѣемъ разстояніе опаснаго сѣченія отъ опоры B:

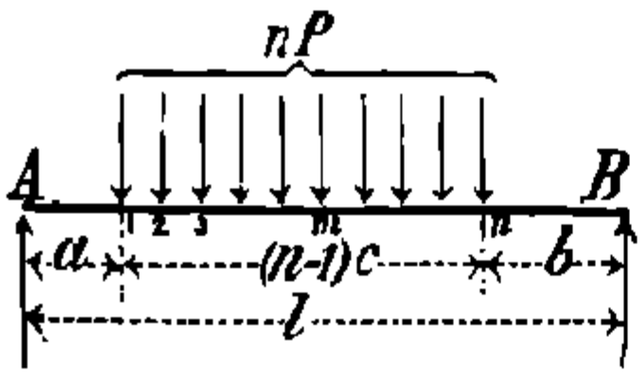
$$x_1 = B : \frac{P}{l} = \frac{l}{2} + \frac{P_1}{P} \frac{a}{2} \text{ и } M_{\max} = W k_b = B \frac{x_1}{2} = \frac{B^2 l}{2P}.$$

Въ частномъ случаѣ, при $a = b = {}^1/_2 l$ и $P_1 = {}^1/_2 P$, будемъ имѣть:

$A = {}^7/_8 P$ и $B = {}^5/_8 P$, затѣмъ $x = {}^7/_{16} l$ и $M_{\max} = W k_b = A \frac{x}{2} = \frac{49}{256} P l$.

22. Свободно лежащая балка нагружена n **равными сосредоточенными грузами** P, приложенными въ $n - 1$ равныхъ разстояніяхъ c (черт. 218).

Черт. 218.



$$A = \frac{nP}{l} \left(b + \frac{n-1}{2} c \right),$$

$$B = \frac{nP}{l} \left(a + \frac{n-1}{2} c \right).$$

Опасное сѣченіе находится въ точкѣ приложенія m-го груза, если $P > (mP - A) > 0$, такъ что:

$$M_{\max} = W k_b = A a + (m - 1)(A - {}^1/_2 m P) c.$$

Въ **частномъ случаѣ**, при $a = b$, имѣемъ $A = B = {}^1/_2 nP$. Если

НТБ ДНУЗТ

точки приложенія n силъ P дѣлятъ свободный пролетъ l на $n_1 = n + 1$ равныхъ частей длиною $(l : n_1) = a = b$, то

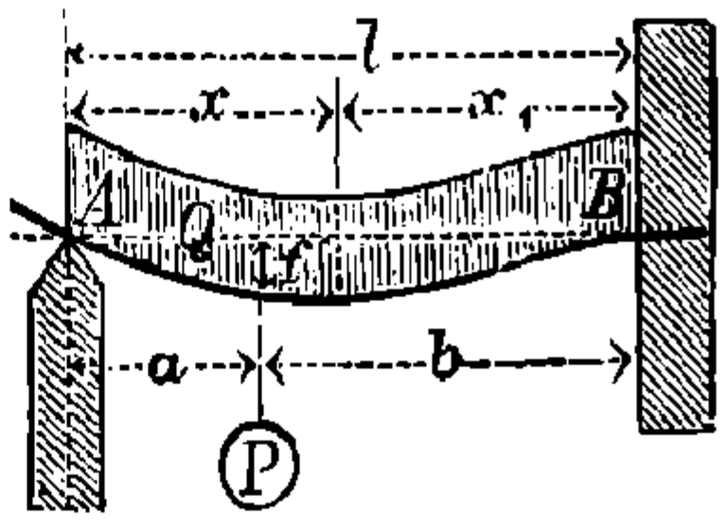
при n_1 четномъ $$M_{\max} = W k_b = \frac{n_1}{8} P l,$$

при n_1 нечетномъ $$M_{\max} = W k_b = \frac{n_1^2 - 1}{8 n_1} P l.$$

При $n_1 = 3$. $W k_b = {}^1/_3 Pl$,
„ $n_1 = 4$. $W k_b = {}^1/_2 Pl$,
„ $n_1 = 5$. $W k_b = {}^3/_5 Pl$,
„ $n_1 = 6$. $W k_b = {}^3/_4 Pl$,
„ $n_1 = 7$ $W k_b = {}^6/_7 Pl$.

23. **Случаи 9) и 4) одновременно** (черт. 219).

Черт. 219.



$$A = P\frac{b^2(3a + 2b)}{2l^3} + \frac{3}{8} Q,$$

$$B = P\frac{(2a^2 + 6ab + 3b^2)a}{2l^3} + \frac{5}{8} Q;$$

$$M_{\max} = W k_b = P\frac{ab(2a + b)}{2l^2} + Q\frac{l}{8},$$

при $x < a$;

$$M_{\max} = W k_b = P\frac{ab^2(3a + 2b)}{2l^3} + Q\frac{(3b - a)a}{8l},$$ при $x_1 < b$.

Изъ этихъ двухъ формулъ слѣдуетъ пользоваться той, которая даетъ большіе размѣры поперечнаго сѣченія балки.

Прогибъ въ точкѣ приложенія сосредоточеннаго груза P опредѣляется изъ уравненія:

$$EJf = P\frac{a^2b^3(4a + 3b)}{12l^3} + Q\frac{ab^2(3a + b)}{48l}.$$

Затѣмъ имѣемъ: $$x = \frac{P}{Q}\frac{b^2(3a + 2b)}{2l^2} + \frac{3}{8} l < a,$$

если: $$\frac{P}{Q} < \frac{l^2(5a - 3b)}{4b^2(3a + 2b)};$$

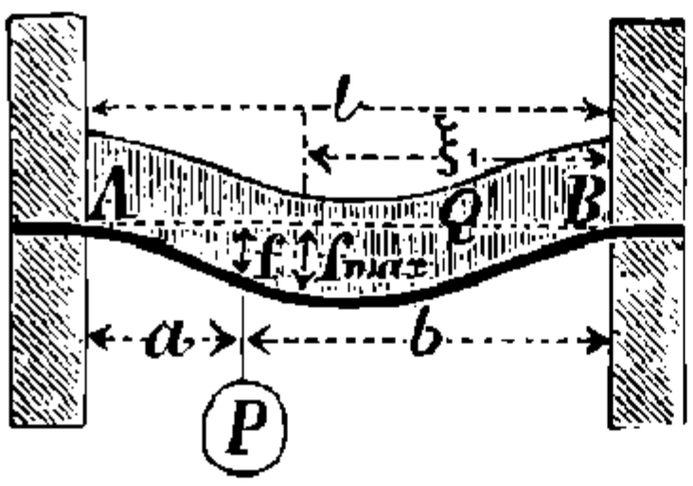
$$x_1 = \frac{P}{Q}\frac{(2a^2 + 6ab + 3b^2)a}{2l^2} + \frac{5}{8} l < b,$$

если: $$\frac{P}{Q} < \frac{l^2(3b - 5a)}{4a(2a^2 + 6ab + 3b^2)}.$$

24. **Случай 10) и случ. 5) одновременно** (черт. 220).

$a < b$.

Черт. 220.



$$A = P\frac{(3a + b)b^2}{l^3} + \frac{Q}{2};$$

$$B = P\frac{(a + 3b)a^2}{l^3} + \frac{Q}{2};$$

$$M_{\max} = W k_b = P\frac{ab^2}{l^2} + \frac{Ql}{12}.$$

Опасное сѣченіе въ A.

НТБ ДНУЗТ

Прогибъ въ точкѣ приложенія P:

$$f = \frac{1}{EJ}\left(P\frac{a^3 b^3}{3 l^3} + Q\frac{a^2 b^2}{24 l}\right).$$

Въ частномъ случаѣ, при $Q = 0$, имѣемъ **наибольшій прогибъ**:

$$f_{max} = \frac{P}{EJ}\,\frac{2a^2b^3}{3(a+3b)^2};$$

онъ имѣетъ мѣсто на разстояніи ξ_1 отъ B, такъ что

$$\xi_1 = \frac{2b}{a+3b}\,l,$$

тогда какъ **прогибъ въ точкѣ приложенія силы** P составляетъ:

$$f = \frac{P}{EJ}\,\frac{a^3b^3}{3l^3}.$$

25. **Прогибъ въ случаяхъ 2) и 8)** (стр. 374 и 376). **Прогибъ** f не долженъ превышать извѣстной части свободной длины балки, напр., $f \leqq {}^1/_{600}\,l$ до ${}^1/_{1000}\,l$ (см. выноску на стр. 375).

Для желѣзныхъ балокъ (съ $E = 2\,000\,000$ kg/qcm) любого, но постояннаго, сѣченія это условіе, при наиболѣе часто встрѣчающихся случаяхъ нагрузки 2) и 8), всегда будетъ соблюдено, если сѣченіе балки для допускаемаго напряженія k_b и необходимаго момента сопротивленія достаточно и если высота балки

$$h \geqq \zeta\, l.$$

Если h выходитъ меньше $\zeta\, l$, то необходимо принять большее сѣченіе балки съ такимъ разсчетомъ, чтобы величина J (въ cm^4) соотвѣтствовала условію.

$$J \geqq \eta\, W\, l.$$

W въ ccm и l въ m.

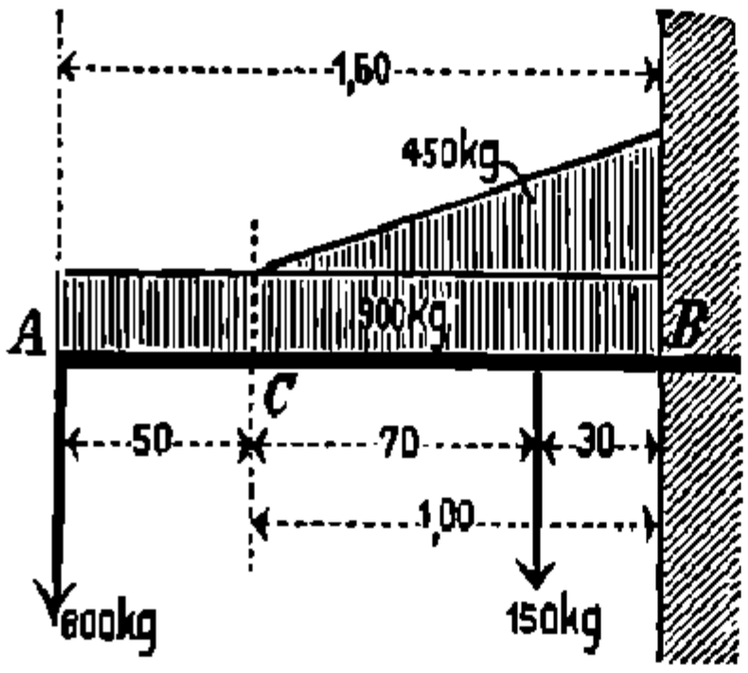
Коэффиціенты ζ и η приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ для $f = {}^1/_{600}\,l$ и $f = {}^1/_{1000}\,l$ и для $k_b = 750$ kg/qcm и $k_b = 1000$ kg/qcm (см. примѣры 4. и 5., стр. 389).

Наибольшій прогибъ:		$f = {}^1/_{600}\,l$		$f = {}^1/_{1000}\,l$	
Допускаемое напряженіе k_b въ kg/qcm:		750	1000	750	1000
Случай нагрузки 2) (стр. 374).	$\zeta =$	${}^3/_{80}$	${}^1/_{20}$	${}^1/_{16}$	${}^1/_{12}$
	$\eta =$	${}^{15}/_{8}$	${}^5/_{2}$	${}^{25}/_{8}$	${}^{25}/_{6}$
Случай нагрузки 8) (стр. 376).	$\zeta =$	${}^3/_{64}$	${}^1/_{16}$	${}^5/_{64}$	${}^5/_{48}$
	$\eta =$	${}^{75}/_{32}$	${}^{25}/_{8}$	${}^{125}/_{32}$	${}^{125}/_{24}$

Если для желѣзной балки имѣютъ мѣсто случаи нагрузки 2) и 8) одновременно, то, при равномѣрно распредѣленной нагрузкѣ P и сосредоточенной нагрузкѣ P_1 посрединѣ балки, въ формулу $J \geqq \eta\, W\, l$ для W подставляютъ величину:

НТБ ДНУЗТ

Черт. 221.



$$W = \frac{{}^5/_8 P + P_1}{4 k_b} l \text{ (гдѣ } l \text{ въ cm)}$$

и пользуются коэффиціентомъ η для случая нагрузки 2).

Примѣры:

Примѣчаніе. Въ нижеслѣдующихъ примѣрахъ для балокъ приняты нормальныя германскія профили и сварочное желѣзо, обладающее $k_b = 1000$ kg/qcm.

Примѣръ 1. Свободно задѣланная балка, вылетомъ 1,5 m, нагружена, по черт. 221, грузомъ 900+450+800+150=2300 kg; собственнымъ вѣсомъ балки пренебрегаемъ.

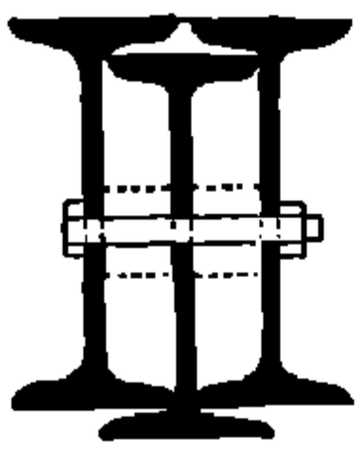
Въ C необходимо:

$$W = \frac{800 \,.\, 50 + (0{,}5 : 1{,}5) \,.\, 900 \,.\, 25}{1000} = 47{,}5 \text{ ccm},$$

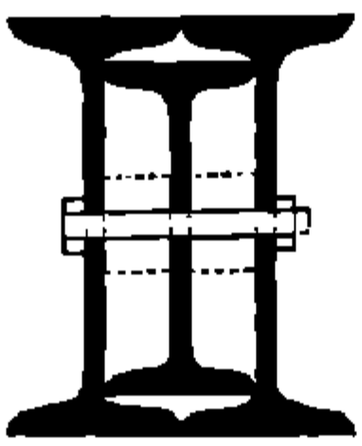
въ B: $$W = \frac{800 \,.\, 150 + 150 \,.\, 30 + 900 \,.\, {}^1/_2 \,.\, 150 + 450 \,.\, {}^1/_3 \,.\, 100}{1000} = \frac{207\,000}{1000} = 207 \text{ ccm}.$$

Для AC достаточно уже **I**-№ 12 съ $W = 54{,}5$ ccm. Для BC можно выбрать:
2 **I**-№ 16 съ $W = 2 \,.\, 117 = 234$ ccm или **I**-№ 20 съ $W = 214$ ccm, или
(по черт. 222) 3 **I**-№ 14 съ $W = 3 \,.\, 81{,}7 = 245$ ccm, или
(по черт. 223) 2 **I**-№ 14 и **I**-№ 12 съ $W = 2 \,.\, 81{,}7 + {}^{12}/_{16} \,.\, 54{,}5 = 210$ ccm.

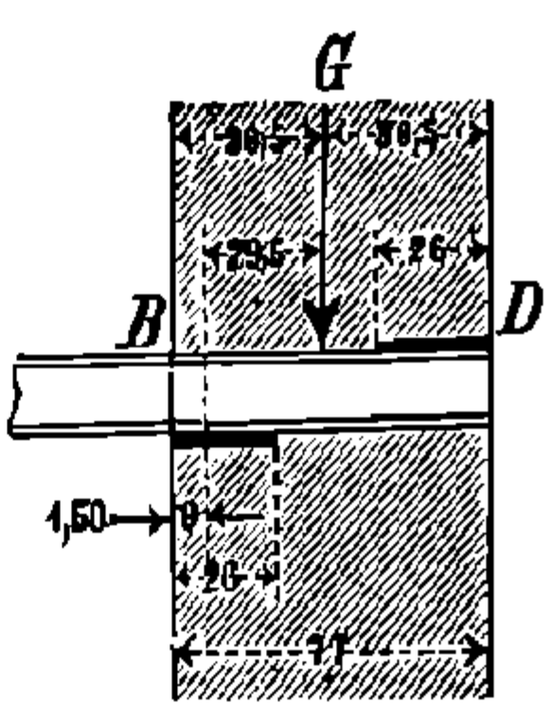
Черт. 222.



Черт. 223.



Черт. 224.



[Болѣе слабый профиль № 12 можетъ здѣсь только настолько прогнуться, какъ и оба профиля № 14, и слѣд. болѣе слабая **I** балка не вполнѣ напряжена, поэтому ея $W = 54{,}5$ ccm въ отношеніи высотъ профилей уменьшено].

Въ виду того, что перемѣщеніе балки не должно имѣть мѣста, необходимо, чтобы: 1) стремленію балки выворачиваться изъ задѣланнаго мѣста препятствовалъ моментъ опредѣленнаго противодѣйствія (стр. 170) и 2) для силы и противодѣйствія была достаточная опора балки. Если принять ось вращенія на одной трети ширины опорной доски балки (26 : 3 около 9 cm), считая отъ ребра вращенія B, то моментъ вращающій будетъ

$$M = 207\,000 + 9 \,.\, 2300 = 227\,700 \text{ cmkg}.$$

Если противодѣйствіе приложено на плечѣ $38{,}5 - 9 = 29{,}5$ cm, то необходимо, чтобы величина противодѣйствія была $G \geqq 227700 : 29{,}5 = 7720$ kg.

Подкладная плита у B, шириною 26 cm, длиною 39 cm (черт. 224), производитъ давленіе на находящуюся подъ нею кирпичную кладку на цементѣ съ напряженіемъ въ среднемъ:

$$k = \frac{2300 + 7720}{26.39} = 10 \text{ kg/qcm},$$

что, по табл. 3, стр. 343, можетъ быть допущено. Подкладная плита у D: 26 . 26 cm (благодаря лучшему распредѣленію давленія на кладку).

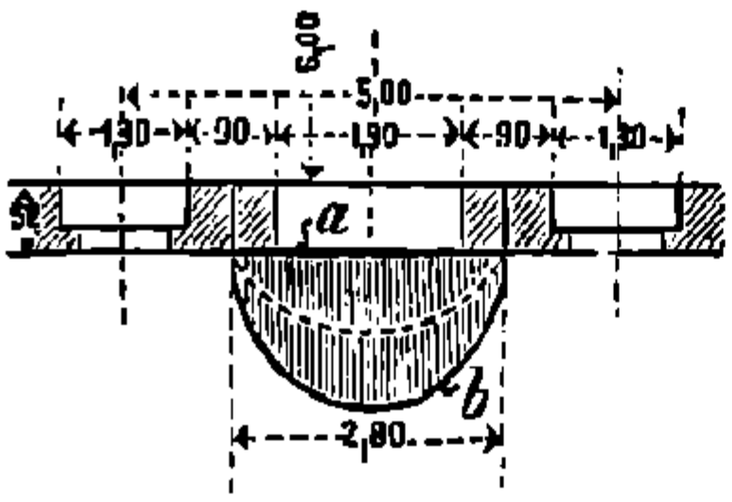
При разсчетѣ свободныхъ задѣланныхъ балокъ на устойчивость противодѣй-

НТБ ДНУЗТ

ствующими силами являются лишь вѣса отъ кладки, балокъ и т. п. (а не нагрузки отъ грузовъ).

Примѣръ 2. Изображенный, на черт. 225, въ планѣ **балконъ** имѣетъ половой настилъ изъ волнистаго желѣза общею нагрузкою 250+400=650 kg/qm. Вѣсъ желѣзныхъ перилъ 50 kg/m; $k_b = 1000$ kg/qcm.

Черт. 225.



На б а л к у *a* у фронтовой стѣны приходится $^1/_2 \,.\, ^1/_2 \,.\, ^1/_4 \,.\, \pi \,.\, 2{,}8^2 = 1{,}54$ qm по 650 kg/qm = около 1000 kg.

Разстояніе центра тяжести половины груза (четверть эллипса) отъ опоры (см. четверть круга, стр. 177):

$$140\,(1 - \sqrt{^1/_2} \,.\, 0{,}6) = 81 \text{ cm}.$$

Необходимый моментъ сопротивленія

$$W = \frac{500 \,.\, 81}{1000} = 40{,}5 \text{ ccm}.$$

Для балки *a* выбрано I № 11 съ $W = 43{,}3$ ccm.

К о н ц е в а я б а л к а *b* принимаетъ нагрузку:

1) отъ п о л а $^1/_2 \,.\, ^1/_2 \,.\, ^1/_4 \;\pi \,.\, 2{,}8^2 = 1{,}54$ qm по 650 kg/qm . . . . =1000 kg;

центръ тяжести серповиднаго пола находится передъ ребромъ вращенія (наружнее ребро кладки стѣны), по стр. 177, на

$$(2 - ^1/_2)\,\frac{4}{3}\;\;\frac{140}{\pi} = 0{,}4244 \,.\, 210 = 89 \text{ cm};$$

2) отъ п е р и л ъ $^1/_2 \,.\, \pi \,.\, 2{,}8 = 4{,}4$ m по 50 kg/m . . . . . =220 kg;

центръ тяжести отъ оси вращенія (стр. 174): 0,637 . 140 = 89 cm;

3) о п о р н ы я д а в л е н і я балки *a*, приложенныя на разстояніи 3 cm отъ ребра вращенія, всего . . . . . =1000 kg.

Общая нагрузка . . . 2220 kg.

Необходимо имѣть $W = \dfrac{(1000 + 220) \,.\, 89 + 1000 \;\; 3}{1000} = \dfrac{111580}{1000} = 112$ ccm.

Для балки *b* принято I № 13 съ $W = 2 \,.\, 67 = 134$ ccm.

Для вызываемыхъ въ опасныхъ сѣченіяхъ напряженій на скручиваніе имѣется избытокъ 134—112=22 ccm момента сопротивленія.

Опрокидывающій моментъ относительно оси, расположенной на 9 cm за осью вращенія, равенъ $M = 111\,580 + 2220 \,.\, 9 = 131\,560$ cmkg.

Высота этажа 4,20 m, высота окна 2,60 m, высота подоконника 0,80 m, ширина комнаты 6,0 m, балка лежитъ на длинѣ 0,26 m, вѣсъ фронтовой стѣны въ 2 кирпича со штукатуркой 850 kg/qm, собственный вѣсъ балочнаго потолка комнаты 250 kg/qm.

Грузъ кирпичной кладки этажа (дѣйствующій на плечѣ $^1/_2 \,.\, 52 - 9 = 17$ cm) равенъ $5{,}0 \,.\, 4{,}2 - [2 \,.\, ^1/_2 \;\; 1{,}30 \,.\, 2{,}60 + 1{,}90\,(2{,}60 + 0{,}80)] = 11{,}16$ qm по 850 kg/qm = около 9500 kg.

Грузъ потолка (дѣйствующій на плечѣ $^1/_2 \,.\, 26 - 9 = 4$ cm) равенъ:

$$5{,}0 \,.\, 6{,}0 = 30 \text{ qm по } 250 \text{ kg/qm} = 7500 \text{ kg}.$$

Моментъ устойчивости составляетъ, по меньшей мѣрѣ:

$$M_s = 9500 \,.\, 17 + 7500 \,.\, 4 = 191\,500 \text{ cmkg},$$

т.-е. съ избыткомъ превосходитъ величину опрокидывающаго момента, такъ что устойчивость соблюдена въ значительной мѣрѣ. Общее противодѣйствіе приложено на плечѣ

$$\frac{191\,500}{9500 + 7500} = 11{,}3 \text{ cm},$$

слѣд., часть противодѣйствія, необходимая для равновѣсія, будетъ 131 560 : 11,3 = = 11 650 kg.

Необходимая площадь п о д к л а д н ы х ъ и л и т ъ (2220 + 11650) : 11 = 1260 qcm, такъ что доска 26 . 26 cm на каждой опорѣ (всего 2 . 26 . 26 = 2.676 = 1352 qcm) является достаточной.

Примѣръ 3. Массивная лѣстница, планъ на черт. 226, подъемъ ступеней 16,5 : 30 cm; своды въ $^1/_2$ кирпича опираются на желѣзныя балки, поддерживающія площадку и косоуръ. Нагрузка 1000 kg/qm въ планѣ.

НТБ ДНУЗТ

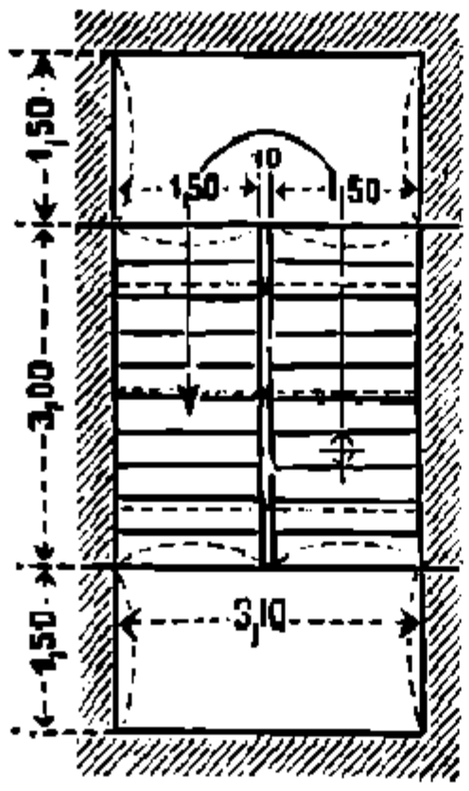
Косоуръ. Свободная длина 3,0 m, нагрузка $= 3{,}0 \cdot {}^1/_2 \cdot 1{,}5 \cdot 1000 = 2250$ kg.

Необходимо $$W_x = \frac{2250 \cdot 300}{8 \cdot 1000} = 84{,}4 \text{ ccm};$$

выбираемъ [№ 14 съ $W_x = 86{,}4$ ccm.

Горизонтальный распоръ при подъемѣ свода въ $^1/_{10}$.

Черт. 226.



$$H = \frac{Pl}{8h} = \frac{2 \cdot 2250 \cdot 150}{8 \cdot 15} = 5625 \text{ kg}.$$

На каждую изъ 3 промежуточныхъ тягъ передается вытягивающее усиліе въ $^1/_3 . 5625 = 1875$ kg, и слѣд., для тяги этой потребуется сѣченіе: $1875 : 750 = 2{,}5$ qcm и, слѣд., круглое желѣзо діам. 2 cm.

Для косоура необходимо (см. стр. 396):

$W_y = W_x : 7{,}5 = 84{,}4 : 7{,}5 = 11{,}3$ ccm;

имѣется $W_y = 62{,}7 : 4{,}25 = 14{,}8$ ccm. При двухъ промежуточныхъ тягахъ и стрѣлкѣ свода въ $^1/_{10}$ потребовалось бы $W_y = W_x : 4{,}5$ при одной промежуточной тягѣ $W_y = {}^5/_8 W_x$.

Балки, поддерживающія площадку и лѣстницу. Свободный пролетъ 3,10 m.

Нагрузка, равномѣрно распредѣленная, $3{,}1 \cdot {}^1/_2 \cdot 1{,}5 \cdot 1000 = 2325$ kg, плюсъ нагрузка отъ косоура на разстояніи 1,5 m отъ опоры $= {}^1/_2 \cdot 2250$ kg.

Необходимо $$W = \frac{2325 \cdot 310}{8 \cdot 1000} + \frac{{}^1/_2 \cdot 2250 \cdot 150}{1000} = 90 + 169 = 259 \text{ ccm};$$

выбираемъ I № 22 съ $W = 278$ ccm. При опорѣ длиной въ 30 cm найдемъ, что для опорнаго давленія $({}^1/_2 \cdot 2325 + 2250)$ kg не требуется подкладной плиты, такъ какъ опора можетъ нести грузъ по крайней мѣрѣ $9{,}8 \cdot 30{,}0 \cdot 12 = 3530$ kg. Горизонтальный распоръ сводовъ площадки воспринимается сводами маршей.

[Если своды маршей замѣняются прямымъ волнистымъ желѣзомъ (собств. вѣсъ марша 300 kg/qm, полезный грузъ 500 kg на qm въ планѣ), то тяги излишни, и для косоуровъ потребуется $W = (800 : 1000) \cdot 84{,}4 = 67{,}5$ ccm, такъ что [№ 14 съ $W = 86{,}4$ ccm будетъ достаточно съ избыткомъ.

Для волнистаго желѣза, имѣющаго свободный пролетъ 1,5 m, нагрузка на 1 m ширины равна:

$$1{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 800 \frac{30}{\sqrt{30^2 + 16{,}5^2}} = 1050 \text{ kg},$$

такъ что потребуется $$W = \frac{1050 \cdot 150}{8 \cdot 1000} = 19{,}7 \text{ ccm}.$$

Профиль волнистаго желѣза $B = 75$ mm, $H = 50$ mm, $\delta = 1$ mm имѣетъ, по формулѣ 28 стр. 366, на 1 m ширины листа $W = 2 \cdot 57{,}6 : 5{,}1 = 22{,}6$ ccm.

Для волнистаго желѣза, подверженнаго нагрузкѣ, необходимо принимать еще увеличеніе толщины его на случай ржавленія на 1 mm.

Для балки, поддерживающей площадку, требуется $W = 90 + 0{,}8 \cdot 169 = 225$ ccm, такъ что I № 21 съ $W = 244$ ccm достаточно].

Если въ случаѣ черт. 226 ступени маршей лежатъ на сводѣ, упирающемся въ балку площадки, такъ что косоуровъ не требуется, то принимаютъ, что весь грузъ марша передается на нижнюю балку, тогда какъ верхней балкой достигается уравновѣшеніе распоровъ маршеваго свода (наклоннаго) и горизонтальнаго свода. Разсчетъ балки, поддерживающей площадку, производится по 21, стр. 383.

Въ послѣднемъ примѣрѣ имѣемъ (соотв. черт. 217 стр. 383) $l = 310$ cm, $a = 150$ cm, $b = 160$ cm, $P = 2325$ kg и $P_1 = 1{,}5 \cdot 3{,}0 \cdot 1000 = 4500$ kg.

Имѣемъ: $$A = \frac{2325}{2} + 4500 \left(1 - \frac{150}{2 \cdot 310}\right) = 4575 \text{ kg}; \quad B = 2250 \text{ kg}.$$

Въ виду того, что $P : P_1 < 150 : (310 - 2 \cdot 150)$, опасное сѣченіе опредѣляется

$$x = \frac{4575}{(2325 : 310) + (4500 : 150)} = \frac{4575}{7{,}5 + 30} = 122 \text{ cm},$$

НТБ ДНУЗТ

и необходимо имѣть $$W = \frac{4575 \,.\, 122}{2 \,.\, 1000} = 279 \text{ ccm},$$

при этомъ балка I № 23 съ $W = 314$ ccm вполнѣ достаточна.

Подкладныя плиты при длинѣ опоры 35 cm и лучшей кирпичной кладкѣ на цементѣ ($k = 14$ kg/qcm, см. стр. 343) не требуются.

[Безъ опредѣленія x необходимый моментъ сопротивленія найдется по:

$$W = \frac{4575^2 \,.\, 150 \,.\, 310}{750 \,.\, 2\,(2325 \,.\, 150 + 4500 \,.\, 310)} = 279 \text{ ccm}].$$

Примѣръ 4. Прокатныя балки **массивнаго потолка** необыкновенно большого пролета. Свободный пролетъ 10,5 m, между балками 1,95 m. Собственный вѣсъ потолка, со включеніемъ балокъ, 400 kg/qm, нагрузка 250 kg/qm. Способъ нагрузки 8, стр. 376.
Нагрузка $P = 10{,}5 \,.\, 1{,}95 = 20{,}5$ qm по 650 kg/qm $= 13325$ kg.

Необходимо $W = \frac{13325 \,.\, 1050}{8 \,.\, 1000} = 1749$ ccm, принято I № $42^1/_2$ съ $W = 1739$ ccm,

что было бы достаточно. Если же наибольшій прогибъ долженъ быть менѣе $^1/_{600}$ свободной длины, и слѣд. $f < 1050 : 600 = 1{,}75$ cm, то, по стр. 385 балка № $42^1/_2$ слишкомъ слаба, ибо ея высота $h = 42{,}5$ cm меньше $\zeta l = {}^1/_{16} \,.\, 1050 = 65{,}6$ cm. Поэтому въ этомъ случаѣ требуется моментъ инерціи

$$J \geqq \eta \, Wl = \frac{25}{8} \quad 1749 \,.\, 10{,}5 = 57\,389 \text{ cm}^4.$$

Принимаемъ I № 50 съ $J = 68\,736$ cm⁴. По стр. 377 имѣемъ для I № 50 величину:

$$f = \frac{5}{384} \quad \frac{13325}{2\,000\,000} \frac{1050^3}{68\,736} = 1{,}46 \text{ cm};$$

при этомъ балка имѣетъ постоянный прогибъ въ $\frac{400}{650} \,.\, 1{,}46 = 0{,}9$ cm.

Подкладныя плиты 26 . 26 cm достаточны для давленія на опору $^1/_2 \,.\, 13325 = 6660$ kg.

Примѣръ 5. Двѣ балки поддерживаютъ **наклонную плоскость** (для сцены театра), ширина которой 1 m; балки имѣютъ свободный пролетъ 12 m.

Наибольшая случайная нагрузка посрединѣ пролета:

Освѣтительный аппаратъ, на которомъ 3 человѣка, всего не болѣе .	450 kg;
на каждую балку приходится по $^1/_2 \,.\, 450 = 225$ kg.	

Собственный вѣсъ наклонной плоскости на 1 пог. метръ:

1) Балки $2 \,.\, 42 =$	84 kg,
2) Брусчатый настилъ, толщ. 3 cm, $1{,}0 \,.\, 1{,}0 \,.\, 0{,}03 = 0{,}03$ cbm по 600 kg/cbm = ...	18 kg,
3) Перила, укрѣпляющіе болты и т. д.	8 kg.
Всего . .	110 kg.
На каждую балку приходится собственнаго вѣса $12 \,.\, \frac{110}{2} =$ . .	660 kg.

Необходимо, не принимая въ разсчетъ прогиба (см. случ. 20, стр. 382, и далѣе стр. 386):

$$W = \frac{(^1/_2 \,.\, 660 + 225)\, 1200}{4 \,.\, 1000} = 166{,}5 \text{ ccm},$$

и, слѣд., I № 19 съ $W = 185$ ccm хватаетъ съ избыткомъ. Если наибольшій прогибъ долженъ быть меньше $^1/_{600}$ свободной длины, т.-е. $f < 2$ cm, то, по стр. 385, необходимо имѣть:

$$W = \frac{(^5/_8 \,.\, 660 + 225)\ 1200}{4 \,.\, 1000} = 191 \text{ ccm},$$

и, слѣд., требуется $J = \eta \, W_l = {}^5/_2 \,.\, 191 \,.\, 12 = 5730$ cm⁴; слѣд. потребуется балка I № 26 съ $J = 5735$ cm⁴.

Прогибъ въ этомъ случаѣ будетъ $f = \frac{1200}{600} \cdot \frac{5730}{5735} =$ около 2 cm,

причемъ прогибъ $\frac{^5/_8 \,.\, 660}{^5/_8 \,.\, 660 + 225} \,.\, 2 = 1{,}3$ cm — постоянный.

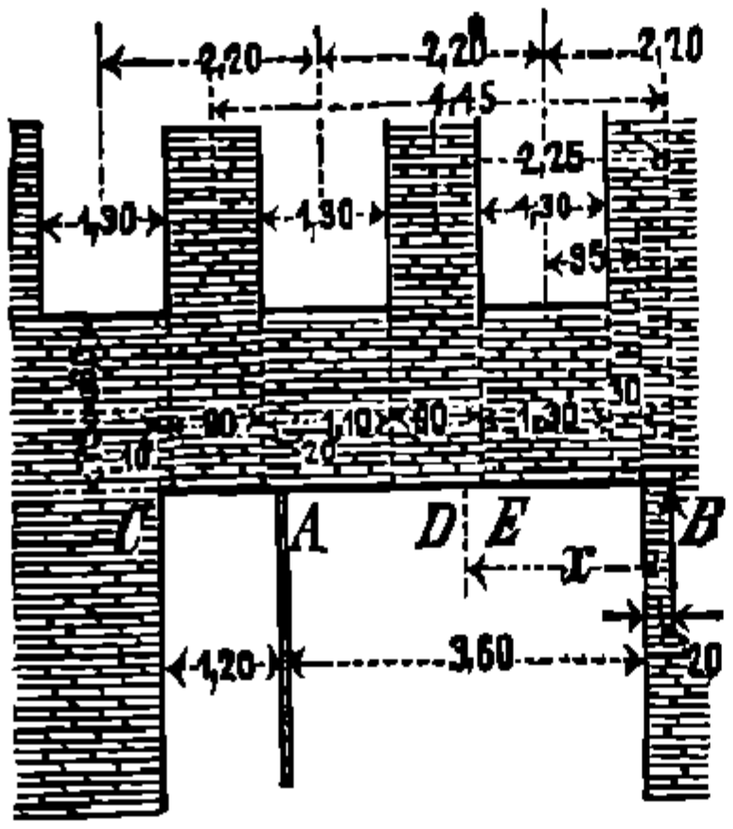
НТБ ДНУЗТ

Для балки **I № 19** наибольшій прогибъ былъ бы:

$$f = \frac{1200}{600} \cdot \frac{5730}{1759} = 6{,}5 \text{ cm.}$$

Примѣръ 6 (черт. 227). Балка *CAB* **надъ магазиннымъ окномъ** лежитъ свободно на опорахъ *A* (чугунная колонна) и *B*; *AC* разсматривается какъ задѣланная однимъ концомъ балка, и опора *C* — какъ несуществующая.

Черт. 227.



Высоты кирпичныхъ стѣнъ: 1-й этажъ: 0,75 m отъ нижней грани балки до верхней грани половыхъ балокъ (см. чертежъ), II-й этажъ 4,50 m, III—4,20 m, IV—3,90 m, V—3,60 m, фронтонъ 1,5 m —Толщина стѣнъ: 0,65 m, 0,52 m, 0,52 m, 0,39 m, 0,39 m, 0,26 m. Высота оконъ: 2,80 m, 2,60 m, 2,40 m, 2,20 m; подоконники 0,80 m. Между потолками 5,50 m, 5,63 m, 5,76 m, 5,89 m, 6,02 m; ширина крыши 8 m.

Нагрузка: отъ кладки стѣнъ — 1600 kg/cbm, потолковъ — 500 kg/qm, крыши — 250 kg/qm; допускаемое напряженіе сварочнаго желѣза $k_b = 1000$ kg/qcm.

Нагрузка: a) равномѣрно распредѣленная на длинѣ 4,80 m

$$4{,}80\,[(0{,}75 \cdot 0{,}65 + 0{,}80 \cdot 0{,}52)\,1600 + {}^1/_2 \cdot 5{,}50 \cdot 500] = 4{,}80 \cdot 2820 = 13\,540 \text{ kg;}$$

b) на двойной длинѣ 0,90 m (оконные простѣнки) по

$$2{,}20 \Big\{ [(4{,}50 - 0{,}80 + 4{,}20)\,0{,}52 + (3{,}90 + 3{,}60)\,0{,}39 + 1{,}5 \cdot 0{,}26]\,1600 +$$
$$+ {}^1/_2\,[(5{,}63 + 5{,}76 + 5{,}89 + 6{,}02)\,500 + 8{,}0 \cdot 250] \Big\} = 2{,}2 \cdot 18700 = 41\,140 \text{ kg,}$$

за вычетомъ: $1{,}30\,[(2{,}80 + 2{,}60)\,0{,}52 + (2{,}40 + 2{,}20)\,0{,}39]\,1600 = 9\,570$ kg,

остается 31 570 kg;

c) на длинѣ 0,30 m . . . . . $0{,}95 \cdot 18700 - {}^1/_2 \cdot 9570 = 12\,980$ kg.

Если (для большей безопасности) принять точку приложенія опорнаго давленія *B* на разстояніи 0,20 m отъ грани столба, то давленіе на колонну:

$$A = \frac{1}{3{,}80}\,[13\,540 \cdot 2{,}60 + 31\,570\,(4{,}45 + 2{,}25) + 12\,980 \cdot 0{,}35] = 66\,120 \text{ kg,}$$

слѣд., $B = 13\,540 + 2 \cdot 31\,570 + 12\,980 - 66120 =$ . . 23 540 kg.

Для сѣченія балки на разстояніи x cm отъ *B* имѣемъ изгибающій моментъ:

$$M = 23\,540\,x - \left[\frac{2820\,(x-20)^2}{100\quad 2} + \frac{31570}{90}\,\frac{(x-180)^2}{2} + 12\,980\,(x-35)\right].$$

Срѣзывающая сила $Q = \frac{dM}{dx} = 0$ (см. стр. 355) при

$$23540 = \frac{2820}{100}\,(x-20) + \frac{31\,570}{90}\,(x-180) + 12980,$$

$$\text{т.-е. при } x = \frac{74\,264}{28{,}2 + 350{,}8} = 196 \text{ cm имѣемъ опасное сѣченіе } D.$$

[*D* можетъ быть найдено также и по способу, приведенному на стр. 381, слѣдующимъ образомъ. На разстояніи 1,80 m отъ *B*, т.-е. въ *E* имѣемъ:

$$Q = 23\,540 - (1{,}6 \cdot 2820 + 12\,980) = 6050 \text{ kg и, слѣд., } Q = 0 \text{ для}$$

$$x = 180 + \frac{6050}{(31\,570 : 90) + (2820 : 100)} = 180 + \frac{6050}{350{,}8 + 28{,}2} = 196 \text{ cm}].$$

Для найденнаго x по уравненію моментовъ находимъ:

$$M_{max} = 2\,042\,396 \text{ cmkg, и, слѣд., } W = \frac{2\,042\,396}{1000} = 2042 \text{ ccm.}$$

НТБ ДНУЗТ

Второе опасное сѣченіе находится въ A, гдѣ требуется:

$$W = \frac{1{,}20 \,.\, 2820 \,.\, 60 + 31\,570 \,.\, 65}{1000} = 2255 \text{ ccm.}$$

Послѣдній моментъ сопротивленія, какъ б о л ь ш і й, служитъ для разсчета. Если нагрузку отъ потолка перваго этажа и части каменной кладки толщиною 0,65 — — 0,52 = 0,13 m должна воспринимать отдѣльная балка, то для послѣдней, при свободной длинѣ ея 4,8 m и при нагрузкѣ 4,8 $(0{,}75 \,.\, 0{,}13 \,.\, 1600 + {}^1/_2 \,.\, 5{,}5 \,.\, 500) =$ $= 4{,}8 \,.\, 1530 = 7350$ kg необходимо:

$$W = \frac{7350 \,.\, 480}{8 \,.\, 1000} = 441 \text{ ccm.}$$

Выбираемъ для этой балки I № 26 съ $W = 441$ ccm, для остальныхъ трехъ фронтовыхъ балокъ I № 30 съ $W = 652$ ccm, такъ что общій моментъ сопротивленія $W = 3 \,.\, 652 + 441 = 2397$ ccm.

Опорныя плиты. У B (при ширинѣ плиты 39 cm) опорное давленіе 23 540 kg увеличивается еще на

$$\frac{0{,}39}{0{,}90 - 0{,}30} (31\,570 - 12\,980) = 12\,080 \text{ kg,}$$

такъ что, при длинѣ опорной плиты 65 cm и лучшей кладкѣ изъ клипкера на цементѣ ($k = 14$ kg/qcm, стр. 343), ширина плиты будетъ

$$\frac{23\,540 + 12\,080}{65 \,.\, 14} = \frac{35\,620}{910} = 39 \text{ cm.}$$

Въ C опорная плита 65 13 cm.

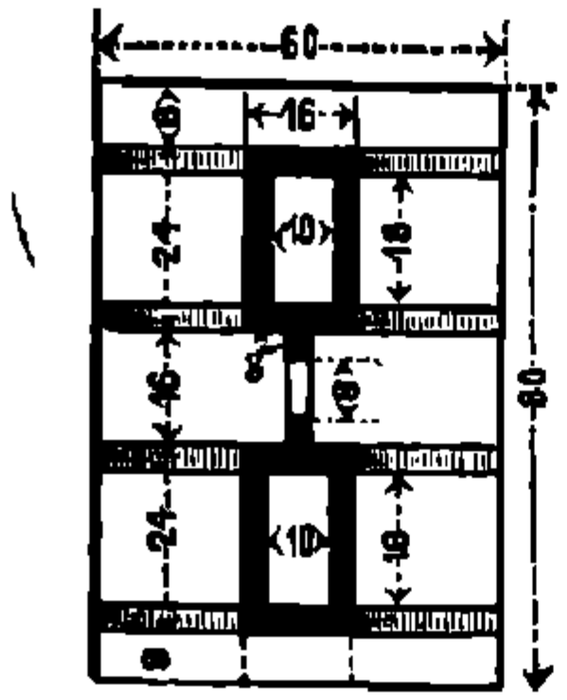
К о л о н н а въ A, при высотѣ 5,0 m и собственномъ вѣсѣ 880 kg, т.-е. при общей нагрузкѣ 67 тоннъ, должна имѣть по стр. 349:

J min $= 8 \,.\, 67 \,.\, 5{,}0^2 = 13\,400$ cm^4

и $F = 67\,000 : 500 = 134$ qcm.

Сѣченіе по черт. 228 (разм. въ cm) имѣетъ

Черт. 228.



$$J_{\min} = 2\,(8192 - 1500 + 9) = 13\,402 \text{ cm}^4$$

(по табл. стр. 370 — 372) и

$$F = 2\,(24 \,.\, 16 - 18 \,.\, 10 + 4 \,.\, 3) = 432 \text{ qcm.}$$

Для опорной плиты достаточно имѣть 80 · 60 cm, ибо $80 \,.\, 60 \,.\, 14 = 67\,200$ kg.

Примѣръ 7. Деревянныя потолочныя балки имѣютъ свободный пролетъ 6,6 m. На 1 m ширины приходится

$$6{,}6 \,.\, 1{,}0 \,.\, 500 = 3300 \text{ kg.}$$

Для этого требуется ($k_b = 60$ kg/qcm):

$$W = \frac{3300 \,.\, 660}{8 \,.\, 60} = 4538 \text{ ccm.}$$

По табл. стр. 373, балка 26 . 30 cm имѣетъ $W = 3900$ ccm, такъ что, при разстояніи между балками $t = 3900 : 4538 = 0{,}86$ m, выбранное W является достаточнымъ.

f. Балки равнаго сопротивленія изгибу.

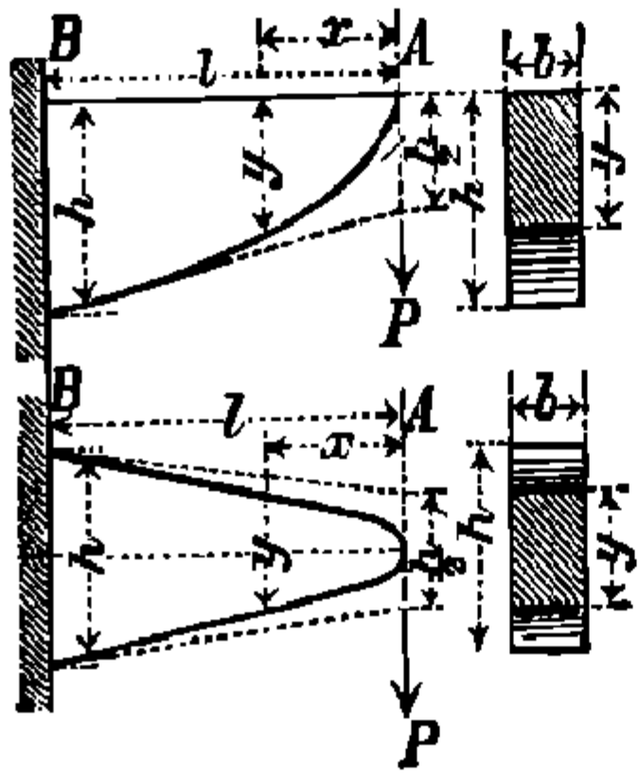
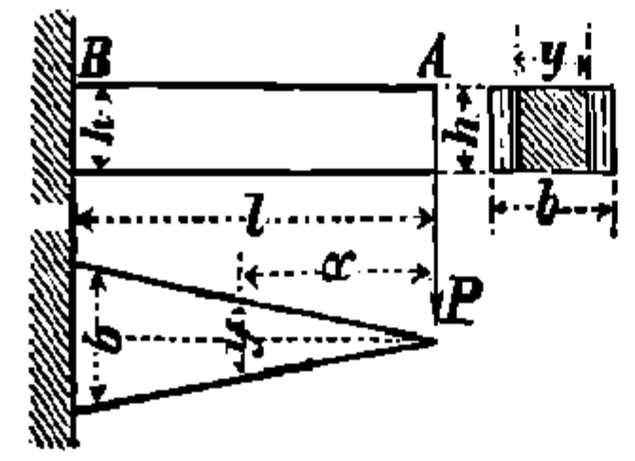
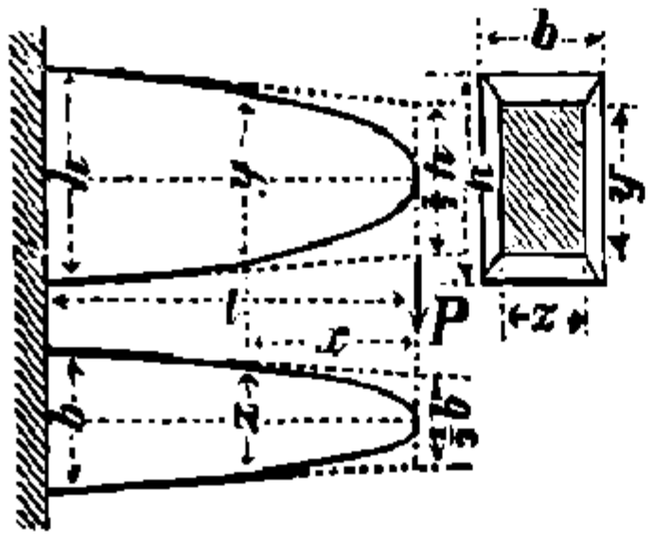
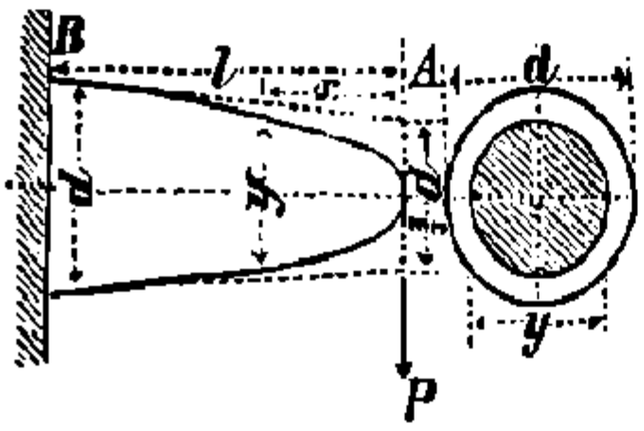
Если наибольшія значенія изгибающаго напряженія

$$\sigma_{\max} (= k_b) = M : W$$

въ каждомъ сѣченіи одинаковы, то балка наз. б а л к о й р а в н а г о с о п р о т и в л е н і я и з г и б у (см. стр. 355). Нѣкоторыя формы такихъ балокъ приведены ниже. Пунктирныя линіи указываютъ **приблизительную форму балокъ**, ограниченную касательными.

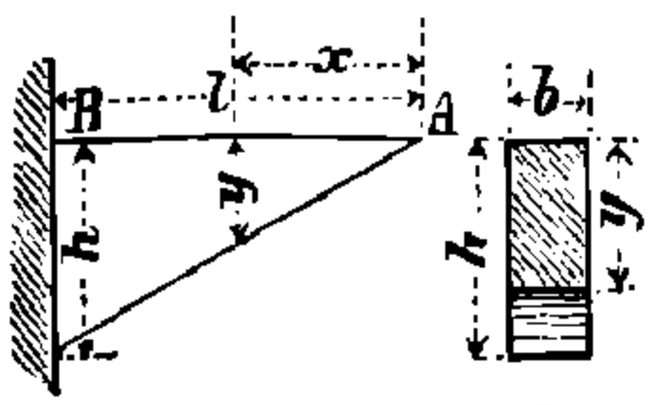
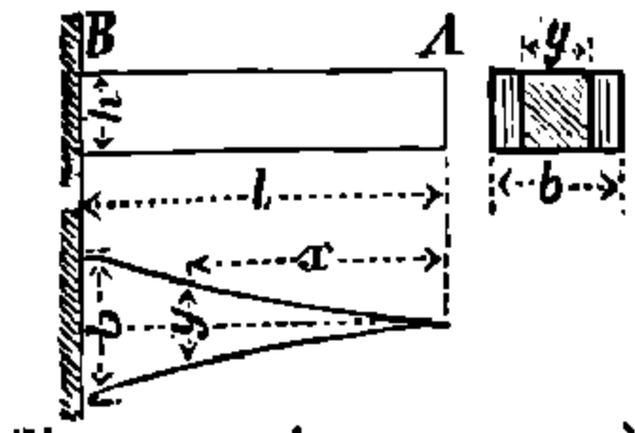
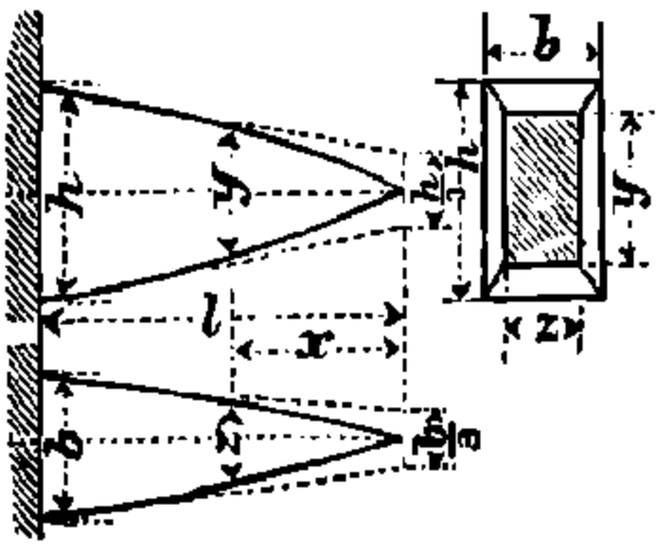
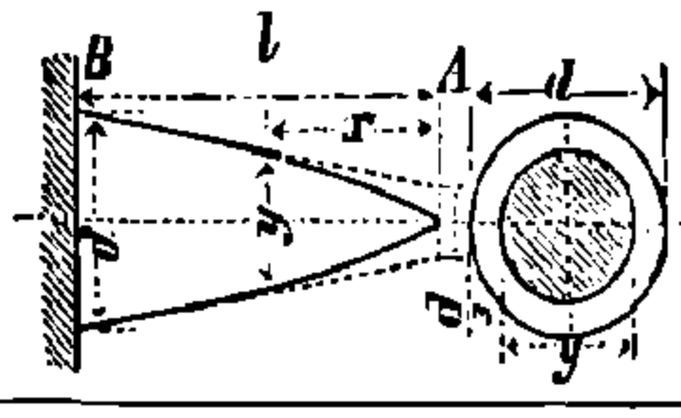
Въ случаяхъ 5, 9, 10 и 11 можно принимать подобно тому, какъ и въ 1, ось x-овъ за ось симметріи продольной профили.

НТБ ДНУЗТ

Продольная профиль и сѣченіе балки.	Сѣченія.	Очертаніе продольной профили.	Формулы для опредѣленія размѣровъ сѣченія.
Грузъ P дѣйствуетъ на концѣ балки.			
1a)  1b)	Прямоугольники одинаковой ширины b и перемѣнной высоты y.	1 a). Верхнее очертаніе: прямая; нижнее очертаніе: обыкнов. парабола. / 1 b). обыкнов. парабола. (См. стр. 109).	$y^2 = \frac{6P}{b k_b} x.$ $h = \sqrt{\frac{6Pl}{b k_b}},$ Прогибъ въ A: $f = \frac{8P}{bK}\left(\frac{l}{h}\right)^3.$
2.  (Упругая линія—дуга круга).	Прямоугол. одинаковой высоты h и перемѣнной ширины y.	Прямая линія.	$y = \frac{6P}{h^2 k_b} x.$ $b = \frac{6Pl}{h^2 k_b}.$ Прогибъ въ A: $f = \frac{6P}{bE}\left(\frac{l}{h}\right)^3$
3. 	Подобные прямоугольн. высотою y и шириною z; отношеніе сторонъ $z : y = \alpha.$	Кубическая парабола *).	$y^3 = \frac{6P}{\alpha k_b} x.$ $z^3 = \frac{6\alpha^2 P}{k_b} x.$ $h = \sqrt[3]{\frac{6Pl}{\alpha k_b}}.$ $b = \sqrt[3]{\frac{6\alpha^2 Pl}{k_b}}.$
4. 	Круги діаметра y.	Кубическая парабола *).	$y^3 = \frac{32P}{\pi k_b} x.$ $d = \sqrt[3]{\frac{32Pl}{\pi k_b}}.$

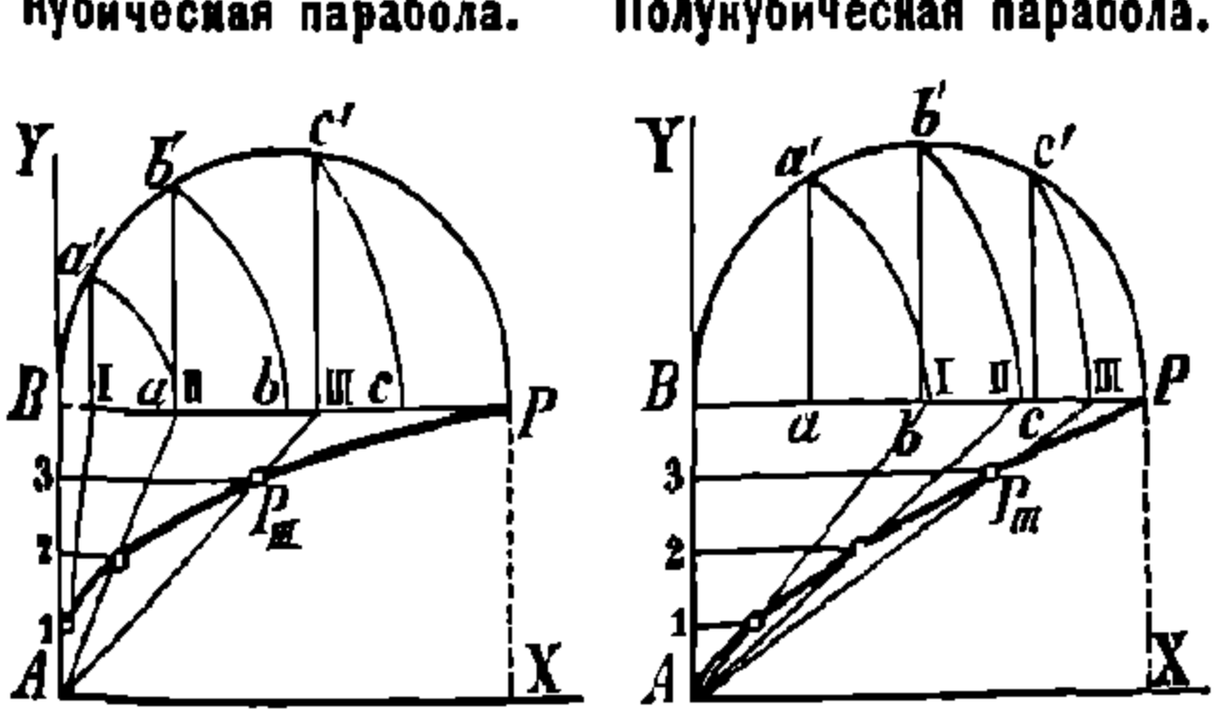
*) **Построеніе кубической** (черт. 229) **и полукубической** (черт. 230) **параболы.** Даны вершина A, ось AX и точка P параболы.

НТБ ДНУЗТ

Продольная профиль и сѣченіе балки.	Сѣченія.	Очертаніе продольной профили.	Формулы для опредѣленія размѣровъ сѣченія.
Грузъ Q равномѣрно распредѣленъ по балкѣ.			
5. 	Прямоугол. одинаковой ширины b и перемѣнной высоты y.	Прямая линія.	$y = x\sqrt{\frac{3Q}{k_b b l}}$. $h = \sqrt{\frac{3Ql}{k_b b}}$.
6.  (Упругая линія—дуга круга).	Прямоугол. одинаковой высоты h и перемѣнной ширины y.	Обыкновенная парабола.	$y = \frac{3Qx^2}{l k_b h^2}$. $b = \frac{3Ql}{k_b h^2}$ Прогибъ въ A: $f = \frac{3P}{bE}\left(\frac{l}{h}\right)^3$
7. 	Подобные прямоугольн. высотою y и шириною z; отношеніе сторонъ $z : y = \alpha$.	Полукубическая парабола.	$y^3 = \frac{3Q}{\alpha k_b}\frac{x^2}{l}$. $z^3 = \frac{3\alpha^2 Q}{k_b}\frac{x^2}{l}$. $h = \sqrt[3]{\frac{3Ql}{\alpha k_b}}$ $b = \sqrt[3]{\frac{3\alpha^2 Ql}{k_b}}$
8. 	Круги діаметра y.	Полукубическая парабола.	$y^3 = \frac{16Q}{\pi l k_b}x^3$. $d = \sqrt[3]{\frac{16Ql}{\pi k_b}}$.

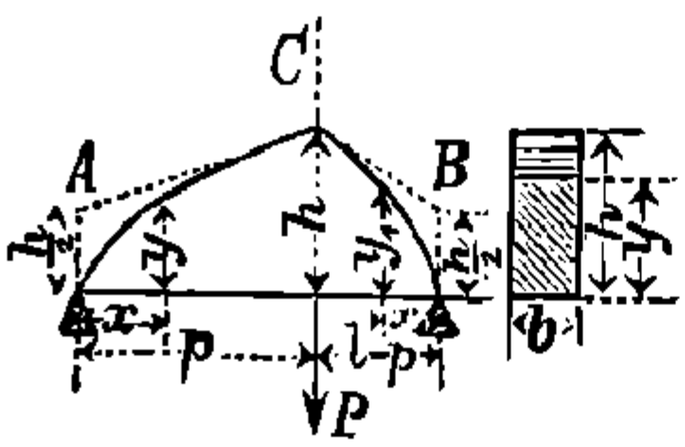
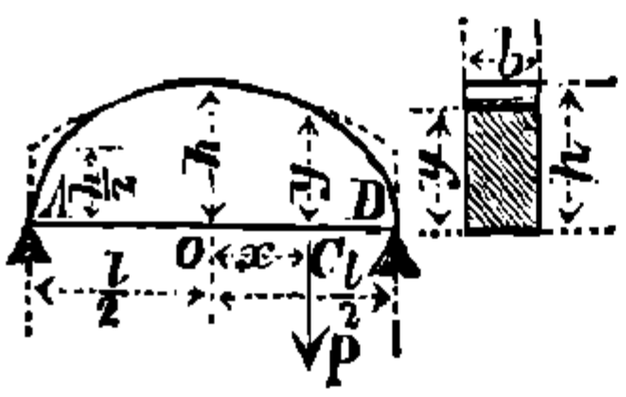
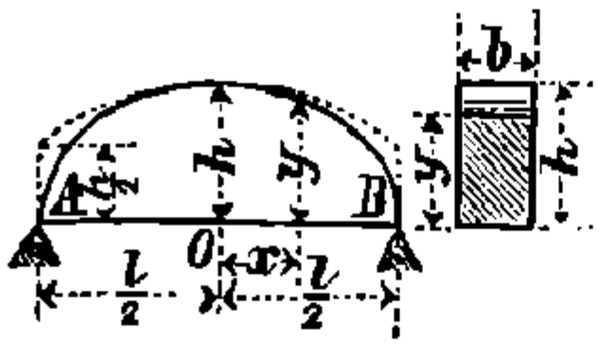
Черт. 229. **Кубическая парабола.**

Черт. 230. **Полукубическая парабола.**



Проводимъ AB перпендикулярно къ AX, PB перпендикулярно къ AB, дѣлимъ AB (точками 1, 2, 3) и BP (точками a, b, c) на одинаковое число равныхъ частей и описываемъ на BP какъ на діаметрѣ кругъ. Откладываемъ, напр. (черт. 229), хорду $Bc' = Bc$ и проводимъ c' III перпендикулярно къ BP (соотв. на черт. 230 проводимъ cc' перпендикулярно къ BP и откладываемъ B III равной хордѣ Bc'). Наконецъ проводимъ A III, послѣдняя пересѣкаетъ прямую 3 P_{III}, параллельную AX, въ точкѣ P_{III} параболы. Соотвѣтственно получаются остальныя точки кривой.

НТБ ДНУЗТ

Продольная профиль и сѣченіе балки.	Сѣченія.	Очертаніе продольной профили.	Формулы для опредѣленія размѣровъ сѣченія.
Грузъ P дѣйствуетъ въ C.			
9. 	Прямоугол. одинаковой ширины b и перемѣнной высоты y.	Верхнее очертаніе: двѣ обык. параболы (См. стр. 109).	$y^2 = \frac{6P(l-p)}{bk_b l}x.$ $y_1^2 = \frac{6Pp}{bk_b l}x_1.$ $y = \sqrt{\frac{6P(l-p)p}{blk_b}}.$
Положеніе точки приложенія C груза P перемѣнное.			
10. 	Прямоугол. одинаковой ширины b и перемѣнной высоты y.	Верхнее очертаніе: эллипсъ. (См. стр. 107).	$\frac{x^2}{\left(\frac{l}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\frac{3Pl}{2bk_b}} = 1.$ $h = \sqrt{\frac{3Pl}{2bk_b}}.$
Грузъ Q равномѣрно распредѣленъ по балкѣ.			
11. 	Прямоугол. одинаковой ширины b и перемѣнной высоты y.	Верхнее очертаніе: эллипсъ. (См. стр. 107).	$\frac{x^2}{\left(\frac{l}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\frac{3Ql}{4k_b b}} = 1.$ $h = \sqrt{\frac{3Ql}{4bk_b}}.$

g. Балки на многихъ опорахъ.

Неразрѣзныя балки.

Балка, свободно лежащая или закрѣпленная на концахъ, имѣетъ еще нѣсколько опоръ.

1. Опредѣленіе моментовъ надъ опорами.

Пусть (черт. 231).

M_0, M_1, M_2 моменты надъ тремя произвольными послѣдовательными опорами 0, 1, 2,

y_0, y_1, y_2.. высоты опорныхъ точекъ

НТБ ДНУЗТ

0, 1. 2.. надъ нѣкоторою горизонтальною плоскостью; тогда имѣемъ:

$$1)\quad 6EJ\left(\frac{y_1-y_0}{l_0}+\frac{y_1-y_2}{l_1}\right)=M_0 l_0+2M_1(l_0+l_1)+M_2 l_1$$
$$+\frac{\Sigma P a_0(l_0^2-a_0^2)}{l_0}+\frac{\Sigma P a_1(l_1^2-a_1^2)}{l_1}+1/4(q_0 l_0^3+q_1 l_1^3).$$

Для балки, подверженной только равномѣрной нагрузкѣ, дѣйствующей на нѣкоторыхъ ея частяхъ, имѣемъ **уравненіе Клапейрона:**

$$2)\ 6EJ\left(\frac{y_1-y_0}{l_0}+\frac{y_1-y_2}{l_1}\right)=M_0 l_0+2M_1(l_0+l_1)+M_2 l_1+$$
$$+1/4(q_0 l_0^3+q_1 l_1^3).$$

Для n пролетовъ съ $n+1$ опоръ могутъ быть составлены n—1 уравненій вида 1) и соотв. 2). Уравненія эти, вмѣстѣ съ двумя уравненіями для крайнихъ опоръ (напр. $M_0=M_n=0$ и т. д.), даютъ возможность опредѣлить $n+1$ моментовъ надъ $n+1$ опорами.

2. Опредѣленіе давленій на опоры.

1. Въ нижеслѣдующемъ означаютъ:

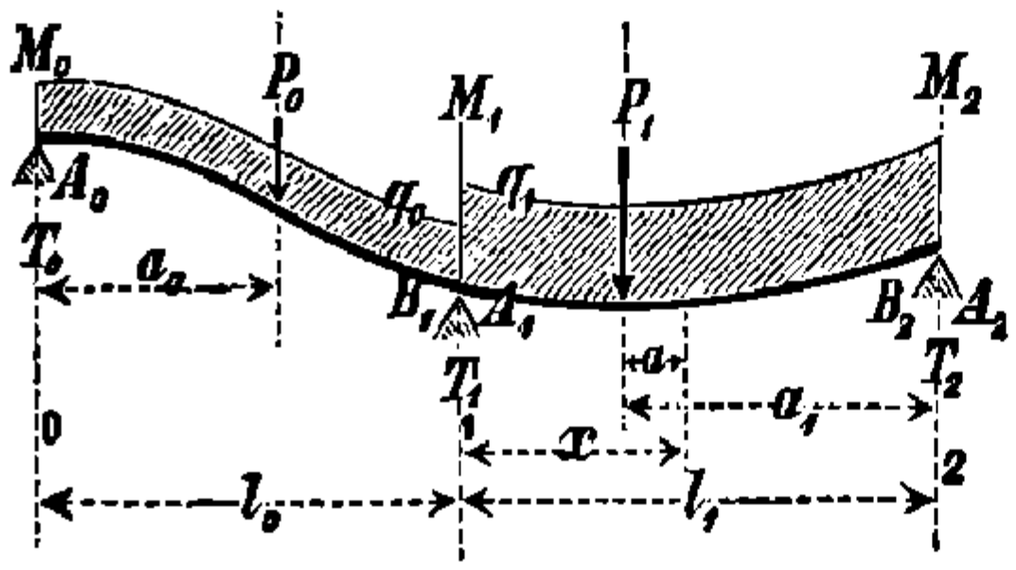
$B_1, B_2, \ldots B_n$ части общаго сопротивленія опоръ, являющіяся отъ нагрузокъ съ лѣвой стороны каждой опоры;

$A_0, A_1, \ldots A_{n-1}$ части общаго сопротивленія опоръ, являющіяся отъ нагрузокъ съ правой стороны каждой опоры;

$T_0, T_1, \ldots T_n$ общія сопротивленія опоръ, такъ что:

$$T_0=A_0,$$
$$T_1=A_1+B_1,$$
$$\ldots\ldots\ldots$$
$$T_n=B_n.$$

Черт. 231.



Моментъ въ какомъ угодно мѣстѣ на разстояніи x отъ 1 опоры равенъ:

$$M=M_1-\frac{q_1 x^2}{2}-\sum_0^x P_1 a+A_1 x;$$

и для $x=l_1$:

$$M_2=M_1-\frac{q_1 l_1^2}{2}-\Sigma P_1 a_1+A_1 l_1,$$

откуда:

$$A_1=\frac{M_2-M_1}{l_1}+\frac{q_1 l_1}{2}+\frac{\Sigma P_1 a_1}{l_1}.$$

НТБ ДНУЗТ

Точно такъ же имѣемъ:

$$B_1 = \frac{M_0 - M_1}{l_0} + \frac{q_0 l_0}{2} + \frac{\Sigma P_0 a_0}{l_0},$$

и слѣд. **общее давленіе на опору:**

$$T_1 = \frac{q_0 l_0 + q_1 l_1}{2} - M_1\left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_0}\right) + \frac{M_2}{l_1} + \frac{M_0}{l_0} + \frac{\Sigma P_1 a_1}{l_1} + \frac{\Sigma P_0 a_0}{l_0}.$$

Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены результаты для балокъ, лежащихъ на 3 до 9 опорахъ **равной высоты и удаленныхъ другъ отъ друга на равныя разстоянія** и подверженныхъ только равномѣрно распредѣленной по всей балкѣ нагрузкѣ.

Величины.	Число опоръ.							Единица.
	3	4	5	6	7	8	9	
M_1	0,1250	0,1000	0,1071	0,1053	0,1058	0,1056	0,1057	ql^2
M_2	—	—	0,0714	0,0789	0,0769	0,0775	0,0773	„
M_3	—	—	—	—	0,0865	0,0845	0,0850	„
M_4	—	—	—	—	—	—	0,0825	„
T_0	0,3750	0,4000	0,3929	0,3947	0,3942	0,3944	0,3943	ql
T_1	1,2500	1,1000	1,1428	1,1317	1,1346	1,1337	1,1340	„
T_2	—	—	0,9286	0,9736	0,9616	0,9649	0,9640	„
T_3	—	—	—	—	1,0192	1,0070	1,0103	„
T_4	—	—	—	—	—	—	0,9948	„
$M_1 max$	0,0703	0,0800	0,0772	0,0779	0,0777	0,0778	0,0777	ql^2
$M_2 max$	—	0,0250	0,0364	0,0332	0,0340	0,0338	0,0339	„
$M_3 max$	—	—	—	0,0461	0,0433	0,0440	0,0438	„
$M_4 max$	—	—	—	—	—	0,0405	0,0412	„
x_1	0,375	0,4000	0,3930	0,3947	0,3942	0,3944	0,3943	l
x_2	—	0,5000	0,5357	0,5264	0,5327	0,5281	0,5283	„
x_3	—	—	—	0,5000	0,4904	0,4930	0,4923	„
x_4	—	—	—	—	—	0,5000	0,5026	„
ξ_1	0,750	0,8000	0,7860	0,7894	0,7884	0,7887	0,7887	„
ξ_2	—	0,2760	0,2659	0,2680	0,2675	0,2680	0,2680	„
	—	0,7240	0,8055	0,7830	0,7899	0,7884	0,7890	„
ξ_3	—	—	—	0,1964	0,1960	0,1962	0,1960	„
	—	—	—	0,8036	0,7850	0,7897	0,7880	„
ξ_4	—	—	—	—	—	0,2153	0,2150	„
	—	—	—	—	—	0,7847	0,7900	„

Въ этой таблицѣ означаютъ:

M_1, M_2. . моменты (отрицательные) надъ опорами,
$M_1 max$, $M_2 max$. наибольшіе моменты въ отдѣльныхъ пролетахъ,
T_0, T_1 сопротивленія (противодавленія) опоръ,
x_1, x_2 разстоянія моментовъ $M_1 max$. отъ ближайшихъ лѣвыхъ опоръ,

НТБ ДНУЗТ

ξ_1, ξ_2. разстоянія точекъ перегиба упругой линіи отъ тѣхъ же лѣвыхъ опоръ,
l длину каждаго пролета,
q нагрузку на единицу длины пролета.

Разсчетъ въ таблицѣ произведенъ лишь до средины, такъ какъ общее расположеніе вполнѣ симметрично относительно средины балки.

2. У балки, длиною $2\,l$, лежащей на трехъ равноудаленныхъ и лежащихъ на одной высотѣ опорахъ и нагруженной равномѣрно опредѣленнымъ грузомъ q kg на пог. m, нагрузка можетъ быть увеличена почти въ $1^1/_2$ раза. если **понизить среднюю опору** относительно крайнихъ на величину f, значеніе которой:

$$f = 0{,}0131\,\frac{q\,l^4}{E\,J}\ \text{cm}.$$

Въ этомъ случаѣ сопротивленіе балки наибольшее, ибо при этомъ моментъ надъ среднею опорою равенъ наибольшему моменту въ отдѣльныхъ пролетахъ.

$$M_1 = M_{1\max} = 0{,}0858\,q\,l^2; \quad T_0 = 0{,}4142\,q\,l, \quad T_1 = 1{,}1716\,q\,l.$$

Разсчетъ **неразрѣзныхъ балокъ при перемѣнной подвижной нагрузкѣ** см. часть II—Строительная механика.

E. Сопротивленіе скручиванію.

Разсматриваемое сѣченіе призматическаго бруса подвержено дѣйствію пары силъ, плоскость которой перпендикулярна къ оси бруса.

Пусть означаютъ:

M_d моментъ скручивающей пары въ cmkg,
$G = 1 : \beta = {}^5/_{13}\,E = 0{,}385\ \ E$ модуль скольженія, въ kg/qcm (стр. 333).
$\tau_{\max}$ наибольшее сдвигающее напряженіе въ сѣченіи, въ kg/qcm,
k_d допускаемое напряженіе на скручиваніе для матеріала бруса, въ kg/qcm,
l длину скручиваемаго бруса въ cm,
ϑ относительный уголъ кручения двухъ сѣченій бруса, отстоящихъ на разстояніи 1 cm (отъ дѣйствія крутящаго момента M_d), измѣренный въ cm по дугѣ радіуса 1 cm.

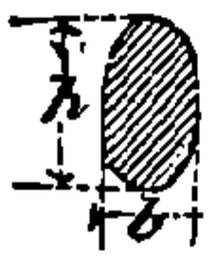
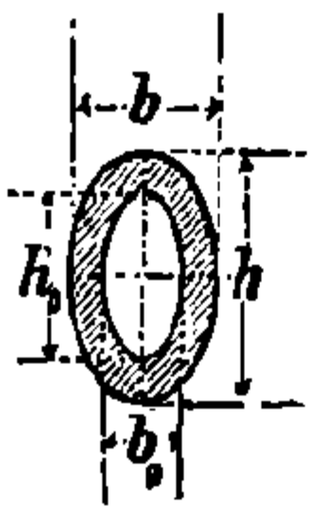
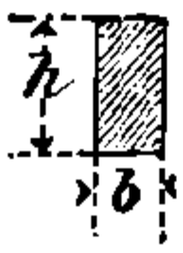
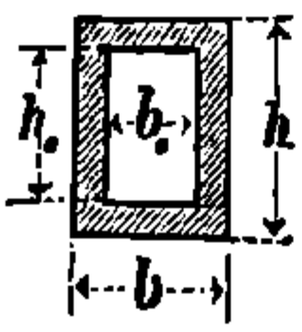
Средняя точка (или пулевая точка) дугъ кручения, которая отъ вліянія крутящаго момента M_d не перемѣщается, представляетъ центръ тяжести сѣченія.

a. Допускаемый моментъ кручения.

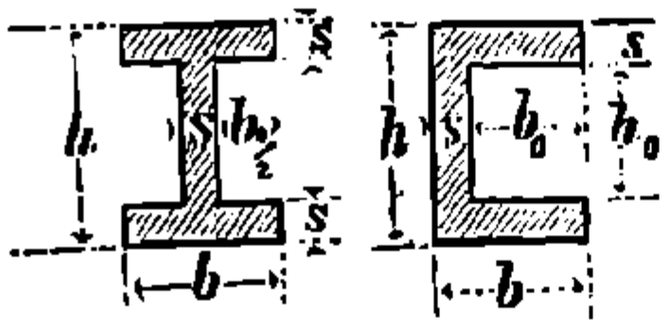
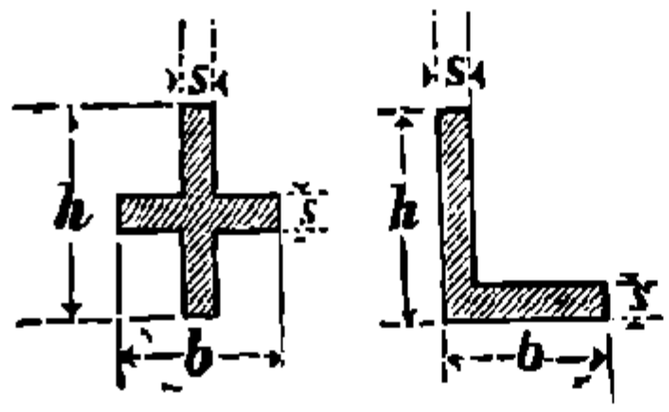
При допускаемомъ напряженіи матеріала на скручиваніе k_d (въ kg/qcm), скручивающій моментъ M_d для важнѣйшихъ сѣченій не долженъ, по K. Баху, превосходить слѣдующихъ значеній.

О значеніяхъ k_d, особенно для чугуна, см. 341 и 342.

НТБ ДНУЗТ

№	Сѣченіе.	Допускаемый скручивающій моментъ.	Примѣчанія.
1.		$M_d = \frac{\pi}{16} d^3 k_d.$	τ_{max} въ точкахъ на окружности. На разстояніи ρ отъ оси имѣемъ: $\tau = (2\rho : d)\ \tau_{max}.$
2.		$M_d = \frac{\pi}{16} \frac{D^4 - d^4}{D} k_d.$ $M_d \sim 1{,}6\, d_m^2\, s\, k_d.$	τ_{max} по наружней окружности. $d_m = {}^1/_2 (D + d);$ $s = {}^1/_2 (D - d).$
3.		$M_d = \frac{\pi}{16} b^2 h\, k_d.$ $(h > b).$	τ_{max} на концахъ малой оси b. На концахъ большой оси h имѣемъ: $\tau = \frac{16}{\pi} \frac{M_d}{h^2 b}.$
4.		$M_d = \frac{\pi}{16} \frac{b^3 h + b_0^3 h_0}{b} k_d.$ $(h_0 : h = b_0 : b;\ h > b).$	τ_{max} на концахъ малой оси b.
5.		$M_d = \frac{2}{9} b^2 h\, k_d.$ $(h > b).$	τ_{max} на срединахъ сторонъ h. На срединахъ сторонъ b имѣемъ. $\tau = \frac{9}{2} \frac{M_d}{b h^2}.$
6.		$M_d = \frac{2}{9} a^3 k_d.$	τ_{max} на срединахъ сторонъ.
7.		$M_d = \frac{2}{9} \frac{b^3 h - b_0^3 h_0}{b} k_d.$ $(h_0 : h = b_0 : b).$	τ_{max} на срединахъ сторонъ h.

НТБ ДНУЗТ

№	Сѣченіе.	Допускаемый скручивающій моментъ.	Примѣчанія.
8.		$M_d = \frac{2}{9} s^2 (h + 2 b_0) k_d.$	Для коробчатаго сѣченія принято $s \geqq 0{,}2\ h$ и b_0 немногимъ больше s.
9.		$M_d = \frac{2}{9} s^2 (h + b - s) k_d.$	Для углового сѣченія принято: $s \geqq 0{,}2\ h.$

Коэффиціентъ при k_d въ вышеприведенныхъ уравненіяхъ для M_d наз. **моментомъ сопротивленія на скручиваніе** и обозначается черезъ W_d. Для круговыхъ и подобныхъ кругу сѣченій имѣемъ (такъ же, какъ и при сопротивленіи изгибу, см. стр. 354):

$$W_d = \frac{J_p}{e},$$

гдѣ $J_p = J_x + J_y$ полярный моментъ инерціи сѣченія (стр. 183 и слѣд.), e разстояніе точки, наиболѣе удаленной отъ нейтральной оси (оси центровъ тяжести сѣченій бруса).

Для сѣченій, имѣющихъ выступающіе углы, этотъ законъ непримѣнимъ.

b. Уголъ кручения.

Относительный уголъ кручения, т.-е. дуга кручения для радіуса равнаго 1 cm для двухъ сѣченій на разстояніи 1 cm, опредѣляется:

$$\vartheta = \zeta \frac{J_x + J_y}{4 J_x J_y} \frac{M_d}{G} = \zeta \frac{J_p}{4 J_x J_y} \frac{M_d}{G},$$

гдѣ коэффиціентъ ζ по Грасгофу:

$\zeta = 1$ для круглыхъ и кольцевыхъ сѣченій,
$\zeta = 1{,}2$ для квадратныхъ и эллиптическихъ сѣченій,
$\zeta = 1{,}2$ до $1{,}5$ для продолговатыхъ и прямоугольныхъ сѣченій.

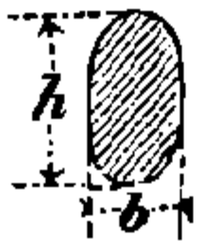
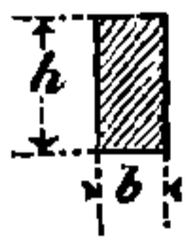
Уголъ кручения ψ для всей длины балки l (относительное вращеніе концевыхъ сѣченій бруса) составляетъ

$$\psi = l \vartheta.$$

По опытамъ К. Баха, величина ϑ для важнѣйшихъ сѣченій имѣетъ нижеслѣдующія значенія. Эти значенія соотвѣтствуютъ для эллип-

НТБ ДНУЗТ

тическихъ сѣченій коэффиц. $\zeta = 1$, а для всѣхъ прямоугольныхъ сѣченій $\zeta = 1{,}2$.

№	Сѣченіе.	Уголъ крученія ϑ, когда даны: моментъ крученія M_d въ cmkg.	наиб. напряжен. для сдвиженія τ_{max} въ kg/qcm.
1		$\vartheta = \frac{M_d}{G J_p} = \frac{32}{\pi d^4} \frac{M_d}{G}$.	$\vartheta = 2 \frac{\tau_{max}}{G} \frac{1}{d}$.
2		$\vartheta = \frac{M_d}{G J_p} = \frac{32}{\pi(D^4 - d^4)} \frac{M_d}{G}$.	$\vartheta = 2 \frac{\tau_{max}}{G} \frac{1}{D}$.
3		$\vartheta = \frac{16}{\pi} \frac{b^2 + h^2}{b^3 h^3} \frac{M_d}{G}$.	$\vartheta = \frac{\tau_{max}}{G} \frac{b^2 + h^2}{b h^2}$.
4		$\vartheta = 3{,}6 \frac{b^2 + h^2}{b^3 h^3} \frac{M_d}{G}$.	$\vartheta = 0{,}8 \frac{\tau_{max}}{G} \frac{b^2+h^2}{b h^2}$.
5		$\vartheta = 7{,}2 \frac{1}{a^4} \frac{M_d}{G}$.	$\vartheta = 1{,}6 \frac{\tau_{max}}{G} \frac{1}{a}$.

F. Сложное сопротивленіе.

Пусть:
E модуль упругости въ kg/qcm (см. стр. 331),
P сила, производящая растяженіе или сжатіе даннаго бруса (продольная сила), въ kg,
Q сила, производящая перерѣзываніе бруса (поперечная сила), въ kg,
M изгибающій моментъ въ cmkg,
F сѣченіе бруса въ qcm,
S центръ тяжести сѣченія,
J_I наибольшій моментъ инерціи сѣченія F въ cm^4,
J_{II} наименьшій моментъ инерціи сѣченія F въ cm^4,
l длина бруса въ cm,
m отношеніе продольнаго удлиненія къ поперечному сжатію $= {}^{10}/_{3}$ (см. стр. 330).

НТБ ДНУЗТ

a. Нормальныя напряженія.

Растяженіе (или сжатіе) и изгибъ.

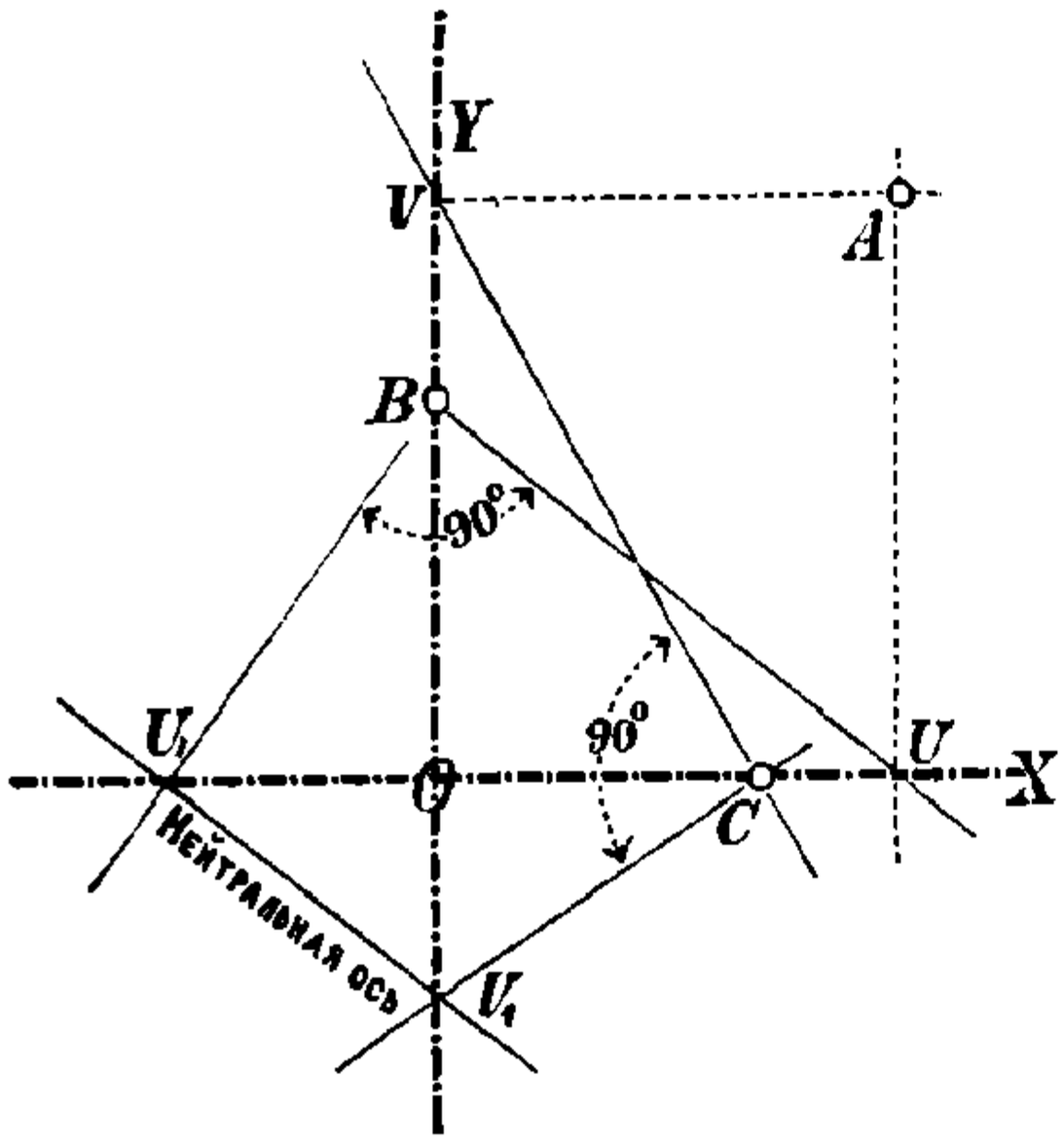
I. Строительный матеріалъ можетъ сопротивляться какъ растяженію, такъ и сжатію.

Изгибающій моментъ M и осевая сила P приводятся къ одной силѣ P, приложенной въ точкѣ A (на разстояніи $p = M : P$ отъ центра тяжести), такъ что $M = Pp$.

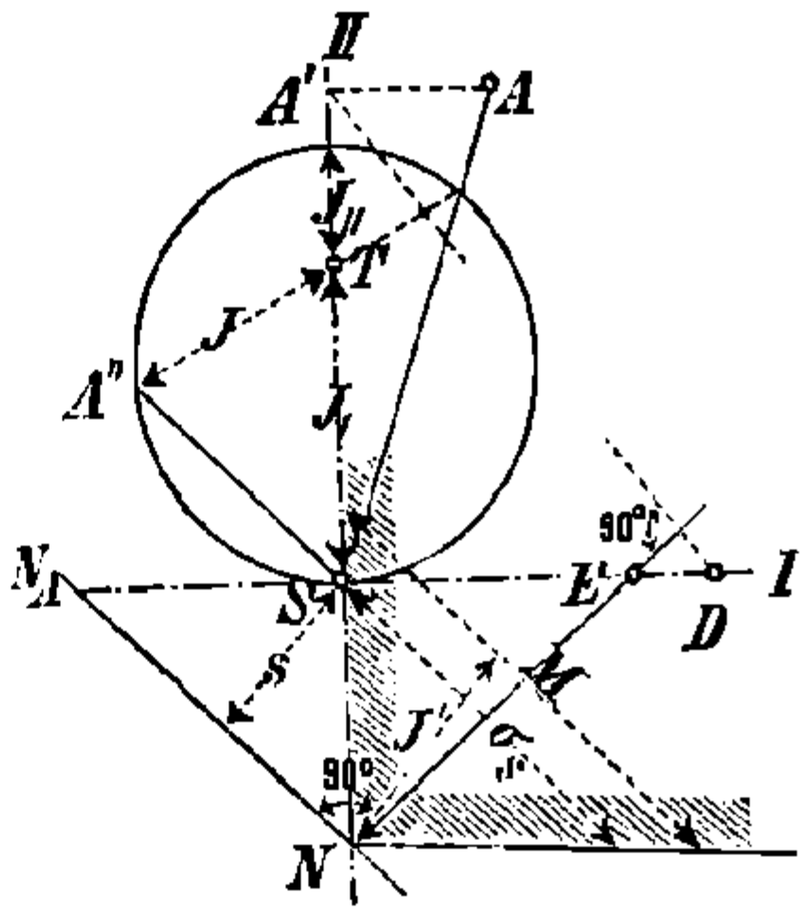
1. Опредѣленіе нейтральной оси для точки A приложенія силы.

1) **По Мору**, при помощи главныхъ радіусовъ инерціи a и b. На главныхъ осяхъ сѣченія OX (J_{I}) и OY (J_{II}) (черт. 232) откладываемъ отрѣзки $OC = b$ и $OB = a$, соединяемъ C съ основаніемъ V перпендикуляра, опущеннаго изъ A на OY, и B—съ основаніемъ U перпендикуляра, опущеннаго изъ A на ось OX. Въ B и C возставляемъ перпендикуляры къ BU и CV и опредѣляемъ точки пересѣченія U_1 и V_1 этихъ перпендикуляровъ съ OX и OY. Прямая $U_1 V_1$ даетъ положеніе нейтральной оси.

Черт. 232.



Черт. 233.



2) По **Роб. Ланду** *) при помощи круга инерціи (черт. 233). Нейтральная ось (нулевая линія) параллельна прямой SA'', проходящей черезъ центръ тяжести сѣченія и сопряженной съ направленіемъ SA дѣйствія силъ и удалена отъ прямой SA'' на разстояніи $s = J' : Fp$. Положеніе нейтральной оси цѣлесообразно опредѣлять пересѣченіемъ ея N съ главною осью. Чертимъ кругъ инерціи такимъ образомъ, чтобы онъ касался одной главной оси, проходящей черезъ центръ тяжести сѣченія S, напр. оси SI, причемъ главная точка инерціи T находится на другой главной

*). См. R. Land: Die Ermittlung der Spannungsverteilung д., Zeitshr. f. Bauwesen 1892, стр. 552 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

оси SII. Откладываемъ въ масштабѣ сѣченія на SI постоянные отрѣзки $SE = J_I : n$ и $SD = n : F$, гдѣ n нѣкоторая соотвѣтственно выбранная величина третьей степени (напр. $n = 100$ cm^3). Проводимъ AA' параллельно SI, а EN перпендикулярно къ DA', тогда искомая нейтральная ось NN_A параллельна SA''. Этотъ способъ весьма цѣлесообразенъ при опредѣленіи напряженій въ **2.** или **3.**, 1).

Обратнымъ построеніемъ 1) и 2) можно, по данной нейтральной оси, опредѣлить соотвѣтственную точку приложенія A.

2. Опредѣленіе напряженій. Напряженіе σ_s въ центрѣ тяжести не зависитъ отъ положенія точки приложенія силы (а, слѣд., и отъ величины момента $M = Pp$), оно выражается $\sigma_s = P : F$ въ зависимости отъ дѣйствія силы P (то-есть будетъ напряженіемъ сжимающимъ, если P—сила сжимающая), слѣд., σ_s равно среднему напряженію во всемъ сѣченіи.

Напряженія выражаются:

$\sigma = \frac{M}{J'} v$, гдѣ, какъ и ранѣе (стр. 359) и по черт. 233, $J' = J = TA''$, а v разстояніе данной точки сѣченія отъ построенной нейтральной оси NN_A. **Графическое изображеніе діаграммы напряженій** можетъ быть произведено, какъ на черт. 212 (стр. 359), причемъ нулевая точка діаграммы должна находиться на новой нейтральной оси. Наибольшее напряженіе можетъ быть опредѣлено непосредственнымъ измѣреніемъ по діаграммѣ или же вычислено по слѣдующей формулѣ:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{J'} e, \quad \text{гдѣ } e = v_{max}.$$

3. Предѣльныя напряженія (σ_{max} и σ_{min}) опредѣляются безъ построенія нейтральной оси по Роб. Ланду.

1) При помощи круга инерціи. Строимъ ось SA'' сопряженную съ осью SA (направленіемъ дѣйствія силъ), черт. 233 (или SN, черт. 212, стр. 359), и назовемъ разстоянія наиболѣе удаленныхъ отъ этой оси точекъ сѣченія F со стороны A (P) черезъ e', съ сохраненіемъ знака силы P (+ для вытягиванія и — для сжатія), а по другую сторону отъ этой оси—черезъ e'' съ противоположнымъ знакомъ, тогда имѣемъ:

$$\left.\begin{matrix}\sigma_{max}\\ \sigma_{min}\end{matrix}\right\} = \begin{cases}\sigma_s + \sigma' = \frac{P}{F} + \frac{M}{J'} e' \text{ и}\\ \sigma_s + \sigma'' = \frac{P}{F} + \frac{M}{J'} e''.\end{cases}$$

2) При помощи общей діаграммы моментовъ сопротивленія (площадь W', см. стр. 360), черт. 234.

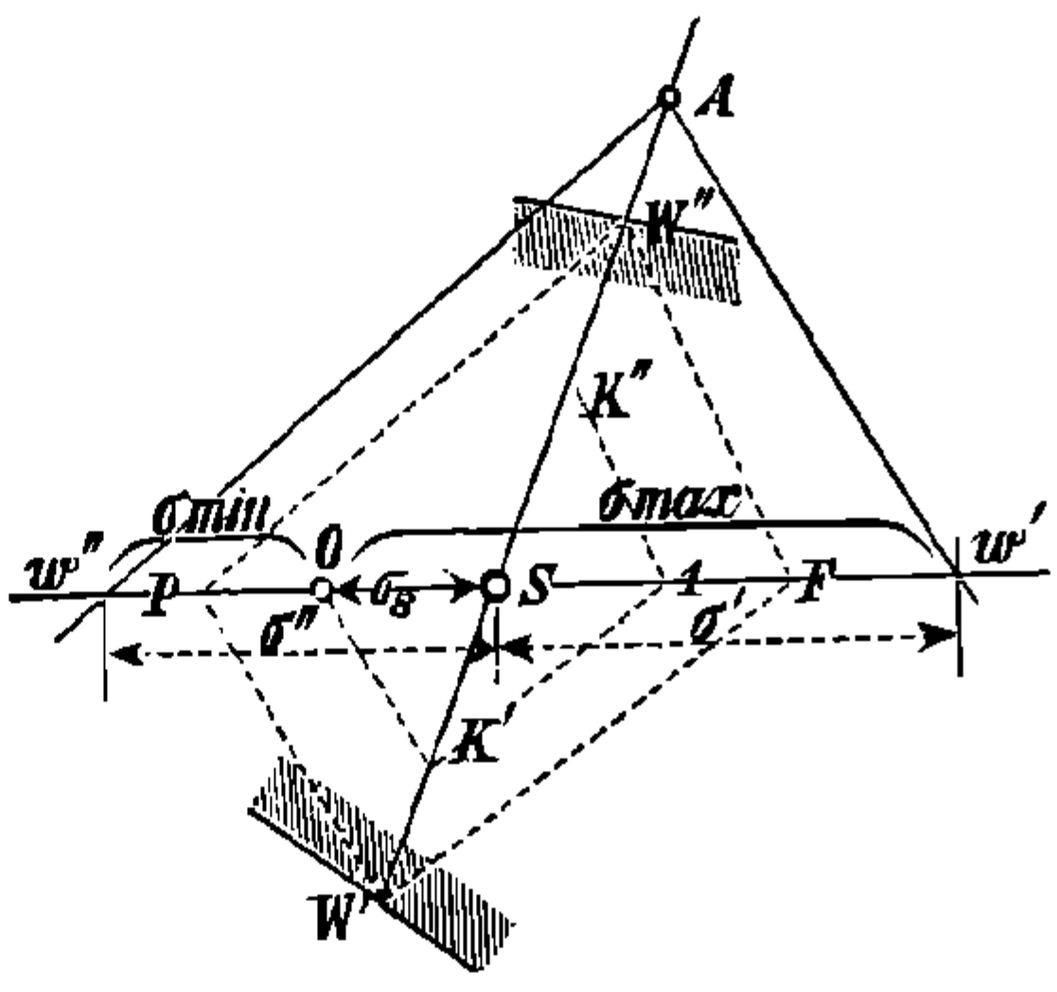
$$\left.\begin{matrix}\sigma_{max}\\ \sigma_{min}\end{matrix}\right\} = \begin{cases}\sigma_s + \sigma' = \frac{P}{F} + \frac{M}{W'}\\ \sigma_s + \sigma'' = \frac{P}{F} + \frac{M}{W''}.\end{cases}$$

НТБ ДНУЗТ

причемъ W' и W'' представляютъ длину лучей площади W' по направленію AS и его продолженію; W' берется съ тѣмъ же знакомъ, какъ и P, а W''—съ обратнымъ знакомъ. $(M = Pp)$.

Графическій способъ. Проводимъ направленіе дѣйствія силъ AS, которое пересѣкаетъ очертаніе площади W' въ точкахъ W'' и W'; на любой оси, проходящей черезъ центръ тяжести, откладываемъ $SP = P$ и по тому же направленію $SO = \sigma_s =$ напряженію въ центрѣ тяжести; прямыя, проведенныя черезъ A параллельно PW' и PW'', отсѣкаютъ на другой прямой отрѣзки $Sw' = \sigma'$ (со знакомъ P и σ_s) и $Sw'' = \sigma''$ (съ обратнымъ знакомъ); σ_{max} опредѣляется, какъ большая изъ обѣихъ величинъ Ow' и Ow'', тогда какъ σ_{min} есть меньшая величина.

Черт. 234.



Для **симметрическихъ** сѣченій имѣемъ:

$$\sigma_{max} = \frac{P}{F} + \frac{M}{W'} \quad \text{и} \quad \sigma_{min} = \frac{P}{F} + \frac{M}{W''}.$$

Знакъ при σ' такой же, какъ у σ_s, а масштабъ для отрѣзковъ σ получается изъ уравненія $\sigma' = \frac{Pp}{W'}$, если для буквъ принимать масштабъ ихъ дѣйствительныхъ значеній (см. стр. 358).

3) Наиболѣе простыя выраженія для предѣльныхъ напряженій получаются, если K' и K'' представляютъ точки ядра сѣченія, расположенныя на лучахъ SW' и соотвѣтств. SW'' (см. ниже **5.**, стр. 404) по В. Риттеру:

$$\sigma_{max} \text{ и } \sigma_{min} = M_k' : W' \text{ и } M_k'' : W'',$$

гдѣ $M_k' = P.AK'$ и $M_k'' = P.AK''$ моменты силы P (въ A) относительно точекъ ядра K' и соотв. K'', а W' и W'' соотвѣтствующіе лучи площади W'.

Для **симметрическихъ** сѣченій имѣемъ:

$$\sigma_{max} = M_k' : W' \quad \text{и} \quad \sigma_{min} = M_k'' : W''$$

Опредѣленіе K' и K'', черт. 234. Откладываемъ $SF = F =$ величинѣ площади сѣченія, $S1 =$ числу 1, тогда $1K'$ параллельно FW' и $1K''$ параллельно FW'' (такъ же точно $OK' \parallel PW'$ и $OK'' \parallel PW''$, ибо $\sigma_s : 1 = P : F$). Масштабы для W', F и числа 1 должны удовлетворять условію $W' : F = r' :$ числу 1, если $SK' = r'$ принято для линейныхъ размѣровъ сѣченія.

НТБ ДНУЗТ

4. Соотношенія между точкой приложенія силы и нейтральною осью. Если точка приложенія силы перемѣщается по нѣкоторой прямой AA_1, то соотвѣтствующія нейтральныя оси вращаются около точки N, которая представляетъ точку приложенія силы для прямой AA_1 разсматриваемой какъ нейтральная ось, и наоборотъ. Точку приложенія силы и соотвѣтствующую нейтральную ось называютъ взаимно сопряженными.

5. Ядро сѣченія. Если точка приложенія перемѣщается по очертанію сѣченія, то соотвѣтственныя нейтральныя оси обертываютъ своими положеніями **ядро сѣченія**; каждому углу въ очертаніи площади F соотвѣтствуетъ прямая въ очертаніи ядра и наоборотъ. Построеніе ядра можетъ быть произведено по обоимъ, указаннымъ въ **1.**, способамъ или по опредѣленію одной точки, согласно нижеслѣдующаго, какъ и при построеніи площади W' (стр. 360 и 361).

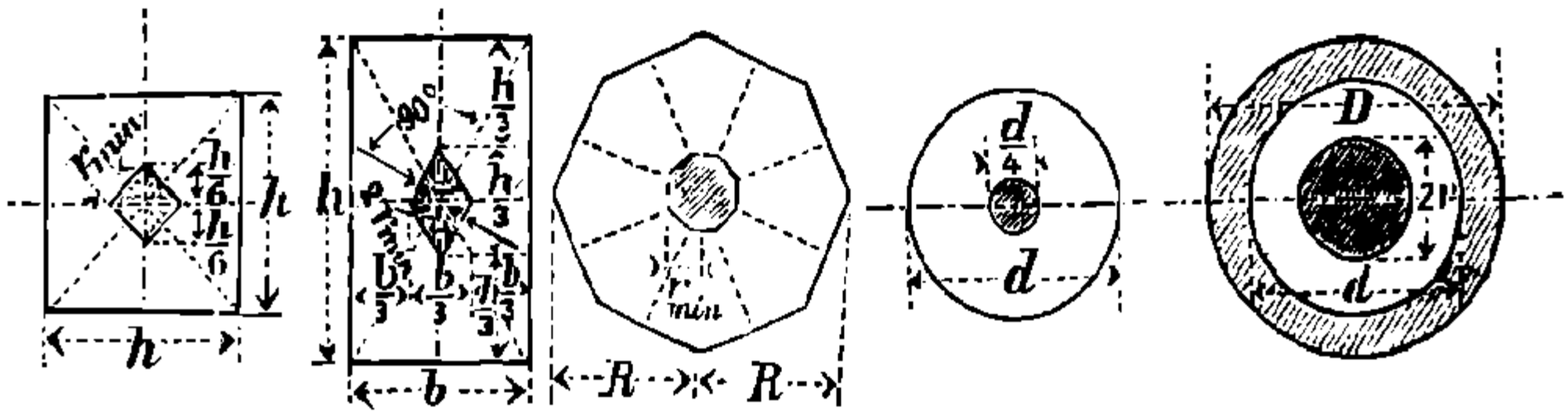
До тѣхъ поръ, пока **точка приложенія находится внутри ядра**, нейтральная ось находится внѣ сѣченія и въ послѣднемъ вызываются лишь напряженія одинакового знака.

Если **точка приложенія находится внѣ ядра**, то вызываемыя напряженія могутъ быть растягивающія и сжимающія.

Примѣчаніе. Въ виду того, что діаграмма для W' можетъ быть построена въ произвольно большомъ масштабѣ и большинство задачъ на сопротивленіе изгибу и сложное сопротивленіе растяженію (и сжатію) и изгибу при помощи этой діаграммы рѣшается легче и скорѣе, чѣмъ при помощи сравнительно небольшого ядра, то построенію діаграммъ для W' слѣдуетъ отдавать предпочтеніе передъ построеніемъ ядра.

6. Ядро и наименьшій радіусъ ядра r_{min} для нѣкоторыхъ сѣченій.

Черт. 235. Черт. 236. Черт. 237. Черт. 238. Черт. 239.



1. **Квадратъ** (черт. 235). $r_{min} = \frac{h}{6}\frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}1179\,h.$

Діагонали ядра $= {}^1/_3\,h.$

2. **Прямоугольникъ** (черт. 236). $r_{min} = \frac{b\,h}{6\sqrt{b^2+h^2}}.$

Діагонали ядра $= {}^1/_3\,h$ и ${}^1/_3\,b.$

3. **Восьмиугольникъ** (черт. 237). $r_{min} = 0{,}2256\,R.$

4. **Кругъ** (черт. 238). $r = \frac{d}{8} =$ постоян.

НТБ ДНУЗТ

5. **Полый квадратъ** (наружи. сторона $= H$, внутренняя сторона $= h$). Ядро представляетъ квадратъ, подобный изображенному на черт. 235.

$$r_{\min} = \frac{H}{6}\frac{1}{\sqrt{2}}\left[1+\left(\frac{h}{H}\right)^2\right] = 0{,}1179\,H\left[1+\left(\frac{h}{H}\right)^2\right].$$

6. **Полый восьмиугольникъ** [радіусы описанныхъ круговъ $= R_a$ и R_i, толщина стѣнокъ $= 0{,}9239\,(R_a - R_i)$].

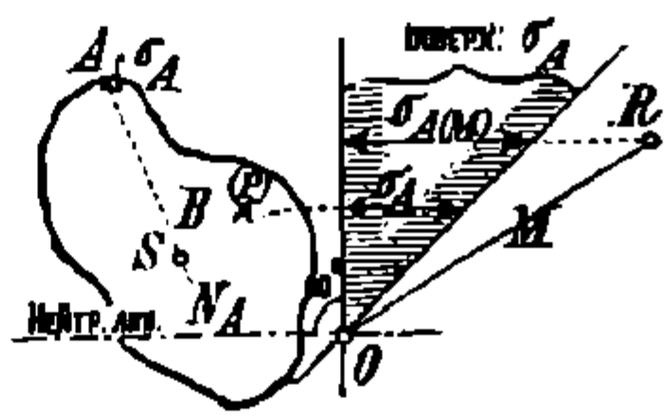
Ядро представляетъ восьмиугольникъ, подобный изображенному на черт. 237.

$$r_{\min} = 0{,}2256\,R_a\left[1+\left(\frac{R_i}{R_a}\right)^2\right].$$

7. **Круговое кольцо** (черт. 239). $r = \frac{D}{8}\left[1+\left(\frac{d}{D}\right)^2\right] =$ постоян.

7. **Взаимность напряженій** по Роб. Ланду *). Если A и B двѣ произвольныя точки сѣченія, то сила P, приложенная въ A, вызываетъ въ точкѣ B такое же напряженіе, какое вызывается въ точкѣ A силой P, приложенной въ B. (Отсюда слѣдуютъ соотношенія, приведенныя въ **4.**).

Черт. 240.



8. **Поверхность вліянія** *). Если для опредѣленнаго состоянія напряженій откладывать, какъ отрѣзки, напряженія σ въ ихъ точкахъ приложенія пормально къ площади сѣченія, то концы этихъ отрѣзковъ образуютъ поверхность, называемую **поверхностью напряженій**; послѣдняя можетъ быть представлена въ боковой проекціи (черт. 240).

Если, съ другой стороны, перемѣнныя величины σ_A для постоянной точки A, при перемѣщающемся грузѣ $P = 1$ t (1 тоннѣ), откладывать въ точкахъ его приложенія, то получимъ **поверхность вліянія** для σ_A, или короче: поверхность σ_A. Изъ **7.** слѣдуетъ поэтому:

Поверхность вліянія для σ_A равна поверхности напряженій для неподвижнаго груза $P = 1$ t, приложеннаго въ A.

Эта поверхность напряженій можетъ быть построена по черт. 233 (стр. 401), причемъ $M = 1$ t.SA.

Дѣйствіе момента M cmt $= (M$ cm$).(1$ t). Если (черт. 240) отъ нулевой точки O поверхности σ_A отложить величину OR, равную и параллельную M cm, то соотвѣтствующая R ордината дастъ напряженіе $\sigma_{A\,(M)}$, вызываемое моментомъ M. При дѣйствіи однихъ только моментовъ можно поверхность σ_A передвинуть параллельно самой себѣ, такъ что нулевая точка O совпадетъ съ S, причемъ поверхность напряженій приметъ положеніе, указанное на черт. 212, стр. 359.

Поверхность вліянія для **прямоугольника** длиной a и шири-

*) См. Zeitschr. f. Bauwesen 1892, стр. 564.

НТБ ДНУЗТ

ною $b = 1$ m можетъ служить для опредѣленія σ_A у краевъ сѣченія при разсчетѣ каменныхъ стѣнъ и сводовъ, черт. 241. Единица силы пусть будетъ 1 t. Прямая $A'\,K'\,B'$, ограничивающая поверхность σ_A, отнесенная къ $A_1\,B_1$, проходитъ черезъ соотвѣтствующую точкѣ A точку K' ядра ($K'A_1 = {}^2/_3\,a$) и отсѣкаетъ въ S ординату $\sigma_s = 1\text{ t} : a.1$, а въ точкѣ A на краю сѣченія — ординату $4\text{ t} : a.1$, которая опредѣляется въ масштабѣ напряженій σ.

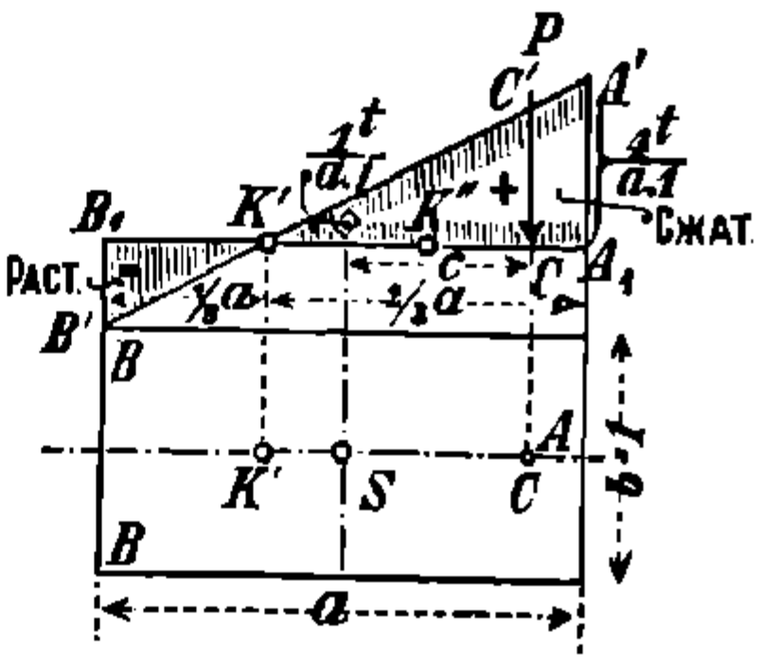
Если во всемъ сѣченіи должны быть только сжимающія усилія, то сила P должна быть приложена въ средней трети $K'\,K''$ длины сѣченія a.

Аналитически находимъ для напряженій въ краяхъ сѣченія (наибольшія напряженія въ ребрахъ):

$$\sigma_A = \frac{6\,M_k'}{a^2} \qquad \sigma_B = \frac{6\,M_k''}{a^2},$$

гдѣ M_k' и M_k'' моменты силы P относительно точекъ K' и K'' ядра.

Черт. 241.



Если сила P приложена въ C (на AS, черт. 241), то, полагая $SC = c$, имѣемъ также:

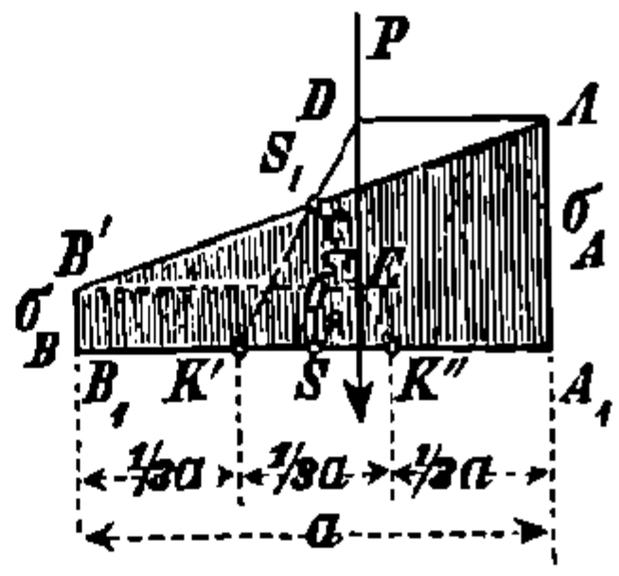
$$\left.\begin{matrix}\sigma_A\\ \sigma_B\end{matrix}\right\} = \sigma\,\frac{\max}{\min} = \frac{P}{a^2}\,(a \pm 6c).$$

Въ прямоугольномъ сѣченіи $a.b$ (при $b = 1$) имѣемъ:

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_s} = \left(\frac{a}{6} + c\right) \quad \frac{a}{6},$$

поэтому для опредѣленія напряженій въ ребрахъ имѣемъ слѣдующій простой графическій способъ (черт. 242).

Черт. 242.



Въ центрѣ тяжести S откладываемъ нормально къ $A_1\,B_1$ среднее напряженіе $\sigma_s = P : a = SS_1$, проводимъ $K'\,S_1$ до пересѣченія въ D съ направленіемъ дѣйствующей силы P, затѣмъ $D\,A'$ параллельно $B_1\,A_1$ и прямую $A'\,S_1\,B'$, тогда ординаты прямой $A'\,B'$ (заштрихованная площадь $A'\,S_1\,B'\,B_1\,A_1$) представляютъ напряженія въ сѣченіи, происходящія отъ дѣйствія силы P, а $A_1\,A'$ и $B_1\,B'$ — напряженія въ ребрахъ.

Также находимъ B', проведя черезъ точку E пересѣченія $S_1\,K''$ съ P параллель EB' къ $A_1\,B_1$. Способъ этотъ примѣняется также и въ случаѣ приложенія силы на средней линіи внѣ ядра $K'\,K''$.

НТБ ДНУЗТ

9. При длинныхъ брусьяхъ, которые отъ дѣйствія вертикальнаго груза P подвергаются замѣтному изгибу, будемъ имѣть:

Названіе.	**при внѣцентренномъ растяженіи.** (Черт. 243).	**при внѣцентренномъ сжатіи.** (Черт. 244).
Уравненіе упругой линіи.	$y = \frac{p}{\cosh \omega l} (\cosh \omega x - 1)$.	$y = \frac{p}{\cos \omega l} (1 - \cos \omega x)$.
Наибольшій выгибъ.	$f = p \left(1 - \frac{1}{\cosh \omega l}\right)$.	$f = p \left(\frac{1}{\cos \omega l} - 1\right)$.
Изгибающій моментъ.	$M_x = P p \frac{\cosh \omega x}{\cosh \omega l}$. Для $x = l$ имѣемъ: $M_{\max} = P p$.	$M_x = P p \frac{\cos \omega x}{\cos \omega l}$. Для $x = 0$ имѣемъ: $M_{\max} = \frac{P p}{\cos \omega l}$.
Наибольшія напряженія.	$\sigma \frac{\max}{\min} = \sigma_s \left(1 \pm \frac{p F}{W}\right)$.	$\sigma \frac{\max}{\min} = \sigma_s \left(1 \mp \frac{p F}{W \cos \omega l}\right)$.

Значеніе гиперболической функціи cosh см. стр. 67.

Величина ω имѣетъ значеніе:

$$\omega = \sqrt{\frac{P}{EJ}},$$

гдѣ E модуль упругости въ kg/qcm, J моментъ инерціи сѣченія F относительно прямой, перпендикулярной къ плоскости изгиба и проходящей черезъ центръ тяжести сѣченія въ cm⁴. W моментъ сопротивленія, соотвѣтствующій J

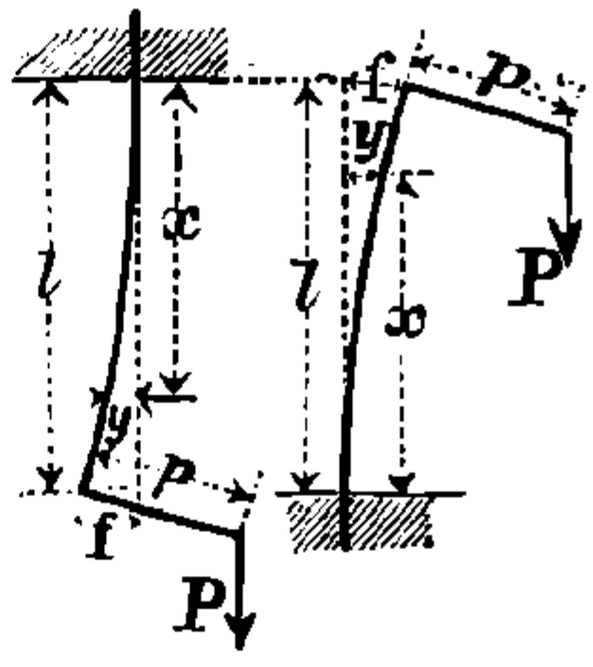
Приблизительныя величины получаются, если въ вышеприведенныя формулы подставить:

$$\cosh \omega l = 1 + \frac{P l^2}{2 EJ};$$

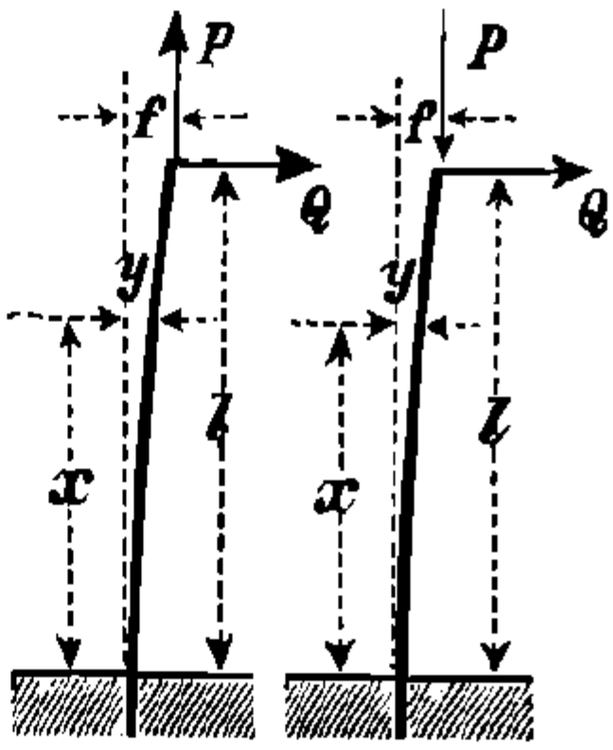
$$\text{и} \qquad \cos \omega l = 1 - \frac{P l^2}{2 EJ}.$$

10. Моментъ, изгибающій брусъ, вызывается не дѣйствіемъ эксцентрично приложенной по оси бруса силы P (какъ въ **9.**), а дѣйствіемъ силы Q, приложенной на концѣ, и притомъ нормально къ его оси; одновременно дѣйствуетъ другая сила P, центрально по оси бруса. Значеніе гиперболическихъ функцій см. стр. 67. Величина ω, по предыдущему, въ **9.**

Черт. 243. Черт. 244.



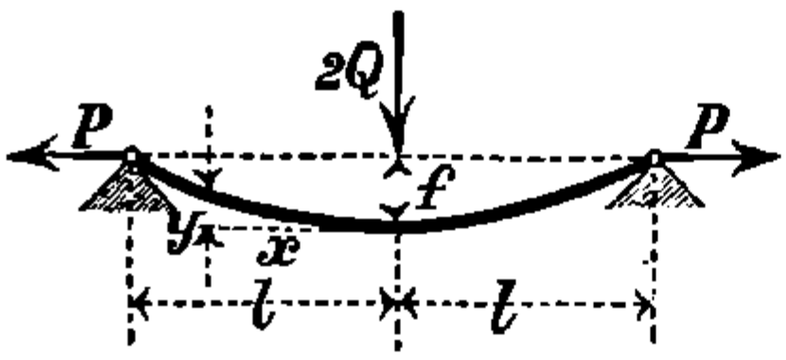
Черт. 245. Черт. 246.



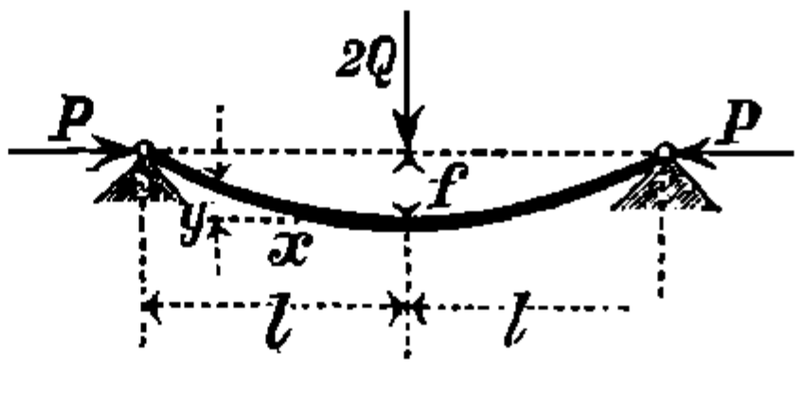
НТБ ДНУЗТ

Названіе.	**Растягивающая сила P:** (Черт. 245).	**Сжимающая сила P:** (Черт. 246).
Уравненіе упругой линіи.	$y = \frac{Q}{P}\left(x - \frac{1}{\omega}\frac{\sinh\omega l - \sinh\omega(l-x)}{\cosh\omega l}\right)$.	$y = \frac{Q}{P}\left(-x + \frac{1}{\omega}\frac{\sin\omega l - \sin\omega(l-x)}{\cos\omega l}\right)$.
Наибольшій выгибъ.	$f = \frac{Q}{P}\left(l - \frac{\operatorname{tgh}\,\omega l}{\omega}\right)$.	$f = \frac{Q}{P}\left(\frac{\operatorname{tg}\,\omega l}{\omega} - l\right)$.
Изгибающій моментъ.	$M_x = \frac{Q}{\omega}\frac{\sinh\omega(l-x)}{\cosh\omega l}$. Для $x = 0$ имѣемъ: $M_{\max} = \frac{Q}{\omega}\operatorname{tgh}\,\omega l$.	$M_x = \frac{Q}{\omega}\frac{\sin\omega(l-x)}{\cos\omega l}$. Для $x = 0$ имѣемъ: $M_{\max} = \frac{Q}{\omega}\operatorname{tg}\,\omega l$.
Наибольшія напряженія.	$\sigma\frac{\max}{\min} = \frac{P}{F} \pm \frac{M_{\max}}{W}$.	$\sigma\frac{\max}{\min} = -\frac{P}{F} \pm \frac{M_{\max}}{W}$.

Черт. 247.



Черт. 248.



11. Брусъ на двухъ шарнирныхъ опорахъ въ срединѣ подверженъ дѣйствію сосредоточеннаго груза $2\,Q$ и, кромѣ того, подверженъ дѣйствію осевой силы $\pm P$ (черт. 247 и 248). Для этого случая примѣняются формулы въ **10.**

12. Брусъ на двухъ шарнирныхъ опорахъ нагруженъ равномѣрно распредѣленнымъ на длинѣ $2\,l$ грузомъ $2\,Q$ и, кромѣ того, подверженъ дѣйствію осевой силы $\pm P$. Обозначенія, какъ на черт. 247 и 248.

Названіе.	**Растягивающая сила P:** (Черт. 247).	**Сжимающая сила P:** (Черт. 248).
Уравненіе упругой линіи.	$y = \frac{Q}{P}\left(\frac{x^2}{2l} - \frac{1}{l\,\omega^2}\frac{\cosh\omega x - 1}{\cosh\omega l}\right)$.	$y = \frac{Q}{P}\left(-\frac{x^2}{2l} + \frac{1}{l\,\omega^2}\frac{1-\cos\omega x}{\cos\omega l}\right)$.
Наибольшій выгибъ.	$f = \frac{Q}{P}\left[\frac{l}{2} - \frac{1}{l\,\omega^2}\left(1 - \frac{1}{\cosh\omega l}\right]\right)$.	$f = \frac{Q}{P}\left[-\frac{l}{2} + \frac{1}{l\,\omega^2}\left(\frac{1}{\cos\omega l} - 1\right)\right]$
Изгибающій моментъ.	$M_x = \frac{Q}{l\,\omega^2}\left(1 - \frac{\cosh\omega x}{\cosh\omega l}\right)$. Для $x = 0$ имѣемъ: $M_{\max} = \frac{Q}{l\,\omega^2}\left(1 - \frac{1}{\cosh\omega l}\right)$.	$M_x = \frac{Q}{l\,\omega^2}\left(\frac{\cos\omega x}{\cos\omega l} - 1\right)$. Для $x = 0$ имѣемъ: $M_{\max} = \frac{Q}{l\,\omega^2}\left(\frac{1}{\cos\omega l} - 1\right)$.
Наибольшія напряженія.	$\sigma\frac{\max}{\min} = \frac{P}{F} \pm \frac{M_{\max}}{W}$.	$\sigma\frac{\max}{\min} = -\frac{P}{F} \pm \frac{M_{\max}}{W}$.

НТБ ДНУЗТ

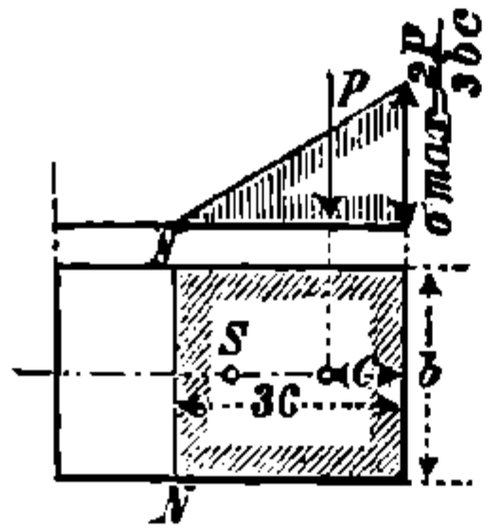
Примѣчаніе. Значеніе $M_{max} = \frac{Q}{l\,\omega^2}\left(1 - \frac{1}{\cosh \omega l}\right)$ длинныхъ брусьевъ весьма быстро приближается къ предѣльной величинѣ: $M_0 = \frac{Q}{l\,\omega^2}$, соотвѣтственно наибольшему напряженію отъ изгиба $\sigma_{max} = \frac{M_0}{W} = \frac{Q}{l}\,\frac{E}{P}\,\frac{J}{W} = q\,\frac{E}{P}\,e$, если q нагрузка на 1 пог. cm длины бруса и l разстояніе наиболѣе вытянутаго волокна до нейтральной оси.

Предѣльная величина σ_{max} представляетъ то изгибающее напряженіе, которому подвергся бы брусъ въ томъ предположеніи, если бы онъ, не обладая никакою жесткостью, могъ свободно прогнуться по параболической цѣпной линіи. Это предѣльное напряженіе не зависитъ отъ величины пролета $2\,l$*).

II. Строительный матеріалъ можетъ сопротивляться только сжатію (а не растяженію).

Это неблагопріятное условіе принимается въ разсчетъ для надежности при обыкновенной каменной кладкѣ въ тѣхъ случаяхъ, когда растворъ не передаетъ вытягивающихъ усилій, но возможны случаи раскрытія швовъ. При лучшей кирпичной (клинкеръ) кладкѣ на цементномъ растворѣ ($k = 14$ до 20 kg/qcm, стр. 343) возможно еще допустить напряженіе $k_z = 2{,}5$ kg/qcm. При обыкновенной каменной кладкѣ принимаютъ, если сжимающая сила приложена внѣ ядра сѣченія, что сжатая часть сѣченія (напряженная) отдѣляется отъ ненапряженной его части прямою нулевою линіей и что сжимающія напряженія увеличиваются въ отношеніи разстояній точекъ сѣченія отъ этой пулевой линіи.

Черт. 249.



Прямоугольникъ (черт. 249). Если P находится на главной оси въ разстояніи c отъ ближайшаго ребра, то давленіе распредѣляется на ширину $3\,c$ (нулевая линія или нейтральная ось $= NN$), и напряженіе въ ребрѣ равно: $\sigma_{max} = \frac{2\,P}{3\,b\,c}$.

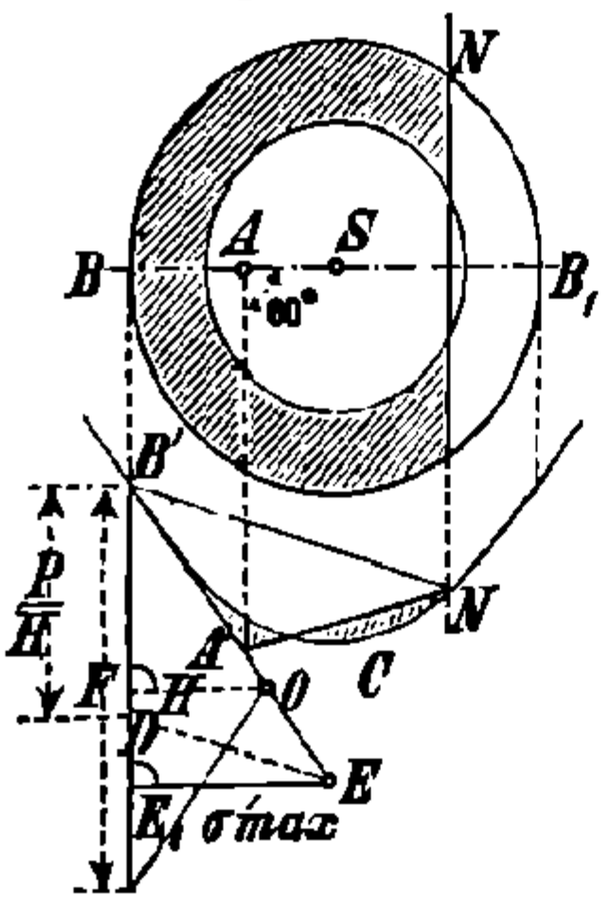
Симметрическое сѣченіе, имѣющее двѣ взаимно-перпендикулярныя оси симметріи, по Мору, черт. 250 (напр. сѣченіе дымовой трубы въ видѣ кругового кольца). Если точка приложенія силы P находится въ A на оси симметріи BSB_1, то чертимъ для площади F, какъ площади нагрузки, веревочный многоугольникъ для направленія дѣйствія силъ, нормальнаго къ BB_1, и для (произвольнаго) полюснаго разстоянія H Проводимъ AA' нормально къ BB_1 до пересѣченія въ A' съ касательною въ конечной точкѣ B', и проводимъ прямую $A'N$ такимъ образомъ, чтобы треугольникъ $B'NA'$

*) Болѣе подробно см. M. Tolle, Die steife Kettenlinie, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 855 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

былъ равновеликъ площади $B'NC$ (между веревочною линіею и $B'N$), или такъ, чтобы обѣ заштрихованныя площади были между собой равновелики. Тогда прямая, проведенная черезъ N нормально къ BB_1 и есть искомая нейтральная ось. Откладываемъ

Черт. 250.



$B'D = P$ $H =$ сила : площадь

(H измѣряется въ масштабѣ величинъ F для силового многоугольника), проводимъ $DE \parallel B'N$, тогда наибольшее (сжимающее) напряженіе, дѣйствующее въ грани у B, $\sigma_{max} = EE_1$ (нормально къ $B'D$); при этомъ EE_1 измѣряется какъ $P : H$.

Аналитическое опредѣленіе σ_{max} по среднему напряженію $\sigma = P:F$ (при помощи таблицы) см. отдѣлъ VII, дымовыя трубы паровыхъ котловъ.

b. Усилія отъ дѣйствія сдвигающихъ напряженій.

Сдвиженіе и крученіе.

Пусть сѣченіе бруса подвергается дѣйствію сдвигающей силы Q и крутящаго момента M_d. Въ любомъ элементѣ сѣченія сила Q вызываетъ сдвигающее напряженіе τ_s (опредѣляемое по стр. 351), а моментъ M_d — сдвигающее напряженіе τ_d (опредѣляемое по стр. 397 и слѣд.). Слагая τ_s и τ_d по правилу параллелограмма силъ, находимъ дѣйствительное напряженіе въ данномъ элементѣ сѣченія (и нормально къ нему) τ; ни въ какой точкѣ сѣченія не должно быть $\tau > k_d$.

c. Усилія отъ дѣйствія нормальныхъ и сдвигающихъ напряженій.

Если въ какомъ-либо элементѣ сѣченія бруса дѣйствуетъ нормальное напряженіе σ и сдвигающее напряженіе τ, то оба напряженія, по стр. 357, приводятся къ одному (идеальному) главному напряженію σ_1, а именно при $m = {}^{10}/_{3}$:

$$\sigma_1 = 0{,}35\,\sigma \pm 0{,}65 \sqrt{\sigma^2 + 4\,(\alpha_0\,\tau)^2};$$

необходимо слѣдить, чтобы ни въ какой точкѣ сѣченія не было

$$\sigma_1 > k_n.$$

Въ приведенной формулѣ означаютъ $\alpha_0 = k_n : 1{,}3\,k_s$, k_n (равное k_z, k или k_b) допускаемое нормальное напряженіе, а k_s (равное k_s или k_d) допускаемое сдвигающее напряженіе.

1. Растяженіе (или сжатіе) и сдвиженіе.

Внѣшнія силы даютъ для сѣченія F осевую силу P и сдвигающую силу Q.

НТБ ДНУЗТ

P вызываетъ вездѣ одинаковое нормальное напряженіе $\sigma = \pm P : F$, Q вызываетъ сдвигающія напряженія, изъ которыхъ наибольшее опредѣляется по формуламъ стр. 351 и 352 (τ_{max} большею частью имѣетъ мѣсто на оси, проходящей черезъ центръ тяжести). Наибольшее (идеальное) главное напряженіе въ сѣченіи будетъ:

$$\sigma^{max}_{min} = 0{,}35\,\sigma \pm 0{,}65\,\sqrt{\sigma^2 + 4\,\alpha_0{}^2\,\tau^2_{max}} \gtreqless k_z \text{ и соотв. } k,$$

если $\alpha_0 = k_z \quad 1{,}3\,k_s$ и соотв. $\alpha_0 = k : 1{,}3\ k_s$.

2. Изгибъ и сдвиженіе.

Пусть въ сѣченіи дѣйствуетъ изгибающій моментъ M, вызывающій нормальныя напряженія σ, и сдвигающее усиліе Q, дѣйствующее въ плоскости изгибающаго момента и вызывающее сдвигающія напряженія τ.

Необходимо пользоваться приведеннымъ въ с., стр. 410, главнымъ уравненіемъ, при условіи $\alpha_0 = k_b : 1.3\,k_s$, а для σ и τ необходимо принимать соотвѣтствующія значенія, для которыхъ (идеальныя) главныя напряженія σ_1 будутъ maximum.

Для **свободной балки** длиною l (стр. 374, случ. 1) необходимо принимать по К. Баху, если $\alpha_0 = 1$:

1) для кругового сѣченія діаметромъ d:

только напряженіе на изгибъ, если . $l \geqq 0{,}25\,d$,

только напряженіе на сдвиженіе, если . $l < 0{,}25\,d$;

2) для прямоугольнаго сѣченія высотою h (параллельно Q) вмѣсто $0{,}25\,d$ принимаютъ $0{,}325\,h$.

Прогибъ f бруса, нагруженнаго посрединѣ грузомъ P (случ. 2, стр. 374), съ принятіемъ въ разсчетъ сдвигающихъ напряженій

для кругового сѣченія:

$$f = \frac{P}{E}\,\frac{l}{\frac{1}{4}\pi d^2}\left[\frac{1}{3}\left(\frac{l}{d}^2\right) + 0{,}77\right]$$

для прямоугольнаго сѣченія:

$$= \frac{P}{E}\,\frac{l}{bh}\left[0{,}25\left(\frac{l}{h}\right)^2 + 0{,}78\right]. \quad *)$$

(Опредѣленіе E изъ опытовъ на изгибъ).

3. Растяженіе (или сжатіе) и крученіе.

Въ этомъ случаѣ примѣнимо сказанное въ 1., если вмѣсто сдвигающей силы Q подставить крутящій моментъ M_d, а вмѣсто k_s величину k_d.

4. Изгибъ и крученіе **).

Пусть данное сѣченіе подвержено дѣйствію изгибающаго момента M и крутящаго момента M_d; пусть плоскость дѣйствія момента M перпендикулярна къ данному сѣченію, а плоскость дѣйствія M_d

---

*) Для двутавроваго сѣченія см. Rob. Land, Einfluss der Schubkräfte и т. д. Zeitschr. f. Bauwesen 1894, стр. 611 и слѣд.

**) Для двутавроваго сѣченія см. E. Häseler, Centralbl. d. Bauverw. 1895, стр. 233 и 234.

НТБ ДНУЗТ

нормальна къ оси бруса. Моментъ M вызываетъ въ каждомъ элементѣ сѣченія нормальное напряженіе σ, моментъ M_d вызываетъ въ этомъ же элементѣ сдвигающее напряженіе τ; оба напряженія опредѣляются по предыдущему. Главное уравненіе, приведенное въ с. (стр. 410), примѣняется съ $\alpha_0 = k_b : 1{,}3\, k_d$, а для значеній σ и τ необходимо подставлять соотвѣтственныя значенія, для которыхъ (идеальное) главное напряженіе σ_i будетъ maximum.

1. **Круговое и кольцевое сѣченіе**. (Черт. 251 и 252).

Черт. 251. Черт. 252.

Точки для σ_{max} и τ_{max} здѣсь совпадаютъ. Если W моментъ сопротивленія, слѣд. (см. стр. 365):

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \text{ и соотв. } W = \frac{\pi}{32} D^3 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right],$$

то опредѣляемъ:

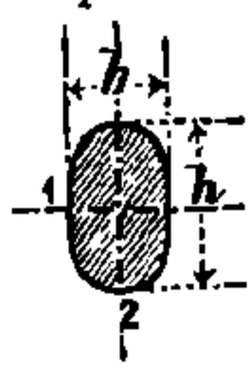
$$M_i = 0{,}35\, M + 0{,}65 \sqrt{M^2 + (\alpha_0 M_d)^2},$$

и отсюда

$$W = \frac{M_i}{k_b}.$$

2. **Эллиптическое сѣченіе** (черт. 253). Разлагаемъ изгибающій моментъ M на два: M_1 по оси 1 и M_2 по оси 2.

Черт. 253.



Точное опредѣленіе наибольшаго главнаго напряженія затруднительно *). Однако достаточно опредѣлить h и b изъ обоихъ уравненій:

$$\frac{\pi}{32} b h^2 k_b \geqq M_i' = 0{,}35\, M_1 + 0{,}65 \sqrt{M_1^2 + (\alpha_0 M_d)^2},$$

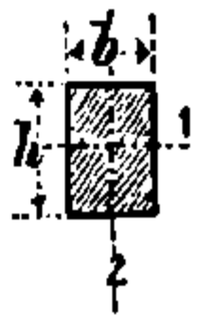
$$\frac{\pi}{32} b^2 h k_b \geqq M_i'' = 0{,}35\, M_2 + 0{,}65 \sqrt{M_2^2 + (\alpha_0 M_d)^2},$$

гдѣ $\alpha_0 = k_b : 1{,}3\, k_d$.

Наибольшее напряженіе имѣетъ мѣсто, говоря вообще, на одной изъ точекъ окружности эллипса между 1 и 2 *).

3. **Прямоугольное сѣченіе** (черт. 254). Принимая M_1 и M_2 по вышеприведенному (см. 2), найдемъ для этого случая:

Черт. 254.



$$^1/_6\, b h^2 k_b \geqq M_i' = 0{,}35\, M_1 + 0{,}65 \sqrt{M_1^2 + (^3/_2\, \alpha_0 M_d)^2},$$

$$^1/_6\, b^2 h k_b \geqq M_i'' = 0{,}35\, M_2 + 0{,}65 \sqrt{M_2^2 + (^3/_2\, \alpha_0 M_d)^2}.$$

Необходимо провѣрить, будетъ ли имѣть мѣсто условіе:

$$\frac{M_1}{^1/_6 b h^2} + \frac{M_2}{^1/_6 b^2 h} \leqq k_b \text{ (см. стр. 358).}$$

*) См. объ этомъ К. Бахъ „Elasticität und Festigkeit“, 3 изд., 1898.

НТБ ДНУЗТ

III. СОПРОТИВЛЕНІЕ РЕССОРЪ.

Пусть:

P допускаемая нагрузка рессоры въ kg,

f прогибъ, соотвѣтствующій нагрузкѣ P, т.-е. допускаемому напряженію k_b соотв. k_d, въ cm,

l длина рессоры въ cm,

n число листовъ и соотв. оборотовъ,

V объемъ рессоры въ ccm,

k_b допускаемое напряженіе на изгибъ въ kg/qcm,

k_d допускаемое напряженіе на скручиваніе въ kg/qcm,

E и G см. стр. 331 и 333.

Остальныя обозначенія (въ cm) даны на чертежахъ.

Механическая работа въ cmkg, которая принимается рессорой при прогибѣ ея отъ 0 на величину f, равна:

$$A = \frac{Pf}{2} = \frac{1}{c}\,\frac{k_b^2}{E}\,V$$

Здѣсь E принято постояннымъ и предположено, что сила P, соотвѣтственно прогибу рессоры, увеличивается постепенно отъ нуля до P; c постоянная, зависящая только отъ формы рессоры. Величина эта даетъ отношеніе объемовъ (расхода матеріала) различныхъ рессоръ одинаковаго матеріала, которыя при одинаковой механической работѣ подвергаются одному и тому же напряженію. Рессоры одинаковой формы и изъ одного и того же матеріала имѣютъ, при одинаковомъ допускаемомъ напряженіи и одинаковой механической работѣ, одинъ и тотъ же вѣсъ.

Время колебанія T (въ сек.) **рессоры** (предположенной невѣсомой) соотвѣтствуетъ времени колебанія простого кругового маятника (стр. 204), длина котораго равна прогибу f (въ m), вызываемому нагрузкой P:

$$T = \pi\sqrt{\frac{f}{g}}.$$

a. Рессоры на изгибъ.

1. Плоскія рессоры на изгибъ.

[См. стр. 374 и 375—1; таблицы для $^1/_6\,bh^2$, и $^1/_{12}\,bh^3$ см. стр. 370 и слѣд.].

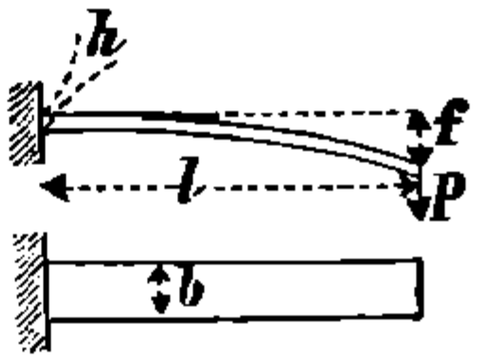
1. **Прямоугольная рессора** (черт. 255).

$$P = \frac{1}{6}\,\frac{b\,h^2}{l}\,k_b; \qquad J = \frac{b\,h^3}{12};$$

$$f = \frac{1}{3}\,\frac{P\,l^3}{E\,J} = 4\,\frac{l^3}{b\,h^3}\,\frac{P}{E} = \frac{2}{3}\,\frac{l^2}{h}\,\frac{k_b}{E};$$

$$A = \frac{Pf}{2} = \frac{1}{18}\,\frac{k_b^2}{E}\,V.$$

Черт. 255.



НТБ ДНУЗТ

2. Треугольная рессора (черт. 256).

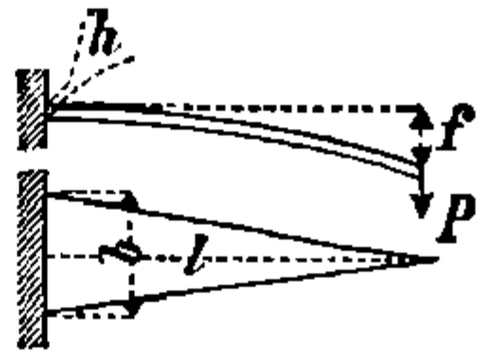
Балка равнаго сопротивленія изгибу (см. стр. 355 и 391), ибо $M : W$ постоянно. Упругая линія представляетъ дугу круга (стр. 362).

$$P = \frac{1}{6}\frac{b\,h^2}{l}k_b; \qquad J = \frac{b\,h^3}{12};$$

$$f = \frac{1}{2}\frac{P\,l^3}{E\,J} = 6\,\frac{l^3}{b\,h^3}\,\frac{P}{E} = \frac{l^2}{h}\,\frac{k_b}{E};$$

$$A = \frac{P\,f}{2} = \frac{1}{6}\,\frac{k_b^2}{E}\,V.$$

Черт. 256.



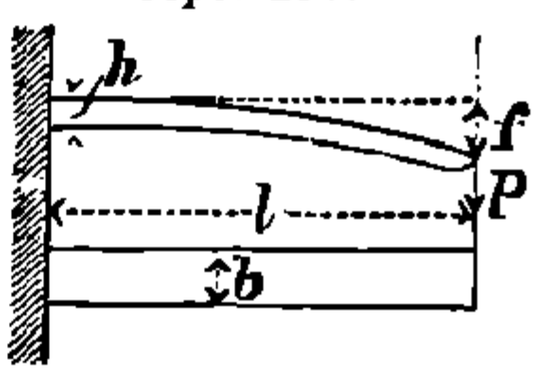
3. Прямоугольная рессора, заостренная по профили кубической параболы (черт. 257). Упругая линія представляетъ дугу круга.

$$P = \frac{1}{6}\frac{b\,h^2}{l}k_b; \qquad J = \frac{b\,h^3}{12};$$

$$f = \frac{1}{2}\frac{P\,l^3}{E\,J} = 6\,\frac{l^3}{b\,h^3}\,\frac{P}{E} = \frac{l^2}{h}\,\frac{k_b}{E};$$

$$A = \frac{P\,f}{2} = \frac{1}{9}\,\frac{k_b^2}{E}\,V.$$

Черт. 257.



2. Составныя рессоры, работающія на изгибъ.

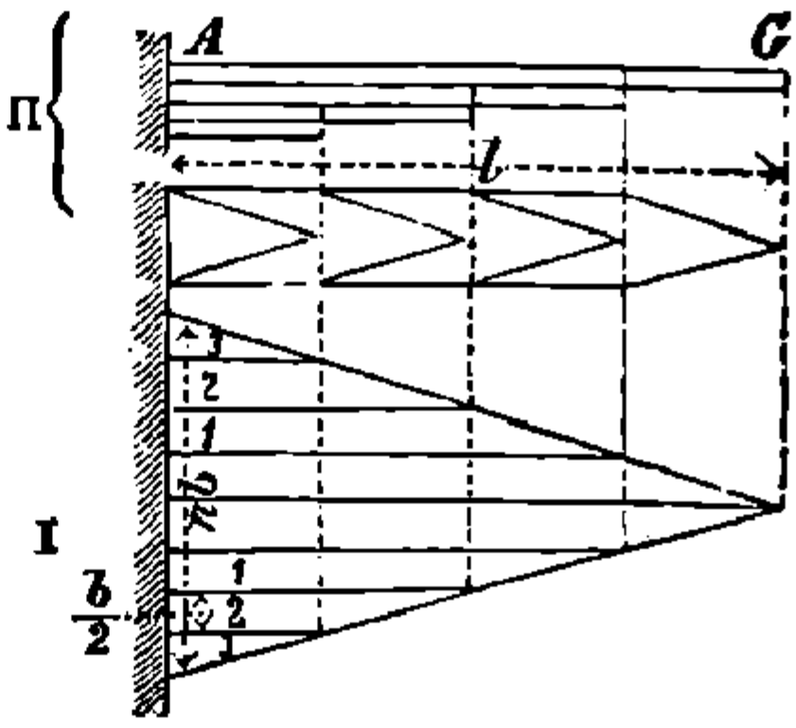
Если нѣсколько рессорныхъ листовъ, приведенныхъ въ **1.**, положить одинъ на другой, то получимъ листовую рессору. Главныя условія, которымъ должна удовлетворять хорошая листовая рессора, слѣдующія:

1) рессора должна представлять по возможности тѣло равнаго сопротивленія изгибу,

2) при изгибѣ рессоры отдѣльные листы не должны отставать другъ отъ друга; упругая линія должна быть дугой круга.

Изъ приводимыхъ ниже типовъ рессоръ, какъ видно изъ **1.**, условіямъ 1 и 2 удовлетворяетъ только первая; остальныя рессоры вполнѣ удовлетворяютъ только условію 2.

Черт. 258.



1. Листовая рессора треугольной формы.

Если вообразить себѣ треугольную рессору (черт. 258 I) раздѣленною на четное число $2n$ полосъ одинаковой ширины (здѣсь восемь полосъ шириною $^1/_2\,b$), и полосы эти сложить, какъ показано на черт. 258 II, то получимъ листовую рессору, которая обладаетъ такимъ же сопротивленіемъ, какъ и треугольная листовая рессора съ основаніемъ $n\,b$, гдѣ n число листовъ.

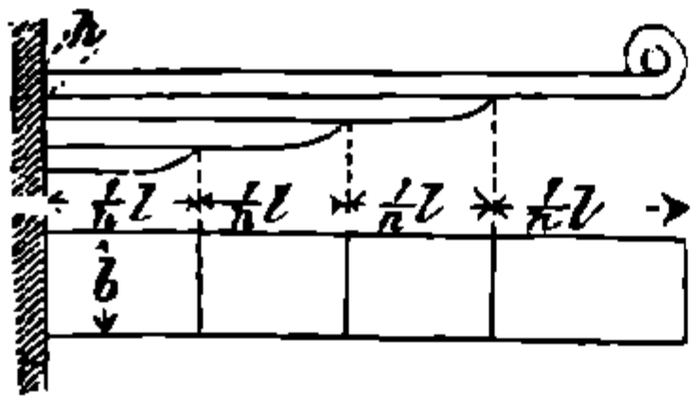
НТБ ДНУЗТ

Тогда имѣемъ:

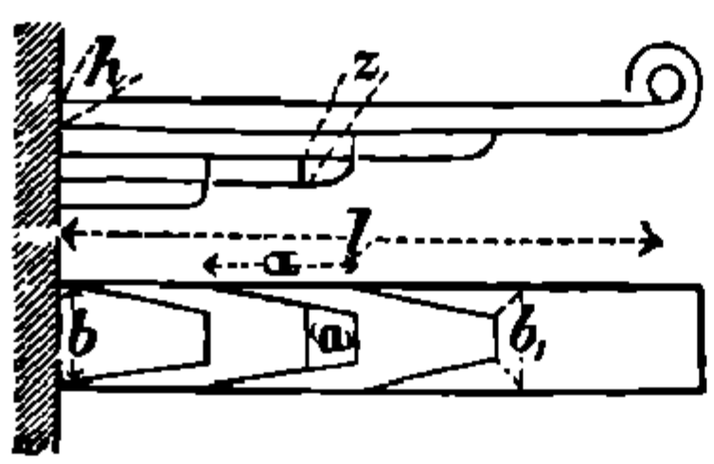
$$P = n\,\frac{b\,h^2}{6}\,\frac{k_b}{l};\ \text{и слѣд.}\ n = \frac{P\,l}{{}^1\!/_6\,b\,h^2\,k_b}.$$

2. Листовая рессора, заостренная по профили кубической параболы. Вмѣсто того, чтобы придать концамъ рессоръ треугольную форму, ихъ заостряютъ по профили кубической параболы (см. стр. 393), отчего получаются листы, имѣющіе одинаковую ширину по всей длинѣ (черт. 259).

Черт. 259.



Черт. 260.



3. **Трапецоидальная форма съ заостреніемъ.** Концамъ рессорныхъ листовъ придается форма трапеціи (въ планѣ).

Въ этомъ случаѣ конецъ рессоры долженъ быть заостренъ по профили, опредѣляемой формулой:

$$z = \frac{h}{\sqrt[3]{1 + \frac{b_1}{b}\left(\frac{\alpha}{a} - 1\right)}}.$$

Значеніе буквъ см. на черт. 260.

4. Обыкновенно соединяютъ въ хомутѣ двѣ рессоры вышеприведенной конструкціи, и этой общей рессорѣ придаютъ нѣкоторый фабричный выгибъ **листовъ по дугѣ круга** стрѣлой p_0 въ cm.

Отъ дѣйствія спокойнаго груза $2P$ (въ kg), приложеннаго къ хомуту, стрѣла p_0 уменьшается до p (въ cm), такъ что прогибъ рессоры: $f = p_0 - p$.

Въ **рессорахъ желѣзнодорожныхъ вагоновъ** (черт. 261) сила $P : \cos\alpha$ въ рессорномъ валикѣ разлагается на вертикальную P и горизонтальную $P\,\mathrm{tg}\,\alpha$, которыя вмѣстѣ вызываютъ изгибающій моментъ $M = P\,(l + p\,\mathrm{tg}\,\alpha)$. Въ виду того, что формулы, приведенныя въ 1, примѣняются также и къ выгнутымъ рессорамъ (при обозначеніяхъ на стр. 413), имѣемъ:

$$\text{грузъ}\ 2P = 2n\,\frac{b\,h^2}{6}\,\frac{k_b}{l + p\,\mathrm{tg}\,\alpha},$$

$$\text{прогибъ}\ f = 6\,\frac{l^2}{n\,b\,h^3}\,\frac{P\,(l + p\,\mathrm{tg}\,\alpha)}{E} = \frac{l^2}{h}\,\frac{k_b}{E}.$$

Вмѣсто p можно приблизительно подставить p_0 (точно $p = p_0 - f$).

Подробности о допускаемомъ напряженіи на изгибъ k_b для желѣзнодорожныхъ рессоръ изъ рессорной стали см. стр. 340.

Верхній рессорный листъ долженъ выдерживать, кромѣ напряженія k_b на изгибъ, еще вытягивающее усиліе $P\,\mathrm{tg}\,\alpha$, равно и перерѣзывающее усиліе P, которыя вызываютъ тамъ дополнительное нормальное напряженіе $\sigma = P\,\mathrm{tg}\,\alpha : b\,h$ и соотв. сдвигающее напряженіе τ, опредѣляемое по стр. 351.

При опредѣленіи числа n листовъ рессоры (по опредѣленному размѣру листа) необходимо принимать въ разсчетъ увеличеніе нагрузки на рессору, происходящее отъ колебаній при качаніяхъ рессоръ. Рекомендуется въ приведенной формулѣ для

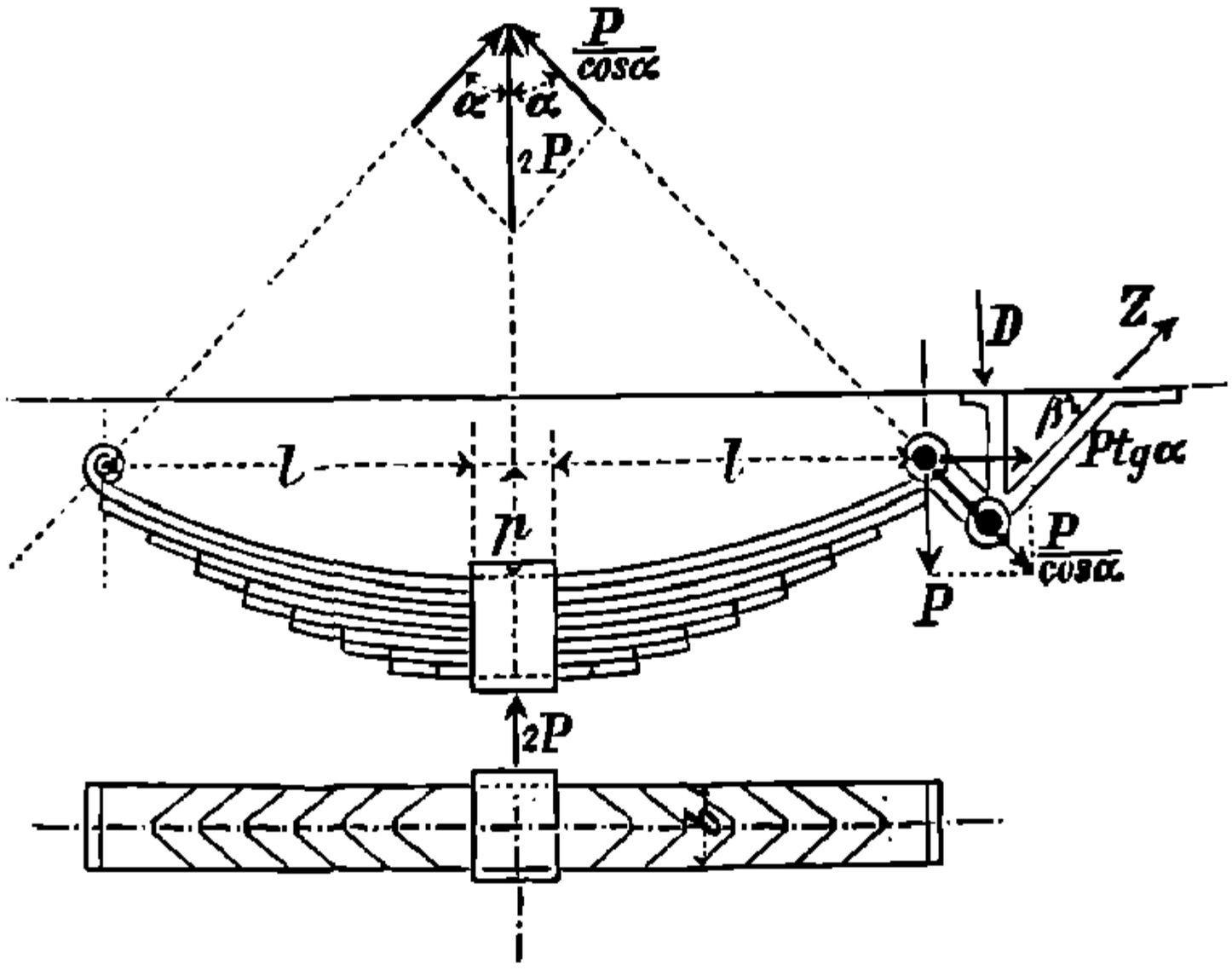
НТБ ДНУЗТ

груза $2P$ (спокойная натрузка) принимать k_b меньше, а именно въ предѣлахъ 5800 до 6500 kg/qcm.

Рессорная державка. Сжатіе въ вертикальной части:

$$D = P(1 + \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\beta).$$

Черт. 261.



Растяженіе въ наклонной части:

$$z = \frac{P \operatorname{tg}\alpha}{\cos\beta}.$$

3. Витыя рессоры, работающія на изгибъ.

(Табл. для $\frac{1}{6} bh^2$ и $\frac{1}{12} bh^3$ см. стр. 370 и слѣд., для $\frac{1}{32}\pi d^3$ и $\frac{1}{64}\pi d^4$ см. стр. 367)

l—выпрямленная длина рессоры.

1. **Витая рессора (спиральная) прямоугольнаго сѣченія** (черт. 262).

Черт. 262.

$$P = \frac{b h^2}{6}\frac{k_b}{r}; \qquad J = \frac{b h^3}{12};$$

$$f = r\omega = \frac{P l r^2}{E J} = 12\frac{P l r^2}{E b h^3} = 2\frac{r l}{h}\frac{k_b}{E};$$

$$A = \frac{P f}{2} = \frac{1}{6}\frac{k_b^2}{E} V.$$

2. **Витая рессора прямоугольнаго сѣченія** (черт. 263).

Черт. 263.

$$P = \frac{b h^2}{6}\frac{k_b}{r}; \qquad J = \frac{b h^3}{12};$$

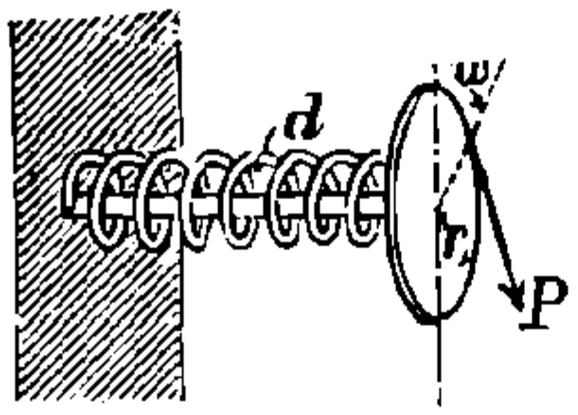
$$f = r\omega = \frac{P l r^2}{E J} = 12\frac{P l r^2}{E b h^3} = 2\frac{r l}{h}\frac{k_b}{E};$$

$$A = \frac{P f}{2} = \frac{1}{6}\frac{k_b^2}{E} V$$

НТБ ДНУЗТ

3. Витая рессора круглаго сѣченія (черт. 264).

Черт. 264.



$$P = \frac{\pi d^3}{32}\frac{k_b}{r}; \qquad J = \frac{\pi d^4}{64};$$

$$f = r\,\omega = \frac{P\,l\,r^2}{E\,J} = \frac{64}{\pi}\frac{P\,l\,r^2}{E\,d^4} = 2\,\frac{r\,l}{d}\,\frac{k_b}{E};$$

$$A = \frac{P\,f}{2} = \frac{1}{8}\,\frac{k_b^2}{E}\,V.$$

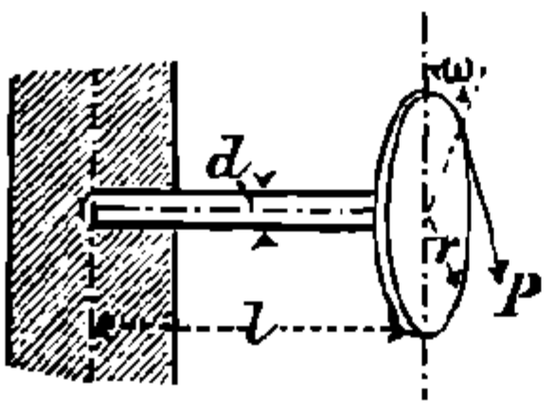
b. Рессоры, работающія на скручиваніе. (По К. Баху).

Обозначенія см. стр. 413.

1. Прямыя рессоры, работающія на скручиваніе.

1. Обыкновенная скручивающаяся рессора круглаго сѣченія (черт. 265).

Черт. 265.



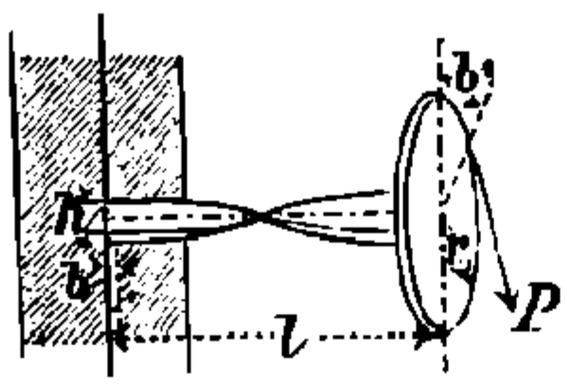
$$P = \frac{\pi}{16}\,\frac{d^3}{r}\,k_d = 0{,}1963\,\frac{d^3}{r}\,k_d;$$

$$f = r\,\omega = \frac{32 r^2\,l}{\pi\,d^4}\,\frac{P}{G} = 2\,\frac{r\,l}{d}\,\frac{k_d}{G};$$

$$A = \frac{P\,f}{2} = \frac{1}{4}\,\frac{k_d^2}{G}\,V$$

2. Обыкновенная скручивающаяся рессора прямоугольнаго сѣченія (черт. 266). Отношеніе $b : h = \xi$.

Черт. 266.



$$P = \frac{2}{9}\,\frac{b^2 h}{r}\,k_d;$$

$$f = r\,\omega = 3{,}6\,r^2\,l\,\frac{b^2+h^2}{b^3 h^3}\,\frac{P}{G}$$

$$= 0{,}8\,r\,l\,\frac{b^2+h^2}{b\,h^2}\,\frac{k_d}{G};$$

$$A = \frac{P\,f}{2} = \frac{4}{45}\,(\xi^2+1)\,\frac{k_d^2}{G}\,V$$

Для квадратнаго сѣченія ($\xi = 1$) A имѣетъ наибольшее значеніе.

2. Витыя рессоры, работающія на скручиваніе *).

На чертежахъ 267—270 величина r означаетъ средній радіусъ, т.-е. до средины сѣченія рессорной стали.

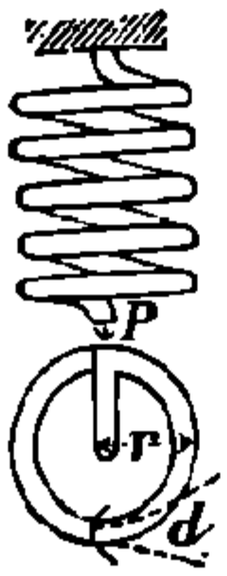
---

*) О грузѣ и прогибѣ этой рессоры имѣется подробная таблица въ Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 1398, гдѣ принято $k_d = 4500$ kg/qcm (для хорошей каленой стали, при незначительно мѣняющейся нагрузкѣ) и $G = 750\,000$ kg/qcm.

НТБ ДНУЗТ

1. **Цилиндрическая винтовая рессора круглаго сѣченія** (черт. 267).

Черт. 267.



n — число витковъ.

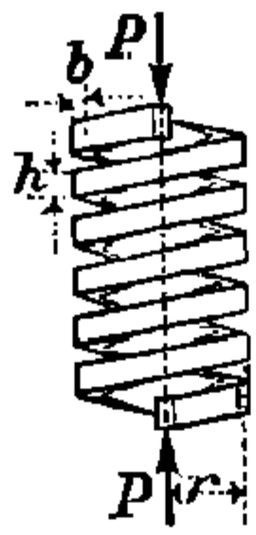
$$P = \frac{\pi}{16}\frac{d^3}{r}k_d = 0{,}1963\,\frac{d^3}{r}k_d;$$

$$f = \frac{64\,n\,r^3}{d^4}\frac{P}{G} = \frac{4\,\pi\,n\,r^2}{d}\frac{k_d}{G};$$

$$A = \frac{P\,f}{2} = \frac{1}{4}\frac{k_d^2}{G}V.$$

2. **Цилиндрическая винтовая рессора прямоугольнаго сѣченія** (черт. 268). $\xi = b : h$.

Черт. 268.



$$P = \frac{2}{9}\frac{b^2\,h}{r}k_d;$$

$$f = 7{,}2\,\pi n\,r^3\,\frac{b^2+h^2}{b^3h^3}\,\frac{P}{G}$$

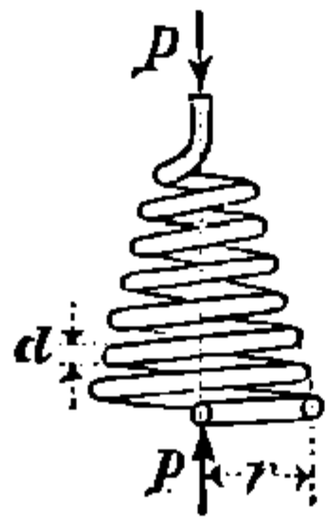
$$= 1{,}6\,\pi\,n\,r^2\,\frac{b^2+h^2}{b\,h^3}\,\frac{k_d}{G};$$

$$A = \frac{P\,f}{2} = \frac{4}{45}\,(\xi^2+1)\,\frac{k_d^2}{G}\,V.$$

Для квадратнаго сѣченія ($\xi = 1$) величина A имѣетъ наибольшее значеніе.

3. **Коническая рессора круглаго сѣченія** (черт. 269). l выпрямленная длина рессоры, d діаметръ сѣченія рессоры, r уменьшается непрерывно до нуля.

Черт. 269.



$$P = \frac{\pi}{16}\frac{d^3}{r}\,k_d = 0{,}1963\,\frac{d^3}{r}\,k_d;$$

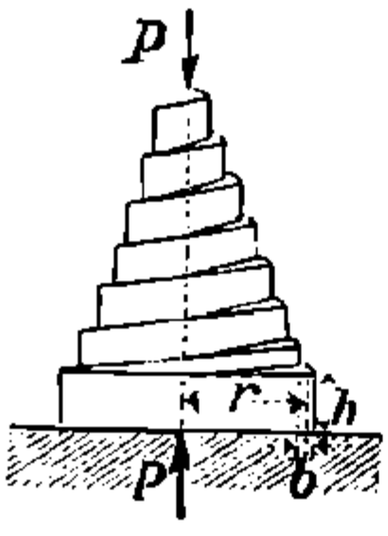
$$f = \frac{16}{\pi}\frac{r^2\,l}{d^4}\frac{P}{G} = \frac{r\,l}{d}\frac{k_d}{G}$$

$$= 16\,n\,\frac{r^3}{d^4}\frac{P}{G} = \pi\,n\,\frac{r^2}{d}\frac{k_d}{G};$$

$$A = \frac{P\,f}{2} = \frac{1}{8}\frac{k_d^2}{G}\,V$$

4. **Коническая рессора прямоугольнаго сѣченія** (черт. 270). $\xi = b : h$.

Черт. 270.



$$P = \frac{2}{9}\frac{b^2\,h}{r}k_d;$$

$$f = 1{,}8\,\frac{r^2\,l\,(b^2+h^2)}{b^3h^3}\,\frac{P}{G}$$

$$= 0{,}4\,\frac{r\,l\,(b^2+h^2)}{b\,h^2}\,\frac{k_d}{G}$$

$$= 1{,}8\,\pi\,n r^3\,\frac{b^2+h^2}{b^3\,h^3}\,\frac{P}{G}$$

$$= 0{,}4\,\pi\,n r^2\,\frac{b^2+h^2}{b\,h^2}\,\frac{k_d}{G};$$

НТБ ДНУЗТ

$$A = \frac{P f}{2} = \frac{2}{45}(\xi^2 + 1)\frac{k_d^2}{G} V$$

Для квадратнаго сѣченія ($\xi = 1$) величина A — наибольшая.

Примѣчаніе къ 3. и 4. **Для рессоръ** въ видѣ **усѣченнаго конуса**, имѣющихъ радіусы основаній r и r_0, причемъ $r > r_0$, величина P опредѣляется по тѣмъ же формуламъ. При опредѣленіи величины прогиба f необходимо (въ первомъ и четвертомъ выраженіи f) вмѣсто r^2 подставлять $r^2 + r^2_0$ и вмѣсто l подставлять $\pi n (r + r_0)$.

IV. СОПРОТИВЛЕНІЕ СТѢНОКЪ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХЪ СОСУДОВЪ И ПЛОСКИХЪ ДИСКООБРАЗНЫХЪ ТѢЛЪ.

(При пользованіи приводимыми ниже данными необходимо руководствоваться помѣщеннымъ въ концѣ главы, на стр. 423, **примѣчаніемъ**).

a. Плоскія плиты.

Пусть означаютъ:

s толщину плиты въ cm, f прогибъ ея посрединѣ въ cm,

σ_{max} наибольшее нормальное напряженіе въ плитѣ въ kg/qcm,

k_b допускаемое напряженіе матеріала на изгибъ въ kg/qcm,

E модуль упругости въ kg/qcm,

φ и ψ коэффиціенты, которые вычислены Ф. Грасгофомъ *) теоретическимъ путемъ для слѣдующихъ случаевъ:

a) доска на своей окружности лежитъ свободно и прилегаетъ не плотно;

b) доска по окружности своей задѣлана прочно въ стѣну.

По опытамъ К. Баха **), величина этихъ коэффиціентовъ, кромѣ способа укрѣпленія диска на окружности, зависитъ еще отъ величины той силы, съ которою дискъ прижимается съ цѣлью достичь плотности соединенія (напр. цилиндр. крышка и т. п.), отъ способа уплотненія, отъ строенія поверхности диска въ мѣстѣ уплотненія и т. п.

1. Круглый дискъ, подверженный равномѣрному давленію жидкости p kg/qcm (черт. 271 и 272).

---

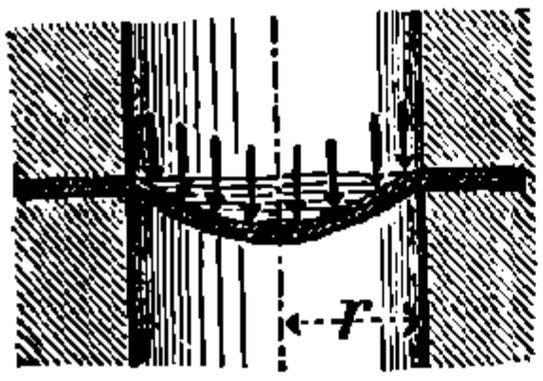
*) Грасгофъ, Theorie der Elasticität und Festigkeit. Berlin 1878.

**) Бахъ, Elastieität und Festigkeit, 3 изд., 1898. Того же автора, Versuche übor die Widerstandsfahigkeit ebener Platten, Berlin 1891 (также Zeitschr. d. V. d. Ing. 1890, стр. 1041 и слѣд.).

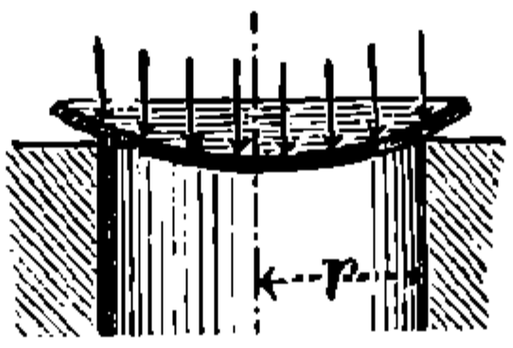
См. также Ph. Forchheimer, Die Berechnung ebener und gekrümmter Behälterböden, Zeitschr. für Bauwesen 1894, стр. 450 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 271.



Черт. 272.



$$\sigma_{max} = \varphi \frac{r^2}{s^2} p \leqq k_b;$$

$$f = \psi \frac{r^4}{s^3} \frac{p}{E}.$$

По Баху имѣемъ:

$\varphi = 0{,}8$ до 1.2;
$\psi = 0{,}17$ „ $0{,}60$.

При опытахъ Баха, равномѣрная нагрузка диска достига лась давленіемъ жидкости, причемъ требовалось уплотненіе. Въ зависимости отъ способа укрѣпленія на окружности диска и т. д., Бахомъ даны два значенія, въ предѣлахъ которыхъ колеблется величина коэффиціентовъ φ и ψ, въ зависимости отъ того, **закрѣпленъ ли дискъ** (черт. 271) на окружности или **лежитъ свободно** (черт. 272).

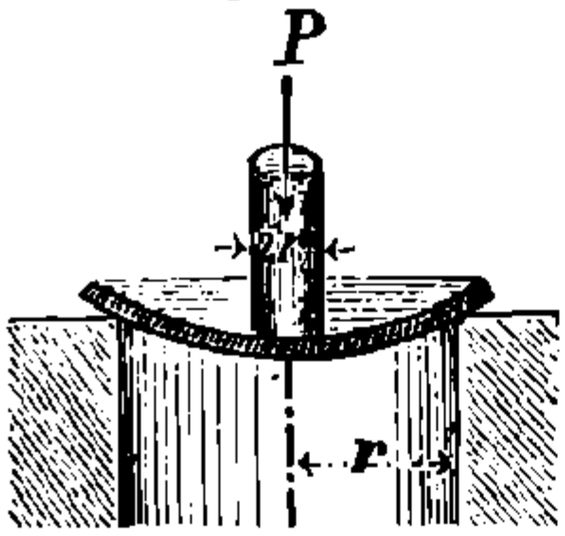
По Грасгофу: для случая черт. 271: $\varphi = 0{,}68$; $\psi = 0{,}17$;
для случая черт. 272: $\varphi = 0{,}87$; $\psi = 0{,}70$.

2. Круглый дискъ, свободно лежащій своими краями и въ срединѣ нагруженный грузомъ P (черт. 273). Сила P равномѣрно распредѣлена на площади круга πr_0^2. По Баху:

$$\sigma_{max} = \frac{3}{\pi} \varphi \left(1 - \frac{2}{3} \frac{r_0}{r}\right) \frac{P}{s^2} \leqq k_b;$$

$$f = \psi \frac{r^2}{s^3} \frac{P}{E}.$$

Черт. 273.



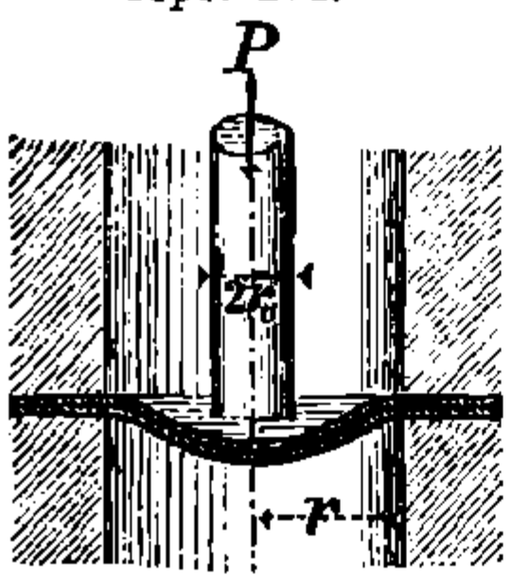
При этомъ, $\varphi = 1{,}5$; $\psi = 0{,}4$ до $0{,}5$.

По Грасгофу:

$$\sigma_{max} = \frac{1}{\pi} (1{,}365 \ln \frac{r}{r_0} + 1{,}05) \frac{P}{s^2} \leqq k_b;$$

$$f = \frac{1{,}73}{\pi} \frac{r^2}{s^3} \frac{P}{E}.$$

Черт. 274.



3. Круглый дискъ, прочно задѣланный краями въ стѣну, нагруженный какъ во 2. (черт. 274):

По Грасгофу:

$$\sigma_{max} = \frac{1{,}365}{\pi} \ln \frac{r}{r_0} \frac{P}{s^2} \leqq k_b.$$

$$f = \frac{0{,}6825}{\pi} \frac{r^2}{s^3} \frac{P}{E} = 0{,}22 \frac{r^2}{s^3} \frac{P}{E}.$$

4. Эллиптическій дискъ, лежащій свободно краями и подверженный равномѣрному давленію жидкости p kg/qcm (какъ на черт. 271 и 272).

Большая ось $= 2a$, малая ось $= 2b$; отношеніе $b \quad a = \xi$. По Баху имѣемъ:

$$\sigma_{max} = \varphi \frac{b^2}{s^2} \frac{2p}{1 + \xi^2} \leqq k_b, \quad \text{гдѣ}$$

$\varphi = 0{,}667$ до $1{,}125$ (см. **1.**).

НТБ ДНУЗТ

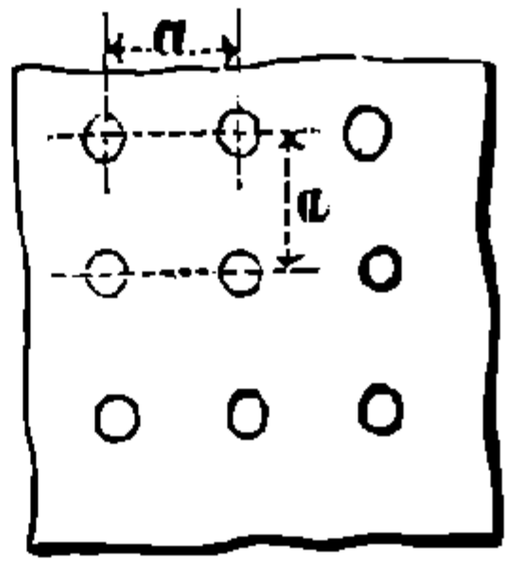
5. Эллиптическій дискъ, лежащій свободно краями и нагруженный въ срединѣ силою P kg. Обозначенія какъ въ **4.**

По Баху:

$$\sigma_{max} = \frac{8}{5\pi}\,\varphi\,\frac{8+4\xi^2+3\xi^4}{3+2\xi^2+3\xi^4}\,\xi\,\frac{P}{s^2} \leqq k_b, \text{ гдѣ}$$

$$\varphi = 1{,}50 \text{ до } 1{,}67.$$

Черт. 275.



6. Доска (произвольной величины) поддерживается въ точкахъ, которыя дѣлятъ ее на отдѣльные квадраты стороной a, **и подвержена давленію** p kg/qcm.

Имѣемъ по Грасгофу для каждаго квадрата (черт. 275).

$$\sigma_{max} = 0{,}2275\,\frac{a^2}{s^2}\,p \leqq k_b;\quad f = 0{,}0284\,\frac{a^4}{s^3}\,\frac{p}{E}.$$

7. Прямоугольная доска, длиною сторонъ a и b, **опирается своими сторонами на опоры и нагружена давленіемъ жидкости** p kg/qcm.

По Баху:

$$\sigma_{max} = 0{,}5\,\varphi\,\frac{a^2 b^2}{a^2+b^2}\,\frac{p}{s^2} \leqq k_b;$$

для $b = a$ (квадратная доска):

$$\sigma_{max} = 0{,}25\,\varphi\,\frac{a^2}{s^2}\,p \leqq k_b.$$

$$\varphi = 0{,}75 \text{ до } 1{,}125 \text{ (см. 1.)}.$$

8. Прямоугольная доска, длиною сторонъ a и b, **лежитъ свободно и нагружена силою** P **только въ срединѣ.**

По Баху:

$$\sigma_{max} = 1{,}5\,\varphi\,\frac{a\,b}{a^2+b^2}\,\frac{P}{s^2} \leqq k_b;$$

$$\varphi = 1{,}75 \text{ до } 2{,}00.$$

b. Плоское цилиндрическое днище съ отогнутыми краями (бортами). (По Баху) *).

Имѣемъ:

$$k_b \geqq p\left\{\mu\,\frac{k}{s} + \psi\left(\frac{r - 0{,}5k\left(1+\frac{k}{r}\right)}{s}\right)^2\right\},$$

гдѣ s толщина днища (въ cm), k внутренній радіусъ закругленія борта и r внутренній радіусъ выгиба днища, p внутреннее рабочее давленіе въ kg/qcm, k_b см. стр. 419.

Коэффиціенты μ и ψ даны для днищъ **литого желѣза**, вклепанныхъ вовнутрь полыхъ цилиндровъ: $\mu = 0{,}5$ и $\psi = 0{,}33$ до $0{,}375$; для прилитыхъ **чугунныхъ** днищъ: $\mu = \psi = 0{,}8$.

---

*) См. Maschinen-Elemente, 6 стр. 688 и Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 1224 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

c. Полый цилиндръ. (По Баху).

Пусть:
r_i внутренній радіусъ въ cm, $\left.\begin{matrix}\\ \\ \end{matrix}\right\}$ $s = r_a - r_i$
r_a наружній радіусъ въ cm, $\left.\begin{matrix}\\ \\ \end{matrix}\right\}$ толщина стѣнокъ въ cm,
k_z допускаемое напряженіе матеріала при растяженіи въ kg/qcm,
k допускаемое напряженіе матеріала при сжатіи въ kg/qcm,
$m = {}^{10}/_{3}$ отношеніе продольнаго удлиненія къ поперечному сжатію.

1. Цилиндръ подвергается **внутреннему давленію** p_i въ kg/qcm; имѣемъ:

$$r_a = r_i \sqrt{\frac{m k_z + (m-2) p_i}{m k_z - (m+1) p_i}} = r_i \sqrt{\frac{k_z + 0{,}4 p_i}{k_z - 1{,}3 p_i}} \qquad \text{I.}$$

причемъ наибольшее напряженіе имѣетъ мѣсто на внутренней поверхности по направленію **касательной**. Напряженіе матеріала (отъ силы $\pi r_i^2 p_i$) по направленію оси цилиндра значительно меньше; для небольшой толщины стѣнокъ оно равно только половинѣ напряженія по направленію къ нему перпендикулярному.

Возможны только такія соотношенія, при которыхъ $p_i < (k_z : 1{,}3)$ или $(p_i : k_z) < 0{,}77$. Имѣемъ для:

$p_i : k_z =$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,375	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75
$r_a : r_i =$	1,044	1,093	1,148	1,208	1,355	1,498	1,555	1,852	2,374	2,851	3,771	7,211

При **незначительной толщинѣ стѣнокъ** $s = r_a - r_i$ имѣемъ довольно точно:

$$s = r_i \frac{p_i}{k_z}. \qquad \text{II.}$$

Примѣчаніе. Въ случаѣ ослабленія сѣченія заклепками необходимо площадь сѣченія уменьшить сообразно ослабленію отъ заклепочныхъ дыръ.

Примѣръ. Чугунный **цилиндръ пресса**, при діаметрѣ поршня 36 cm и внутреннемъ діаметрѣ 40 cm, долженъ служить для подъема моста вѣсомъ 229 тоннъ. Опредѣлить толщину стѣнки s при $k_z = 600$ kg/qcm.

При діаметрѣ 36 cm площадь поршня составляетъ около 1018 qcm, такъ что давленіе воды $p_i = 229\,000 : 1018 = 225$ kg/qcm и $p_i : k_z = 225 : 600 = 0{,}375$. Изъ вышеприведенной таблицы $r_a : r_i = 1{,}498$; $r_i = {}^1/_2 \cdot 40 = 20$ cm, $r_a = 1{,}498 \cdot 20 =$ прибл. 30 cm; слѣд., требуемая толщина стѣнки:

$$s = r_a - r_i = 30 - 20 = 10 \text{ cm}.$$

Опредѣленіе толщины стѣнокъ цилиндрическихъ **паровыхъ котловъ**, подверженныхъ внутреннему давленію, по Гамбургскимъ нормамъ 1898 г., см. отдѣлъ VII, Машины-двигатели, „детали паровыхъ котловъ“.

2. Цилиндръ подверженъ **наружнему давленію** p_a въ kg/qcm.

Въ предположеніи, что вдавливаніе стѣнокъ не можетъ имѣть мѣста, имѣемъ:

$$r_a = r_i \sqrt{\frac{m k}{m k - (2m-1) p_a}} = r_i \sqrt{\frac{k}{k - 1{,}7 p_a}} \qquad \text{III.}$$

На основаніи этого уравненія возможны только такія соотношенія, для которыхъ:

$$p_a < (k : 1{,}7) \text{ или } (p_a \quad k) < 0{,}588.$$

См. примѣчаніе въ **1.**

НТБ ДНУЗТ

При **незначительной толщинѣ стѣнокъ** имѣемъ довольно точно:

$$s = r_a \frac{p_a}{k} \qquad \text{IV}$$

Опредѣленіе толщины стѣнокъ **жаровыхъ трубъ** въ котлахъ, по Гамбургскимъ нормамъ 1898 г., см. отдѣлъ VII, детали паровыхъ котловъ.

d. Полый шаръ. (По К. Баху).

1. Внутреннее давленіе (сверхъ наружняго) p_i въ kg/qcm.

Обозначенія какъ въ c, стр. 422.

Имѣемъ:

$$r_a = r_i \sqrt[3]{\frac{2mk_z + 2(m-2)p_i}{2mk_z - (m+1)p_i}} = r_i \sqrt[3]{\frac{k_z + 0{,}4p_i}{k_z - 0{,}65p_i}} \qquad \text{V}$$

Наибольшее напряженіе на растяженіе имѣетъ мѣсто на внутренней поверхности по **касательной**.

На основаніи этого уравненія возможны лишь такія соотношенія, для которыхъ: $p_i < (k_z : 0{,}65)$ или $(p_i : k_z) < 1{,}54$.

Для **малой** (сравнительно съ радіусомъ) **толщины стѣнокъ** $s = r_a - r_i$ имѣемъ довольно точно:

$$s = \frac{1}{2} r_i \frac{p_i}{k_z} \qquad \text{VI.}$$

Примѣчаніе. Если отдѣльныя части полаго шара соединены заклепками или другимъ способомъ, то необходимо также принимать въ разсчетъ сопротивленіе швовъ.

2. Шаръ подверженъ **наружнему давленію** p_a въ kg/qcm.

Въ предположеніи, что вдавливаніе стѣнокъ шара не будетъ имѣть мѣста, имѣемъ довольно точно:

$$r_a = r_i \sqrt[3]{\frac{2mk}{2mk - 3(m-1)p_a}} = r_i \sqrt[3]{\frac{k}{k - 1{,}05p_a}} \qquad \text{VII.}$$

На основаніи этого уравненія возможны лишь такія соотношенія, для которыхъ $p_a < (k : 1{,}05)$ или $(p_a : k) < 0{,}95$.

См. также примѣчаніе въ **1.**

Для сравнительно **малой толщины стѣнокъ** (см. 1.) имѣемъ въ томъ же предположеніи довольно точно:

$$s = \frac{1}{2} r_a \frac{p_a}{k} \qquad \text{VIII.}$$

Примѣчаніе.

Плоскія **плиты** изъ достаточно тягучаго матеріала, послѣ прогиба ихъ подъ дѣйствіемъ груза, обладаютъ въ прогнутомъ видѣ большимъ сопротивленіемъ, чѣмъ до прогиба, когда онѣ имѣли плоскую форму.

Если **дискъ** или **сосудъ** подвергается изнашиванію или ржавленію, то опредѣленная разсчетомъ толщина должна быть соотвѣтственно увеличена. Если изготовленіе диска или условія его перевозки требуютъ увеличенія его толщины противъ опредѣленной разсчетомъ, то диску должны быть приданы размѣры въ зависимости отъ этой послѣдней увеличенной толщины.

НТБ ДНУЗТ

ОТДѢЛЪ ПЯТЫЙ.

ДЕТАЛИ МАШИНЪ*).

I. ЧАСТИ ДЛЯ СОЕДИНЕНІЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНЪ.

A. Клинья.

Въ нижеслѣдующемъ силы выражены въ kg, длины въ cm и допускаемыя напряженія въ kg/qcm. Общія данныя о клиньяхъ см. стр. 222 и 223.

a. Клинья для спокойной нагрузки.

Діаметръ d опредѣляется (черт. 276) изъ

$$P = k_z \frac{\pi d^2}{4},$$

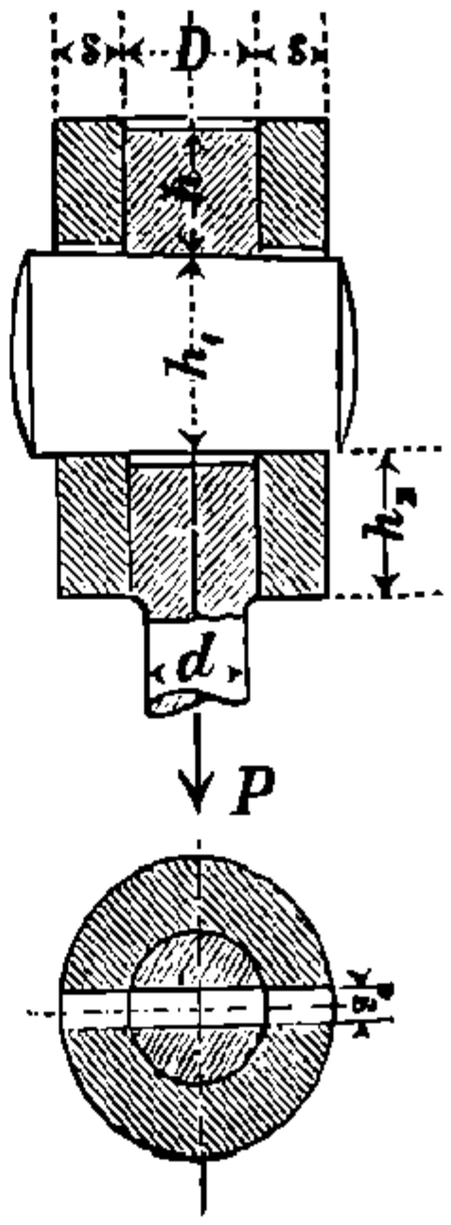
а діаметръ D изъ $P = k'_z \left(\frac{\pi D^2}{4} - s_1 D \right)$,

если

k_z допускаемое напряж. въ сѣченіи $^1/_4 \pi d^2$,

k'_z „ „ „ $^1/_4 \pi D^2 - s_1 D$.

Черт. 276.



Въ послѣднемъ сѣченіи распредѣленіе напряженій неравномѣрное, поэтому необходимо выбирать $k'_z < k_z$. Обыкновенно принимаютъ:

$$k'_z = \frac{\pi}{4} k_z.$$

При $s_1 = 0{,}25\, D$

слѣдуетъ изъ $k_z \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} k_z \left(\frac{\pi D^2}{4} - s_1 D \right)$

$D \backsim {}^4/_3\, d.$

*) По Баху: „Die Maschinen-Elemente“, 6 изд., Stuttgart. 1897.

НТБ ДНУЗТ

Давленіе k въ поверхности соприкосновенія $s_1 D$ между клиномъ и стержнемъ получается изъ

$$k_z \frac{\pi d^2}{4} = k s_1 D = k \frac{1}{4} D^2,$$

$$k \backsim {}^7/_4 k_z.$$

Если допустить то же значеніе k и для втулки, обхватывающей стержень, то изъ

$$2 k s s_1 = k D s_1$$

имѣемъ: $$s = 0{,}5\, D.$$

Для средней высоты h_1 клина, работающаго на изгибъ, имѣемъ:

$$\frac{P}{2}\left(\frac{D}{2} + \frac{s}{2} - \frac{D}{4}\right) = k_b \frac{s_1 h_1^2}{6},$$

откуда при $s_1 = \frac{D}{4}$, $s = \frac{D}{2}$, $P = k_z \frac{\pi d^2}{4}$:

$$h_1 = d \sqrt{\frac{3\pi}{2} \frac{k_z}{k_b}}.$$

Напр., для $k_z = 900$ kg/qcm (сварочное или литое желѣзо), $k_b = 1350$ kg/qcm (сталь) имѣемъ:

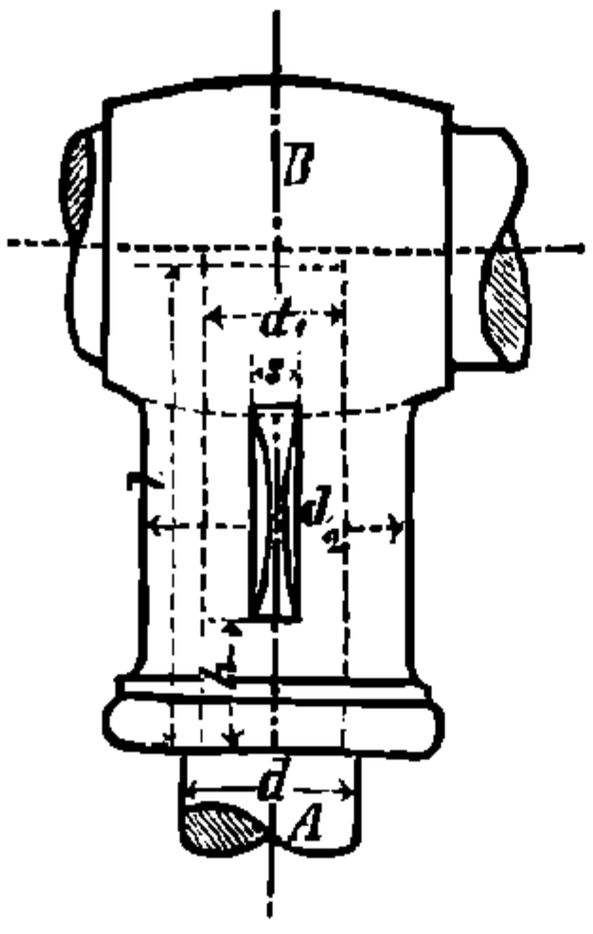
$$h_1 \backsim {}^7/_4 d \backsim {}^4/_3 D.$$

Наклонъ клина принимается въ $^1/_{15}$ до $^1/_{20}$. Для размѣра h имѣемъ эмпирически данную величину для прямоугольныхъ клиньевъ:

$$h = 0{,}67\ h_1 \text{ до } 0{,}75\ h_1$$

Высота h_2 можетъ быть взята равною h_1, если особыя силы, дѣйствующія на втулку, не потребуютъ увеличенія размѣра.

Черт. 277.



b. Клинья для измѣняющейся нагрузки.

При соединеніи поршневого стержня (черт. 277) паровой машины съ балансиромъ (крейцкопфомъ) должно имѣть мѣсто, вслѣдствіе измѣненія дѣйствующаго усилія отъ $+ P$ до $- P$, такъ наз. **напряженное соединеніе** (по направленію поршневого стержня). Для принятія въ разсчетъ напряженій, которыя являются при самомъ соединеніи (т.-е. при заколачиваніи клина) необходимо принять усиліе въ стержнѣ на $^1/_4$ больше.

НТБ ДНУЗТ

Примѣръ. Усиліе въ поршневомъ стержнѣ $P = 10\,000$ kg; діаметръ стального стержня $d = 8{,}2$ cm; поперечина, съ которою будетъ соединенъ стержень, и клинъ тоже изъ стали.

Для того, чтобы въ кольцѣ $\frac{\pi}{4}(d^2 - d_1^2)$ давленіе не превосходило 1000 kg/qcm, необходимо:

$$\frac{\pi}{4}(8{,}2^2 - d_1^2)\,1000 = \frac{5}{4} \cdot 10\,000, \quad \text{откуда: } d_1 \sim 7 \text{ cm}.$$

Если между клиномъ и стержнемъ допустить то же давленіе въ 1000 kg, то имѣемъ для толщины клина.

$$7 \cdot 1000 = \frac{5}{4} \cdot 10\,000, \quad \text{слѣд.: } s_1 = 1{,}8 \text{ cm}.$$

Діаметръ втулки d_2 опредѣляется изъ:

$$(d_2 - d_1)\, s_1 \cdot 1000 = \frac{5}{4} \cdot 10\,000 = s_1\, d_1 \cdot 1000, \quad \text{слѣд.: } d_2 = 2\,d_1 = 14 \text{ cm}.$$

Средняя высота h_1 клина, работающаго на изгибъ, опредѣляется:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{5}{4} \quad 10000 \left(\frac{7{,}0 + 3{,}5}{2} - \frac{3{,}5}{2}\right) = 1000 \cdot \frac{1{,}8\,h_1^2}{6}, \text{ откуда: } h_1 = 8{,}6 \text{ cm}.$$

Для h имѣемъ среднее значеніе по даннымъ a:

$$h = 0{,}7\, h_1 = 6 \text{ cm}.$$

Наклонъ клина 1:25, слѣд.: $l = 6{,}0 + 8{,}6 + 6{,}0 = 20{,}6$ cm.

Для избѣжанія острыхъ угловъ въ отверстіи для клина, послѣднему даютъ форму черт. 278, при этомъ допускаютъ $h = 0{,}4\ h_1$ до $0{,}5\ h_1$.

Черт. 278.

Клинья, которые **загоняются (затягиваются) при полномъ напряженіи соединенія**, должны имѣть такіе размѣры, чтобы давленіе въ скользящихъ поверхностяхъ (надежность противъ заѣданія) не превосходило наибольшей допускаемой величины. Послѣдняя зависитъ отъ тщательности работы и качества матеріала.

См. также соединенія помощью клиньевъ въ соотвѣтствующихъ деталяхъ машинъ.

B. Винты и болты.

a. Общія данныя.

Построеніе проекціи цилиндрической **винтовой линіи** см. стр. 126. Кромѣ того, винтовую линію можно получить навиваніемъ плоскаго угла α на боковую поверхность прямого круглаго цилиндра; если, приэтомъ, одна изъ сторонъ угла α перпендикулярна къ оси цилиндра, то другая сторона образуетъ винтовую линію. Если радіусъ цилиндра $= r$, то ходъ винтовой линіи $h = 2\pi r \operatorname{tg}\alpha$.

НТБ ДНУЗТ

Если вмѣсто образующей винтовую линію точки имѣемъ равнобедренный треугольникъ, основаніе котораго лежитъ на боковой поверхности цилиндра параллельно оси его, и плоскость треугольника совпадаетъ съ осью цилиндра, то получаемъ винтъ съ остроугольной нарѣзкой; призматическое винтовое тѣло, находящееся надъ поверхностью основного цилиндра, наз. нарѣзкой.

Если замѣнить треугольникъ прямоугольникомъ (квадратомъ), трапеціей или волнообразнымъ поперечнымъ сѣченіемъ, то получится прямоугольная, трапецевидная или круглая нарѣзка.

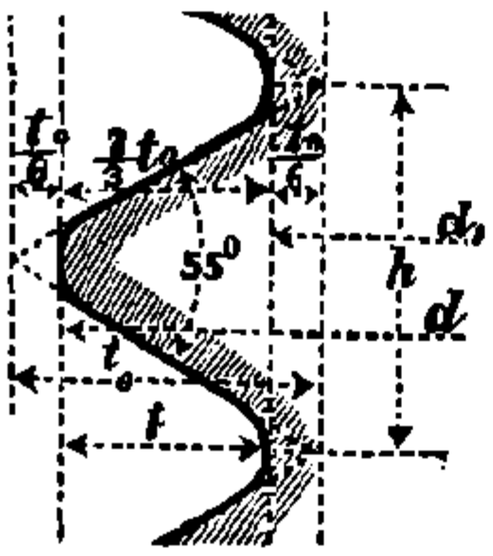
Если нарѣзка винта состоитъ изъ одного винтообразнаго тѣла, то винтъ называется однооборотнымъ; если она состоитъ изъ двухъ такихъ тѣлъ (соотв. двухъ параллельныхъ винтовыхъ линій), то винтъ назыв. двухоборотнымъ или двухходовымъ и т. д.

Нарѣзка наз. правой, когда она подымается слѣва направо, въ противномъ случаѣ нарѣзка будетъ лѣвой. Наиболѣе употребительна правая нарѣзка.

b. Системы нарѣзки.

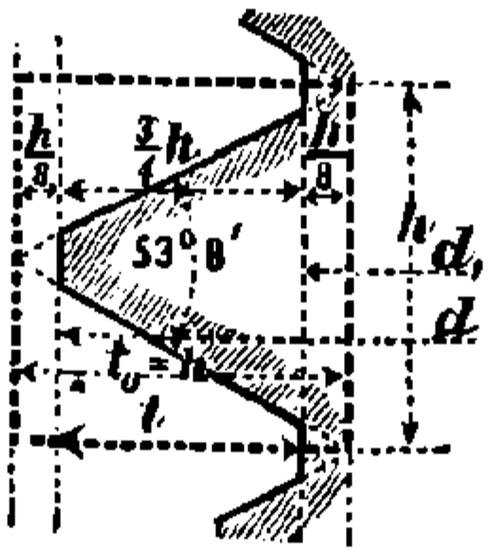
Полезное треніе у остроугольной нарѣзки нѣсколько больше, чѣмъ у другихъ родовъ нарѣзки; поэтому **закрѣпляющіе винты** почти всегда имѣютъ остроугольную нарѣзку, по одному изъ слѣдующихъ трехъ типовъ:

Черт. 279.



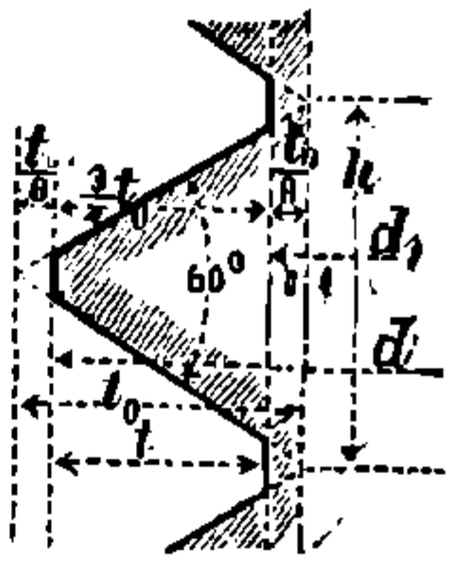
Витвортъ.
(англійск.)

Черт. 280.



Делисль.
(нѣмецк.)

Черт. 281.



Селлерсъ.
(американск.)

1. Нарѣзка Витворта (черт. 279). Сѣченіе нарѣзки—равнобедренный треугольникъ, съ угломъ при вершинѣ въ 55^0; наружнее и внутреннее закругленіе на глубинѣ $^1/_6 t_0$ радіусомъ $0{,}143\ t_0$. Если d наружній діаметръ нарѣзки, d_1 внутренній, то выбираютъ $h = nd$, гдѣ для $d = {}^1/_4$ до 6 англ. дюйм. n измѣняется отъ $^1/_5$ до $^1/_{15}$.

Имѣемъ: $t_0 = {}^1/_2\ h \operatorname{ctg} 27{}^1/_2{}^0 = 0{,}96049\ h$ и $t = {}^2/_3\ t_0 = 0{,}64033\ h$,

слѣд.: $d_1 = d - 2t = d - 1{,}28065\ h = d\ (1 - 1{,}28065\ n)$.

(См. табл. стр. 429—433).

НТБ ДНУЗТ

Нарѣзка Витворта въ Европѣ наиболѣе распространена.

2. Метрическая нарѣзна (черт. 280, стр. 427). Сѣченіе нарѣзки — равнобедренный треугольникъ, вписанный въ квадратъ, съ угломъ въ $53^0 8'$. Величина $t_0 = h$ у вершины и у основанія срѣзана плоскостью на $^1/_8$ часть высоты треугольника. $d_1 = d - 1{,}5\ h$; $t = {}^3/_4\ h$. См. табл. стр. 434 *).

3. Нарѣзка Селлерса (черт. 281, стр. 427). Сѣченіе нарѣзки — равносторонній треугольникъ; у вершины и у основанія величина t_0 срѣзана плоскостью на $^1/_8$ часть высоты треугольника (ср. табл. стр. 434). Имѣемъ: $h = nd$, гдѣ для $d = {}^1/_8$ до 6 англ. дюйм.; значеніе n измѣняется отъ $^1/_5$ до $^2/_{27}$.

$$t_0 = {}^1/_2\ h \operatorname{ctg} 30^0 = 0{,}86603\ h \text{ и } t = {}^3/_4\ t_0 = 0{,}64952\ h;$$
$$d_1 = d - 2t = d - 1{,}29904\ h = d\ (1 - 1{,}29904\ n).$$

4. Упомянутыя на стр. 427 прямоугольная, трапецевидная и круглая нарѣзки для скрѣпляющихъ болтовъ примѣняются рѣдко; главнымъ же образомъ онѣ встрѣчаются у **винтовъ, передающихъ движеніе**, и **прессовыхъ винтовъ**. При выборѣ d и d_1 здѣсь можно не придерживаться никакой системы, какъ для остроугольной нарѣзки.

c. Разсчетъ винтовъ.

Обозначимъ черезъ:
Q нагрузку, дѣйствующую по оси винта, въ kg,
k_z допускаемое напряженіе на растяженіе, въ kg/qcm,
d_1 внутренній діаметръ нарѣзки, въ cm,
d наружній „ „ „ „

1. Винтъ подвергается только растяженію (или сжатію).

Этотъ случай имѣетъ мѣсто при закрѣпленіи болтовъ, которые не затягиваются подъ дѣйствіемъ нагрузки. Тогда имѣемъ:

$$Q = {}^1/_4\ \pi\ d_1^2\ k_z \ldots\ldots \qquad \ldots\ldots \text{I.}$$

Если болты изготовлены на токарномъ станкѣ или при помощи остраго рѣжущаго инструмента, или же спеціальныхъ машинъ, причемъ матеріалъ болтовъ нисколько не поврежденъ, то, предполагая способъ нагрузки II (стр. 340 и 341), можно допускать для болтовъ сварочнаго желѣза: $k_z = 600$ kg/qcm.

Для болтовъ сварочнаго желѣза средняго качества, при томъ же способѣ нагрузки, $k_z = 480$ kg/qcm.

[Для стальныхъ болтовъ при тѣхъ же предположеніяхъ:
$k_z = 800$ kg/qcm и соотв. $k_z = 640$ kg/qcm].

Значенія Q для винтовъ по Витворту (при напряженіи на растяженіе $k_z = 600$ kg/qcm и соотв. $k_z = 480$ kg/qcm) даетъ таблица

(См. продолженіе на стр. 435).

*) Zeitschr. d. V. d. Ing., 1893, стр. 1440; 1895, стр. 971; 1898, стр. 483.

НТБ ДНУЗТ

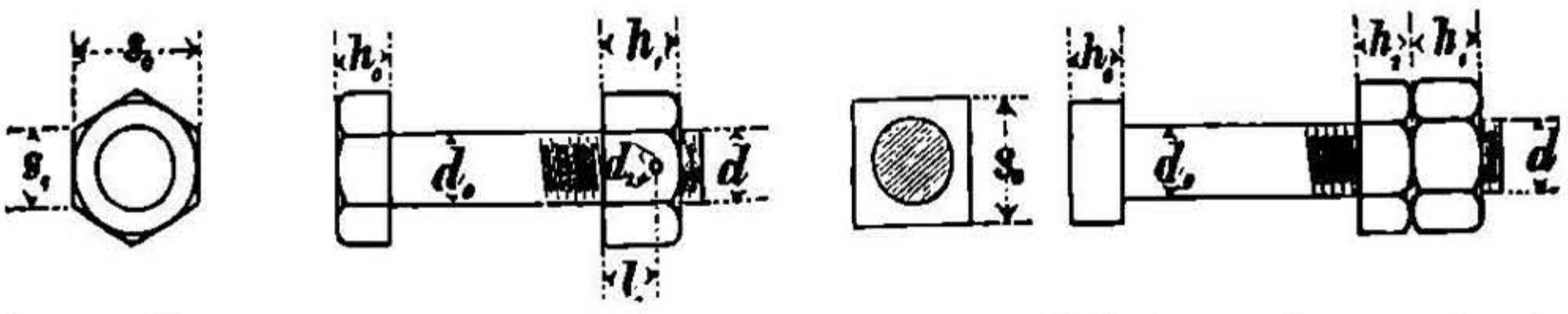
Система винтовъ по Витворту (черт. 279, стр. 427).

Наружній діаметръ нарѣзки. d		Стержень нарѣзки.		Число нарѣзокъ.		Высота гайки (округленная).	Высота головки (округленная).	Отверст. гаечн. ключа (округл.)	$Q = {}^1/_4 \pi d_1^2 k_z$, если (въ kg/qcm)	
		Діам. d_1	Сѣченіе $\frac{\pi d_1^2}{4}$	на 1 англ. дюймѣ.	на длинѣ d.	h_1	h_0	s_0	$k_z = 480$.	$k_z = 600$.
англ. дюймы.	mm	mm	qcm			mm	mm	mm	kg	kg
1/4	6,35	4,72	0,175	20	5	6	4	13	85	105
5/16	7,94	6,13	0,295	18	5 5/8	8	6	16	140	175
3/8	9,52	7,49	0,441	16	6	10	7	19	210	265
7/16	11,11	8,79	0,607	14	6 1/8	11	8	21	290	365
1/2	12,70	9,99	0,784	12	6	13	9	23	375	470
5/8	15,87	12,92	1,311	11	6 7/8	16	11	27	630	785
3/4	19,05	15,80	1,961	10	7 1/2	19	13	33	940	1175
7/8	22,22	18,61	2,720	9	7 7/8	22	15	36	1305	1630
1	25,40	21,33	3,573	8	8	25	18	40	1715	2145
1 1/8	28,57	23,93	4,498	7	7 7/8	29	20	45	2160	2700
1 1/4	31,75	27,10	5,768	7	8 3/4	32	22	50	2770	3460
1 3/8	34,92	29,50	6,835	6	8 1/4	35	24	54	3280	4100
1 1/2	38,10	32,68	8,388	6	9	38	27	58	4030	5030
1 5/8	41,27	34,77	9,495	5	8 1/8	41	29	63	4560	5700
1 3/4	44,45	37,94	11,31	5	8 3/4	44	32	67	5430	6780
1 7/8	47,62	40,40	12,82	4 1/2	8 7/16	48	34	72	6150	7690
2	50,80	43,57	14,91	4 1/2	9	51	36	76	7160	8950
2 1/4	57,15	49,02	18,87	4	9	57	40	85	9060	11320
2 1/2	63,50	55,37	24,08	4	10	64	45	94	11560	14450
2 3/4	69,85	60,55	28,80	3 1/2	9 5/8	70	49	103	13820	17280
3	76,20	66,90	35,15	3 1/2	10 1/2	76	53	112	16870	21090
3 1/4	82,55	72,57	41,36	3 1/4	10 9/16	83	58	121	19850	24820
3 1/2	88,90	78,92	48,92	3 1/4	11 3/8	89	62	130	23480	29350
3 3/4	95,25	84,40	55,95	3	11 1/4	95	67	138	26860	33570
4	101,60	90,75	64,68	3	12	102	71	147	31050	38810
4 1/4	107,95	96,65	73,37	2 7/8	12 7/32	108	76	156	35220	44020
4 1/2	114,30	102,98	83,29	2 7/8	12 15/16	114	80	165	39980	49970
4 3/4	120,65	108,84	93,04	2 3/4	13 1/16	121	85	174	44660	55820
5	127,00	115,19	104,2	2 3/4	13 3/4	127	89	183	50020	62530
5 1/4	133,35	121,67	116,3	2 5/8	13 25/32	133	93	192	55810	69760
5 1/2	139,70	127,51	127,7	2 5/8	14 7/16	140	98	201	61300	76620
5 3/4	146,05	133,05	139,0	2 1/2	14 9/16	146	102	209	66740	83420
6	152,40	139,39	152,6	2 1/2	15	152	106	218	73250	91560

НТБ ДНУЗТ

Размѣры точеныхъ и неточеныхъ винтовъ

(Нормальные размѣры



Болты.

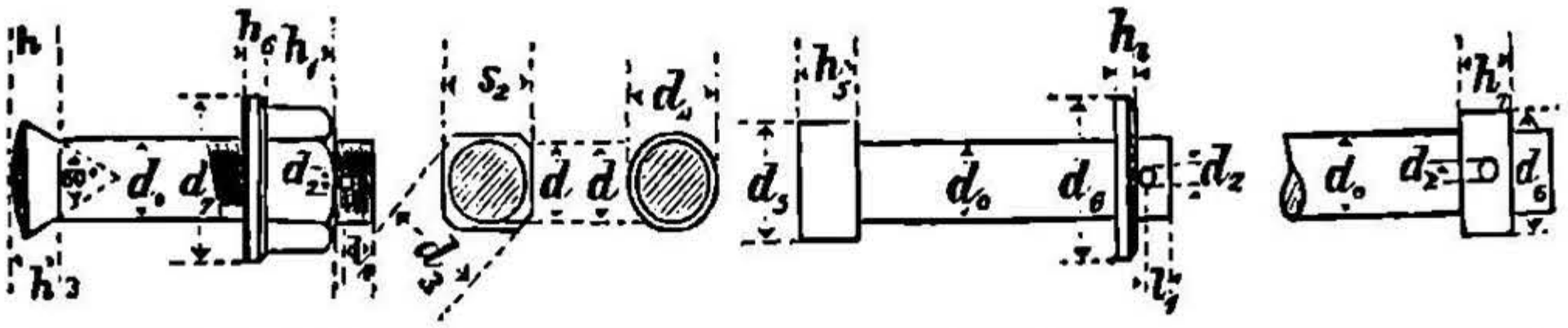
Номеръ болта.	d_0 Наружній діаметръ болта. Точеная. mm	d_0 Наружній діаметръ болта. Неточен. mm	d Англ. дюймы.	d Наружній діаметръ нарѣзки. mm	d_1 Внутренній діаметръ нарѣзки. mm	z Число нарѣзокъ на одномъ дюймѣ. mm	Высота. Шестигран. или квадрат. головки. h_0 mm	Высота. Гайки. h_1 mm	Высота. Контръ-гайки. h_2 mm	Высота. Потайной головки. Полная высота. h_3 mm	Высота. Потайной головки. Высота конуса. h_4 mm	Отверстіе ключа и сторона квадр. головки. s_0 mm
3	10	10	3/8	9,52	7,49	16	7	10	7	6	5	17
4	13	13	1/2	12,70	9,99	12	9	13	10	8	7	22
5	16	16	5/8	15,87	12,92	11	12	16	12	10	8	28
6	20	19	3/4	19,05	15,80	10	14	20	15	12	10	33
7	23	23	7/8	22,22	18,61	9	16	23	17	14	11	39
8	26	26	1	25,40	21,33	8	18	26	19	16	13	44
9	30	29	1 1/8	28,57	23,93	7	20	30	21	18	14	50
10	33	32	1 1/4	31,75	27,10	7	22	33	24	20	16	55
11	36	35	1 3/8	34,92	29,50	6	24	36	26	22	18	61
12	40	39	1 1/2	38,10	32,68	6	26	40	28	24	20	66
13	43	42	1 5/8	41,27	34,77	5	29	43	31	26	21	72
14	46	45	1 3/4	44,45	37,94	5	31	46	33	28	23	77
15	50	48	1 7/8	47,62	40,40	4 1/2	34	50	36	30	25	83

Нарѣзка діаметромъ болѣе 20 mm для распорныхъ болтовъ (связей), вертикальныхъ
наго стекла, цилиндровыхъ продувательныхъ крановъ, пробныхъ крановъ, масленокъ
Необточеннымъ болтамъ, діаметръ которыхъ не отступаетъ отъ вышеприведенныхъ,

НТБ ДНУЗТ

и болтовъ. Нарѣзка Витворта.

Герм. Правит. ж. д.).



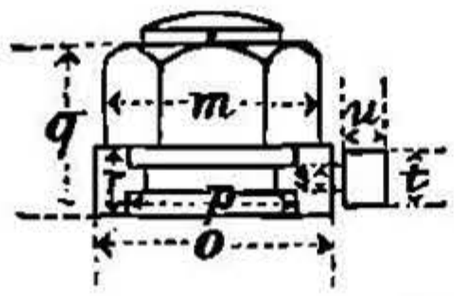
Сторона шестигранника гайки или головки.	Діаметръ шплинта.	Разстояніе шплинта, проходящ.: сквозь гайку, отъ края послѣдней.	Разстояніе шплинта, проходящ.: передъ гайкой отъ конца болта.	Штифты. Діаметръ круга.	Штифты. Сторона квадрат.	Штифты. Діаметръ заплечика при круглыхъ штифтахъ.	Гладкіе болты (валки). Діаметръ головки.	Гладкіе болты (валки). Высота головки.	Подкладныя шайбы. Діаметръ. для обточенныхъ болтовъ (валковъ).	Подкладныя шайбы. Діаметръ. для гаекъ.	Подкладныя шайбы. Толщина шайбы.	Подкладныя шайбы. Высота шплинтового кольца.
s_1	d_2	l_0	l_1	d_3	s_2	d_4	d_5	h_5	d_6	d_7	h_6	h_7
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
9,8	4	7	6	14	12	13	16	5	16	22	3	10
12,7	5	9	8	20	17	16	22	6	22	28	4	11
16,2	5	12	8	22	17	20	26	7	26	36	4	12
19,1	6	14	9	26	22	23	32	8	32	44	5	13
22,5	6	16	9	34	28	26	36	9	36	50	5	15
25,4	7	18	10	34	28	30	40	10	40	56	6	16
28,9	7	20	12	40	33	33	44	10	44	62	6	17
31,8	8	22	12	40	33	36	48	11	48	68	7	18
35,2	9	24	13				52	11	52	74	7	19
38,1	9	26	14				56	12	56	80	8	20
41,6	10	29	15				60	12	60	86	8	21
44,5	10	31	15				64	13	64	92	9	22
47,9	10	34	16				68	13	68	100	9	23

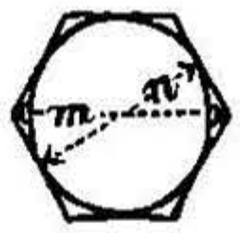
потолочныхъ болтовъ огневой коробки и т. п., рѣзьба мѣдныхъ штуцеровъ водомѣр- и т. п. имѣютъ 10 нитокъ на одномъ англійскомъ дюймѣ.
придается нарѣзка по ближайшему меньшему изъ нормальныхъ размѣровъ по таблицѣ.

НТБ ДНУЗТ

Таблица размѣровъ болтовъ, употребляемыхъ для пароходныхъ машинъ.

(Нарѣзка Витворта).





Наружній діаметръ нарѣзки. d	Головка болта. Шестигран., квадратная или круглая. Діаметръ или разст. между гранями	Головка болта. Шестигран., квадратная или круглая. Высота.	Головка болта. Круглая лотайная. Діаметръ.	Головка болта. Круглая лотайная. Высота.	Гайка. m	Гайка. n	Гайка. o	Гайка. p	Гайка. q	Гайка. r	Укрѣпляющій (установит.) винтъ. s	Укрѣпляющій (установит.) винтъ. t	Укрѣпляющій (установит.) винтъ. u
Англ. дюймы.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3/4	31	14	28	13	31	27	35	26	24	12	5	10	8
7/8	35	16	32	15	36	31	40	29	27	12	5	10	8
1	40	18	37	17	40	35	46	33	30	12	5	10	8
1 1/8	45	20	41	19	46	40	50	37	33	13	5	10	8
1 1/4	49	22	46	21	52	45	57	42	36	13	5	10	8
1 3/8	54	24	50	23	57	49	62	46	39	13	5	10	8
1 1/2	58	26	55	25	62	54	68	50	42	15	6	13	10
1 5/8	63	28	59	27	67	58	73	54	45	15	6	13	10
1 3/4	67	30	64	29	73	63	79	59	48	15	6	13	10
1 7/8	72	32	68	31	77	67	85	63	51	18	8	16	11
2	76	34	73	33	83	72	90	68	54	18	8	16	11
2 1/4	85	38	82	37	93	81	101	77	60	18	8	16	11
2 1/2	94	42	91	41	104	90	112	86	66	18	8	16	11
2 3/4	103	46	100	45	114	99	123	95	71	21	10	20	13
3	112	50	109	49	125	108	134	104	76	21	10	20	13
3 1/4	121	54	118	53	135	117	145	113	81	21	10	20	13
3 1/2	130	58	127	57	145	126	156	122	86	25	11	22	14
3 3/4	139	63	136	61	156	135	166	131	91	25	11	22	14
4	148	68	145	65	166	144	177	140	96	25	11	22	14
4 1/4	157	73	154	69	177	153	188	149	101	28	13	24	16
4 1/2	166	78	162	73	187	162	200	158	106	28	13	24	16
4 3/4	175	83	170	77	197	171	210	167	111	28	13	24	16
5	184	88	178	81	207	179	220	175	116	32	14	28	17
5 1/4	193	93	186	85	216	187	230	183	121	32	14	28	17
5 1/2	202	98	194	89	225	195	240	191	126	36	16	31	19
5 3/4	211	103	202	92	234	203	250	199	131	36	16	31	19
6	220	108	210	95	244	211	260	207	136	38	16	31	19

НТБ ДНУЗТ

Таблица вѣса желѣзныхъ гаекъ и головокъ болтовъ.

(Нарѣзка Витворта).

Наружній діаметръ нарѣзки. d англ. дюйм.	mm	Вѣсъ шестигранной гайки и шестигранной головки. kg	Вѣсъ шестигранной гайки и квадратной головки. kg	Наружній діаметръ нарѣзки. d англ. дюйм.	mm	Вѣсъ шестигранной гайки и шестигранной головки. kg	Вѣсъ шестигранной гайки и квадратной головки. kg	Наружній діаметръ нарѣзки. d англ. дюйм.	mm	Вѣсъ шестигранной гайки и шестигранной головки. kg	Вѣсъ шестигранной гайки и квадратной головки. kg
1/4	6,35	0,013	0,014	1 3/8	34,9	0,983	1,059	3 1/2	88,9	14,15	15,27
5/16	7,94	0,022	0,023	1 1/2	38,1	1,257	1,354	3 3/4	95,2	17,28	18,64
3/8	9,52	0,033	0,035	1 5/8	41,3	1,575	1,697	4	101,6	20,88	22,52
7/16	11,1	0,048	0,051	1 3/4	44,4	1,931	2,080	4 1/4	107,9	24,89	26,85
1/2	12,7	0,067	0,072	1 7/8	47,6	2,352	2,534	4 1/2	114,3	29,46	31,79
5/8	15,9	0,119	0,127	2	50,8	2,828	3,048	4 3/4	120,6	34,47	37,19
3/4	19,0	0,189	0,203	2 1/4	57,1	3,941	4,248	5	127,0	40,12	43,29
7/8	22,2	0,285	0,307	2 1/2	63,5	5,353	5,770	5 1/4	133,3	46,24	49,89
1	25,4	0,411	0,442	2 3/4	69,9	7,056	7,608	5 1/2	139,7	53,07	57,27
1 1/8	28,6	0,568	0,612	3	76,2	9,052	9,762	5 3/4	146,0	60,42	65,20
1 1/4	31,7	0,753	0,811	3 1/4	82,5	11,39	12,29	6	152,4	68,55	73,98

Примѣчаніе. Эта таблица составлена на основаніи данныхъ, на стр. 429, размѣровъ гайки и головки; уд. вѣсъ желѣза принятъ 7,8. Часть болта, находящаяся внутри гайки, въ разсчетъ не принята.

Нарѣзка Витворта для газовыхъ трубъ.

Діаметръ трубы въ свѣту. D англ. д.	mm	Наружній діаметръ нарѣзки. d англ. дюйм.	mm	Внутренній діаметръ нарѣзки. d_1 англ. дюйм.	mm	Число нарѣзокъ на 1 англ. д.
1/8	3,175	0,3825	9,7153	0,3367	8,5520	28
1/4	6,350	0,5180	13,1569	0,4506	11,4450	19
3/8	9,525	0,6563	16,6697	0,5889	14,9578	19
1/2	12,700	0,8257	20,9724	0,7342	18,6483	14
5/8	15,875	0,9022	22,9154	0,8107	20,5913	14
3/4	19,050	1,0410	26,4409	0,9495	24,1168	14
7/8	22,225	1,1890	30,2000	1,0975	27,8759	14
1	25,400	1,3090	33,2479	1,1925	30,2889	11
1 1/8	28,574	1,4920	37,8961	1,3755	34,9371	11
1 1/4	31,749	1,6500	41,9092	1,5335	38,9502	11
1 3/8	34,924	1,7450	44,3221	1,6285	41,3631	11
1 1/2	38,099	1,8825	47,8146	1,7660	44,8556	11
1 5/8	41,274	2,0210	51,3324	1,9045	48,3734	11
1 3/4	44,449	2,0470	51,9927	1,9305	49,0337	11
2	50,799	2,3470	59,6126	2,2305	56,6536	11
2 1/4	57,149	2,5875	65,7212	2,4710	62,7622	11
2 1/2	63,499	3,0013	76,2315	2,8848	73,2725	11
2 3/4	69,849	3,2470	82,4722	3,1305	79,5132	11
3	76,199	3,4850	88,5173	3,3685	85,5583	11

НТБ ДНУЗТ

Метрическая нарѣзка, принятая Союзомъ нѣмецкихъ инженеровъ (1888/1893).

(Сѣченіе нарѣзки см. черт. 280, стр. 427).

Наружн. діаметръ нарѣзки. d mm	Внутренній діаметръ нарѣзки. d_1 mm	Ходъ винта. h mm	Глубина нарѣзки. t mm	Отверстіе ключа. s_0 mm	Наружн. діаметръ нарѣзки. d mm	Внутренній діаметръ нарѣзки. d_1 mm	Ходъ винта. h mm	Глубина нарѣзки. t mm	Отверстіе ключа. s_0 mm
6	4,5	1,0	0,75	12	20	16,4	2,4	1,8	34
7	5,35	1,1	0,825	14	22	17,8	2,8	2,1	37
8	6,2	1,2	0,9	16	24	19,8	2,8	2,1	40
9	7,05	1,3	0,975	18	26	21,2	3,2	2,4	43
10	7,9	1,4	1,05	20	28	23,2	3,2	2,4	46
12	9,6	1,6	1,2	22	30	24,6	3,6	2,7	49
14	11,3	1,8	1,35	25	32	26,6	3,6	2,7	52
16	13,0	2,0	1,5	28	36	30,0	4,0	3,0	58
18	14,7	2,2	1,65	31	40	33,4	4,4	3,3	64

Нарѣзка Селлерса

(Сѣченіе нарѣзки см. черт. 281, стр. 427).

Наружн. діаметръ нарѣзки. d англ. дюйм.	Ходъ винта. h англ. дюйм.	Числовое значеніе. n (см. стр. 428).	Наружн. діаметръ нарѣзки. d англ. дюйм.	Ходъ винта. h англ. дюйм.	Числовое значеніе. n (см. стр. 428).	Наружн. діаметръ нарѣзки. d англ. дюйм.	Ходъ винта. h англ. дюйм.	Числовое значеніе. n (см. стр. 428).
$1/8$	0,0250	0,2000	$1\,1/8$	0,1429	0,1270	$3\,1/4$	0,2857	0,0879
$3/16$	0,0417	0,2222	$1\,1/4$	0,1429	0,1143	$3\,1/2$	0,3077	0,0879
$1/4$	0,0500	0,2000	$1\,3/8$	0,1667	0,1212	$3\,3/4$	0,3333	0,0889
$5/16$	0,0556	0,1778	$1\,1/2$	0,1667	0,1111	4	0,3333	0,0833
$3/8$	0,0625	0,1667	$1\,5/8$	0,1818	0,1119	$4\,1/4$	0,3478	0,0818
$7/16$	0,0714	0,1633	$1\,3/4$	0,2000	0,1143	$4\,1/2$	0,3636	0,0808
$1/2$	0,0769	0,1538	$1\,7/8$	0,2000	0,1067	$4\,3/4$	0,3810	0,0802
$9/16$	0,0833	0,1481	2	0,2222	0,1111	5	0,4000	0,0800
$5/8$	0,0909	0,1455	$2\,1/4$	0,2222	0,0988	$5\,1/4$	0,4000	0,0762
$3/4$	0,1000	0,1333	$2\,1/2$	0,2500	0,1000	$5\,1/2$	0,4211	0,0766
$7/8$	0,1111	0,1270	$2\,3/4$	0,2500	0,0909	$5\,3/4$	0,4211	0,0732
1	0,1250	0,1250	3	0,2857	0,0952	6	0,4444	0,0741

НТБ ДНУЗТ

стр. 429; наоборотъ, допуская вышеуказанныя напряженія, діаметръ d_1 найдемъ изъ слѣд. формулъ:

$$d_1 = 0{,}046 \sqrt{Q}, \text{ соотв. } d_1 = 0{,}052 \sqrt{Q}.$$

Для желѣзныхъ болтовъ среднихъ діаметровъ ($d = 1{,}2$ до $3{,}0$ cm) имѣемъ приблизительно:

$$Q = 300\, d^2, \text{ соотв. } Q = 240\, d^2.$$

Высота **гайки** h_1 получается изъ разсмотрѣнія напряженій на изгибъ и сдвиженіе въ нарѣзкѣ; если болтъ и гайка изъ одного матеріала, то $h_1 = d$; высота **головки** $h_0 = 0{,}7\, d$. **Отверстіе ключа** s_0 приведено въ табл. стр. 429, 430 и 434.

Если болтъ сварочнаго желѣза, а гайка изъ хорошей бронзы, такъ что для нея, при способѣ нагрузки II (стр. 340 и 341), можно положить $k_b = 300$ kg/qcm, то $h_1 \sim 1{,}5\, d$. Если же оставить и для этого случая $h_1 = d$, то величину d надо увеличить на 20—25%.

2. Болтъ подвергается растяженію (или сжатію) и кручѐнію *).

1. Этотъ случай имѣетъ мѣсто для болтовъ, которые затягиваются подъ дѣйствіемъ нагрузки. Поверхности нарѣзки въ болтѣ и гайкѣ производятъ другъ на друга давленіе (k), которое въ соприкасающихся поверхностяхъ не должно превышать опредѣленной величины, такъ что для z нарѣзокъ можно допустить:

$$Q \leqq z\, {}^1/_4\, \pi\, (d^2 - d_1^2)\, k \ldots \qquad \ldots \text{II.}$$

Для скрѣпляющихъ и установительныхъ винтовъ, если желѣзо скользитъ по желѣзу или бронзѣ: $k \leqq 150$ kg/qcm, если литая сталь скользитъ по литой сталиили бронзѣ: $k \leqq 200$ kg/qcm.

[Давленіе между желѣзной гайкой и подкладной шайбой изъ того же матеріала не должно быть больше 200 kg/qcm].

Для винтовъ, передающихъ движеніе, и прессовыхъ винтовъ можно допустить не больше половины приведенныхъ выше величинъ k. Чѣмъ лучше сохраняется смазка между трущимися поверхностями, тѣмъ больше можетъ быть выбрано k при прочихъ равныхъ условіяхъ.

2. Наибольшій крутящій моментъ, передаваемый болту, для **острогольной** нарѣзки:

$$M_d = Qr \frac{\operatorname{tg}\alpha + 1{,}12\,\mu}{1 - 1{,}12\,\mu \operatorname{tg}\alpha}.$$

Полагая $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}04$, $\mu = 0{,}15$ и $r = {}^1/_4 (d + d_1) \sim 0{,}55\, d_1$, получимъ:

$$M_d = 0{,}11\, Q\, d_1.$$

Имѣемъ $\sigma = \frac{Q}{{}^1/_4\, \pi\, d_1^2}$ и $\tau_{max} = \frac{M_d}{{}^1/_{16}\, \pi\, d_1^3} = \frac{0{,}11\, Q}{{}^1/_{16}\, \pi\, d_1^2}$, слѣд., по стр. 411, для желѣза при $k_z = 600$ kg/qcm, $k_d = 360$ kg/qcm, $\alpha_0 = \frac{600}{1{,}3 \,.\, 360} \sim \frac{4}{3}$:

$$k_z = \frac{Q}{{}^1/_4\, \pi\, d_1^2} (0{,}35 + 0{,}65 \sqrt{2{,}38}) = \frac{Q}{{}^1/_4\, \pi\, d_1^2} \cdot \frac{4}{3}, \text{ откуда}$$

$$Q = {}^3/_4 \,.\, {}^1/_4\, \pi\, d_1^2 k_z, \ldots\ldots\ldots \qquad \ldots \text{III.}$$

т.-е. допускаемая нагрузка составляетъ около $^3/_4$ полученной въ 1.

*) См. изслѣдованія К. Баха, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 854 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

(уравненіе I). Поэтому, если требуется найти діаметръ желѣзнаго болта для опредѣленной нагрузки Q, затягиваемаго подъ дѣйствіемъ нагрузки, то слѣдуетъ искать по таблицѣ стр. 429 d_1, соотвѣтствующій $^7/_6\ Q$; наоборотъ, для опредѣленнаго d_1 допускаемая нагрузка составляетъ только $^3/_4$ показанныхъ въ таблицѣ обѣихъ величинъ Q.

Поэтому, при $k_z = 600$ kg/qcm и соотвѣтств. $k_z = 480$ kg/qcm (см. **1.**):

$$d_1 = 0{,}053\sqrt{Q}, \qquad \text{соотв. } d_1 = 0{,}060\sqrt{Q},$$

и для болтовъ средняго діаметра (отъ $d = 1{,}2$ cm и выше) достаточно точно:

$$Q = 225\ d^2, \qquad \text{соотв. } Q = 180\ d^2.$$

Высота **гайки** скрѣпляющихъ болтовъ съ остроугольной рѣзьбой, которые затягиваются подъ дѣйствіемъ нагрузки, $h_1 = d$, если гайка и болтъ изъ одного матеріала; для желѣзнаго болта и бронзовой гайки $h_1 \backsim 1{,}2\ d$. Если въ послѣднемъ случаѣ желательно оставить $h_1 = d$, то діаметръ болта d надо увеличить приблизительно на 10%.

Большинство скрѣпляющихъ болтовъ (какъ **фундаментные, болты фланцевъ трубъ** и т. д.) испытываютъ добавочное напряженіе вслѣдствіе того, что они, кромѣ первоначальной затяжки, во время работы еще подтягиваются. Для наиболѣе употребительныхъ размѣровъ ($d \geqq 1{,}6$ cm), поэтому, слѣдуетъ принимать:

$$Q = 170\ d^2, \qquad \text{соотв. } Q = 135\ d^2.$$

3. Для винтовъ съ **прямоугольной** нарѣзкой опредѣляютъ сначала приблизительную величину d_1 внутренняго діаметра нарѣзки, разсчитывая его на растяженіе по **1.** и допуская величину напряженія отъ $^1/_2\ k_z$ до $^3/_4\ k_z$. Затѣмъ опредѣляютъ для полученнаго d_1 размѣры нарѣзки и производятъ вновь разсчетъ, принимая во вниманіе кручeніе. Въ большинствѣ случаевъ, сверхъ крутящаго момента

$$M_d = Qr\ \mathrm{tg}\,(\alpha + \varrho) = Qr\,\frac{h + 2\pi r\mu}{2\pi r - \mu h}\ \text{(ср. стр. 229)},$$

прибавляется еще другой, зависящій отъ сопротивленій тренію въ опорѣ винта; этотъ моментъ при вторичномъ разсчетѣ долженъ быть принятъ во вниманіе.

Если винтъ подвергается сжатію, то разсчетъ производится такъ же; но при этомъ надо имѣть въ виду возможность продольнаго изгиба [случай 2), черт. 201, стр. 347].

Примѣръ. Стальной **винтъ винтового пресса** съ прямоугольной нарѣзкой имѣетъ внутренній діаметръ $d_1 = 8$ cm, наружній діаметръ 10 cm; слѣд., глубина рѣзьбы $t = 1$ cm; кромѣ того, ходъ трехоборотнаго винта $h = 2$ англ. дюйм. $= 5{,}08$ cm. Какъ велико напряженіе винта при сжимающей силѣ въ 35 000 kg, если конструкція пресса такова, что продольный изгибъ винта не имѣетъ мѣста и крутящій моментъ опредѣляется по вышеприведенной формулѣ?

Для средняго радіуса винта $r = {}^1/_4\,(10 + 8) = 4{,}5$ cm и коэффиціента тренія $\mu = 0{,}1$ имѣемъ:

$$M_d = 35\,000 \,.\, 4{,}5\,\frac{5{,}08 + 2\,\pi\,.\,4{,}5\,.\,0{,}1}{2\,\pi\,.\,4{,}5 - 0{,}1\,.\,5{,}08} = 44\,850\ \text{cmkg}.$$

Напряженіе отъ кручeнія τ_{max}, вызываемое этимъ моментомъ въ сѣченіи болта, по стр. 398:

$$\tau_{max} = \frac{44\,850}{{}^1/_{16}\,\pi\,8^3} = 446\ \text{kg/qcm},$$

НТБ ДНУЗТ

напряженіе на сжатіе: $\sigma = \frac{35\,000}{{}^1/_4\,\pi\,8^2} = 696$ kg/qcm,

а потому по стр. 411 [въ предположеніи матеріала лучшаго качества, допуская для способа нагрузки II, стр. 340 и 341, $k = 1000$ kg и $k_d = 800$ kg/qcm, а слѣд. $\alpha_0 = 1000 : (1{,}3 \,.\, 800) \backsim 1$], получимъ наибольшее главное нормальное напряженіе въ сѣченіи винта

$$\sigma_{max} = 0{,}35 \,.\, 696 + 0{,}65 \sqrt{696^2 + 4 \,.\, 446^2} = 243{,}6 + 735{,}4 = 979 \text{ kg/qcm},$$

слѣд., ниже допускаемаго $k = 1000$ kg/qcm.

Если гайка изготовлена изъ хорошей бронзы, то, по стр. 435, давленіе въ соприкасающихся поверхностяхъ винта и гайки $k \leqq {}^1/_2 \,.\, 200$ kg/qcm. Если принять $k = 95$ kg/qcm, то по ур. II стр. 435, для числа z нарѣзокъ гайки будемъ имѣть:

$$35\,000 = z \,.\, {}^1/_4\,\pi\,(10^2 - 8^2) \,.\, 95, \text{ откуда } z = 13,$$

такъ что достаточная высота гайки $h_1 = 13\,(2 : 3) = 8^2/_3$ англ. дюйм. $= 22$ cm.

См. также „Винты и винтовыя соединенія“, отдѣлъ VII, детали **паровыхъ котловъ.**

C. Заклепки.

a. Общія данныя.

Дыры въ склепываемыхъ листахъ продавливаются (пробиваются) или высверливаются. Дыры въ склепываемыхъ листахъ должны безусловно точно приходиться одна къ другой.

Пробиваніе (болѣе дешевый способъ) требуетъ матеріала, обладающаго достаточной вязкостью. При пробиваніи вязкость уменьшается, и, слѣд., оно можетъ быть допущено только тогда, когда уменьшеніе вязкости не можетъ имѣть вредныхъ послѣдствій. Дыры пробитыя выходятъ не цилиндрическими, а слегка коппческими, и притомъ увеличенный діаметръ на той сторонѣ листа, которая при пробиваніи находилась внизу.

Высверливаніе дыръ даетъ возможность болѣе точно достигнуть того, чтобы дыры склепываемыхъ листовъ или полосъ приходились одна противъ другой (вполнѣ точно только въ томъ случаѣ, если дыры высверливаются сразу въ обоихъ листахъ); высверливаніе дыръ производится тогда, когда это требуется по техническимъ условіямъ и, кромѣ того, если не допускается уменьшеніе вязкости матеріала. Впрочемъ, если дыры пробиты нѣсколько меньшаго діаметра, то при помощи развертки можно исправлять небольшія неточности.

Заклепка (изъ лучшаго, вязкаго литого или сварочнаго желѣза) состоитъ изъ стержня, начальной головки и головки, замыкающей соединеніе. Формы заклепочныхъ головокъ показаны на черт. 282—285; уголъ α принятъ для всѣхъ четырехъ формъ головки одинаковый, а именно $\operatorname{ctg} \alpha = 1{,}5$, линія AB соотвѣтствуетъ верхней грани листа. Для образованія замыкающей головки требуется длина стержня $= {}^4/_3$ до ${}^7/_4\ d$.

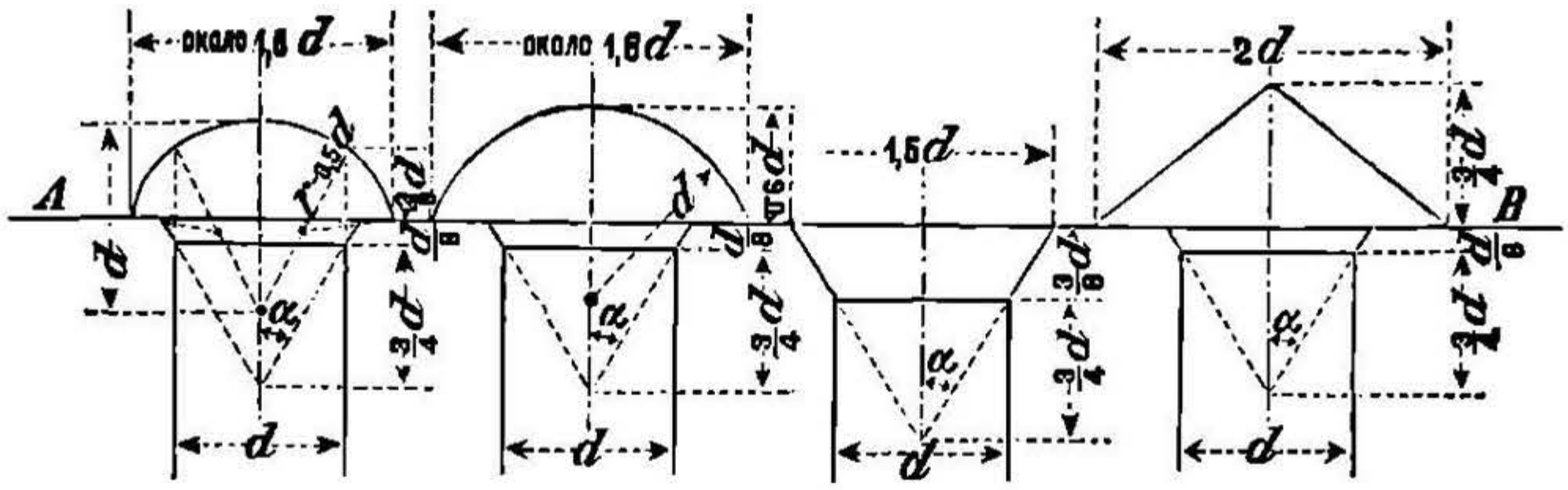
Замыкающая головка (черт. 282 и 283) получается при помощи обжимки въ горячемъ (рѣдко холодномъ) состояніи, ручнымъ или машиннымъ путемъ. Головки черт. 284 и 285 получаются безъ помощи обжимки изъ-подъ молотка. Въ виду ослабленія сѣченія листа потайною заклепкою, при проектированіи швовъ съ потайными заклепками необходимо принимать большія разстоянія между заклепками.

Головки заклепокъ для желѣзныхъ конструкцій см. черт. 282 и

НТБ ДНУЗТ

284 *). Употребительный діаметръ заклепокъ отъ 8 до 30 mm; въ пароходныхъ котлахъ до 36 mm.

Черт. 282. Черт. 283. Черт. 284. Черт. 285.



Головка подъ обжимку для **прочнаго** шва. $G = 4{,}4\ d^3$.	Головка подъ обжимку для **прочнаго и плотнаго** шва. $G = 7{,}06\ d^3$.	Потайная головка подъ молотокъ.	Головка подъ молотокъ (безъ обжимки). $G = 6{,}13\ d^3$

G представляетъ вѣсъ **1000** заклепочныхъ головокъ въ kg, если d діаметръ стержня заклепки въ cm.

Вѣса желѣзныхъ заклепочныхъ головокъ.

d въ mm	G (въ kg) соотвѣтственно чертежу 282	283	285	d въ mm	G (въ kg) соотвѣтственно чертежу 282	283	285	d въ mm	G (въ kg) соотвѣтственно чертежу 282	283	285
8	2,3	3,6	3,1	18	25,7	41,2	35,8	28	96,6	155,0	134,6
10	4,4	7,0	6,1	20	35,2	56,5	49,0	30	118,8	190,6	165,5
12	7,6	12,2	10,6	22	46,9	75,2	65,3	32	144,2	231,3	200,9
14	12,1	19,4	16,8	24	60,8	97,6	84,7	34	172,9	277,5	240,9
16	18,0	28,9	25,1	26	77,3	124,1	107,7	36	205,3	329,4	286,0

Заклепочныя соединенія подраздѣляются на:

1. Соединенія, которыя, кромѣ сопротивленія значительнымъ усиліямъ, должны обладать плотностью (для **паровыхъ котловъ** и т. д.), прочныя и плотныя соединенія.

2. Соединенія, которыя, не подвергаясь значительнымъ усиліямъ, должны быть плотными (**сосуды**, наполненные жидкостью или газомъ, желѣзныя **дымовыя трубы**, **корпуса судовъ** и т. д.), плотныя соединенія.

3. Соединенія, которыя должны только выдерживать значительныя усилія (въ **желѣзныхъ сооруженіяхъ**), прочныя соединенія.

Различаютъ заклепочныя соединенія съ одиночнымъ, двойнымъ и т. д. перерѣзываніемъ, смотря по тому, произойдетъ ли срѣзываніе заклепокъ по одному, двумъ или многимъ сѣченіямъ, если соединеніе разрушится вслѣдствіе срѣзыванія. Въ зависимости отъ того, расположены ли заклепки заклепочнаго шва въ одинъ, два, три ряда, получимъ одиночный, двойной, тройной или многорядный шовъ.

*) См. Deutsches Normalprofil-Buch für Walzeisen, 5 изд., 1897, стр. 25 и 26.

НТБ ДНУЗТ

Заклепки располагаются правильными рядами или въ шахматномъ порядкѣ.
Соединенія бываютъ въ нахлестку (или накладку листовъ), одиночное перерѣзываніе, или листы прикладываются въ притыкъ другъ къ другу кромками и мѣсто соединенія перекрывается одною или двумя накладками.

b. Разсчетъ заклепочныхъ соединеній

(по К. Баху) *).

Въ нижеслѣдующемъ за единицу длины принятъ **cm**.
Заклепка, поставленная въ горячемъ состояніи, при остываніи сокращается; благодаря этому, склепываемые листы прижимаются другъ къ другу, и въ стержнѣ заклепки вызывается напряженіе на растяженіе. Вмѣстѣ съ сокращеніемъ заклепки по направленію оси ея, имѣетъ мѣсто сокращеніе перпендикулярно къ оси: во-первыхъ, вслѣдствіе остыванія, и, во-вторыхъ, вслѣдствіе сжатія сѣченія, соединеннаго съ растяженіемъ заклепки (см. стр. 330).

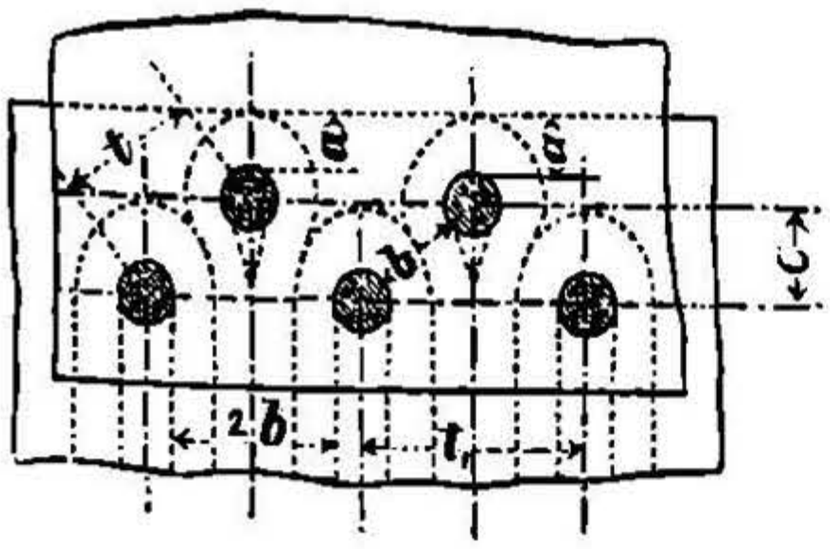
Послѣ остыванія стержень заклепки не касается стѣнокъ дыры. Слѣд., пока не произойдетъ скольженія склепанныхъ листовъ, заклепка не подвергается со стороны листа никакимъ внѣшнимъ усиліямъ, дѣйствующимъ перпендикулярно къ ея оси. Поэтому разсчетъ заклепочныхъ соединеній долженъ вестись на сопротивленіе скольженію листовъ.

По опытамъ среднее сопротивленіе скольженію каждой пары соприкасающихся поверхностей листовъ $R = 800$ до 1600 kg на 1 qcm сѣченія заклепки. Подробнѣе см. стр. 441 **).

*) См. C. Bach, Die Maschinen-Elemente, 6 изд., 1897, стр. 128—194.

**) Прежде, при разсчетѣ заклепочныхъ соединеній, обыкновенно пренебрегали величиною R и принимали во вниманіе только срѣзываніе заклепокъ. Принимали, что склепанные листы подвергаются только растяженію (или сжатію), и не вводили въ разсчетъ значительныхъ напряженій на изгибъ въ стержнѣ заклепки и въ склепываемыхъ листахъ. Примѣромъ такого разсчета можетъ служить двойной шовъ въ нахлестку (одиночное перерѣзываніе, черт. 286). По гипотезѣ Шведлера, принимаютъ, что на каждую заклепку приходится полоса листа, обхватывающая заклепку въ видѣ каната шириною $^1/_2\ b$ и толщиною s, и что стержень заклепки, получая напряженіе отъ сдвиженія k_s, передаетъ силу $= {}^1/_4\,\pi d^2 k_s$ на оба конца окружающей его полосы и вызываетъ въ ней напряженіе на растяженіе k_z, такъ что:

Черт. 286



$$\frac{\pi}{4} d^2 k_s = 2 \frac{b}{2} s k_z.$$

Принимая $k_s = k_z$, и что s отъ ржавчины можетъ уменьшиться приблизительно на 20%, получимъ:

$$b = \frac{5}{4} \cdot \frac{{}^1/_4\,\pi d^2}{s}; \text{ кромѣ того:}$$

$$t = b + d; \qquad t_1 = 2b + d; \qquad c = \sqrt{t^2 - ({}^1/_2\, t_1)^2}.$$

Предполагая возможность вырѣзанія края полосы, получимъ:

$${}^1/_4\,\pi d^2 k_s = 2 a s k'_s,$$

гдѣ k'_s (для желѣза) $= 0{,}8\ k_s$.

Отсюда

$$a = \frac{{}^1/_4\,\pi d^2}{1{,}6\, s}.$$

НТБ ДНУЗТ

Если усиліе, на которое разсчитано заклепочное соединеніе, возрастаетъ настолько, что сопротивленіе R скольженію листовъ будетъ превзойдено, то листы начинаютъ скользить другъ по другу, стержень заклепки прилегаетъ къ цилиндрической дырѣ, и при дальнѣйшей деформаціи дыры становятся продолговатыми по направленію дѣйствія вытягивающаго усилія, края дыръ обнаруживаютъ трещины, заклепки перерѣзаются и листы рвутся—все соединеніе разрушается.

1. Заклепочныя соединенія для паровыхъ котловъ.

Эти соединенія должны быть прочны и плотны. Плотность заклепочнаго шва при толщинѣ листовъ отъ 7 mm и больше достигается при помощи чеканки. Эта работа состоитъ въ прижиманіи скошенной для этой цѣли кромки листа (tg угла скоса $\sim 1/3$) при помощи инструмента—чеканки. Для совершенной плотности служитъ чеканка заклепочныхъ головокъ по ихъ окружности.

I. Заклепочные швы въ нахлестку.

Если d діаметръ заклепки въ cm, s толщина листа въ cm, то можно принимать:

$$d = \sqrt{5\,s} - 0{,}4 \text{ cm};$$

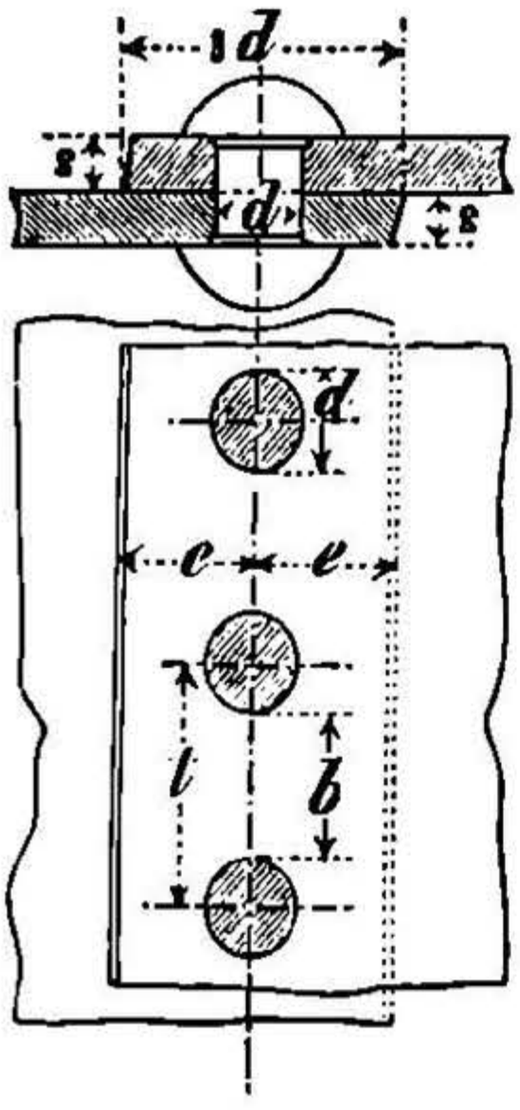
если	$s =$	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2 cm,
то	$d =$	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,6 cm.

1. Одиночный шовъ, одиночное перерѣзываніе (черт. 287).

Разстояніе между заклепками $t = 2\,d + 0{,}8$ cm.

Разстояніе средины дыры отъ края листа $e = 1{,}5\,d$.

Черт. 287.



Эти данныя годятся также и для шва съ одной накладкой.

Допускаемая нагрузка для заклепокъ въ работѣ можетъ, при хорошемъ матеріалѣ и хорошемъ исполненіи, составлять отъ 600 до 700 kg на 1 qcm сѣченія заклепки. Такимъ образомъ, наибол. напряженіе (въ kg/qcm) въ цѣломъ мѣстѣ желѣзнаго листа, предполагая равномѣрное распредѣленіе нагрузки, получимъ *):

$$\sigma_v = 700 . 1/4\,\pi d^2 : (st).$$

Если обозначить черезъ S силу, передаваемую на ширину t желѣзнаго листа, то для шва въ нахлестку, согласно Гамбургскихъ нормъ 1898 г. (см. отдѣлъ VII, паровые котлы), должно быть:

$$(t - d)s\,\frac{K_z}{4{,}5} \geqq S,$$

*) По формулѣ Гамбургскихъ нормъ 1898 г. для толщины s стѣнокъ паровыхъ котловъ, подверженныхъ внутреннему давленію (см. отд. VII), величина σ_v соотвѣтствуетъ напряженію K_z φ ⅀, а въ форм. II (стр. 422) k_z имѣетъ значеніе $= \sigma_v$ съ принятіемъ въ разсчетъ ослабленія въ заклепочномъ швѣ.

НТБ ДНУЗТ

т.-е. напряженіе отъ растяженія желѣзнаго листа ни въ коемъ случаѣ не должно быть больше $^1/_{4,5}$ временнаго сопротивленія разрыву K_z.

Опыты Баха *) дали для одиночнаго шва съ одиночнымъ перерѣзываніемъ, при $s = 1{,}2$ cm, $d = 1{,}95$ cm и діаметрѣ дыръ $= 2{,}05$ cm, слѣдующія величины **сопротивленія скольженію листовъ** R на 1 qcm сѣченія заклепки:

$R = 880$ kg, если желѣзные листы и головки заклепокъ не расчеканены,

$R = 1240$ kg, если листы съ обѣихъ сторонъ расчеканены, головки заклепокъ не расчеканены,

$R = 1330$ kg, если листы и головки заклепокъ расчеканены только съ одной стороны,

$R = 1570$ kg, если листы расчеканены съ обѣихъ сторонъ, а головки заклепокъ только съ одной,

$R = 1620$ kg, если листы и головки заклепокъ расчеканены съ обѣихъ сторонъ.

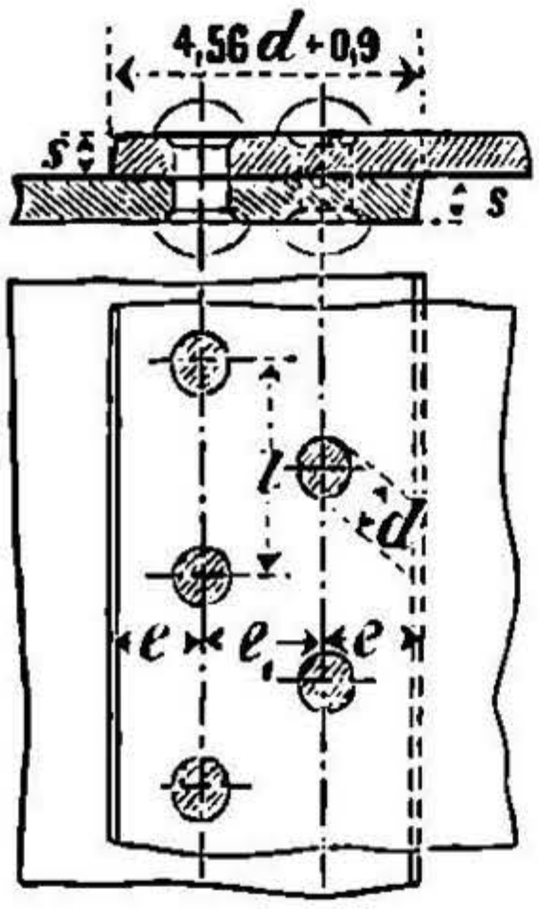
Примѣръ. Паровой котелъ внутренняго діаметра въ 120 cm, при давленіи 5,8 kg/qcm, долженъ имѣть одиночный шовъ.

По таблицѣ толщины желѣза для котловъ (см. отдѣлъ VII, Гамбургскія нормы 1898 г.) имѣемъ $s = 10$ mm. Для $s = 1{,}0$ cm имѣемъ: $d = 1{,}8$ cm, $t = 4{,}4$ cm и $\sigma_v = 348$ kg/qcm.

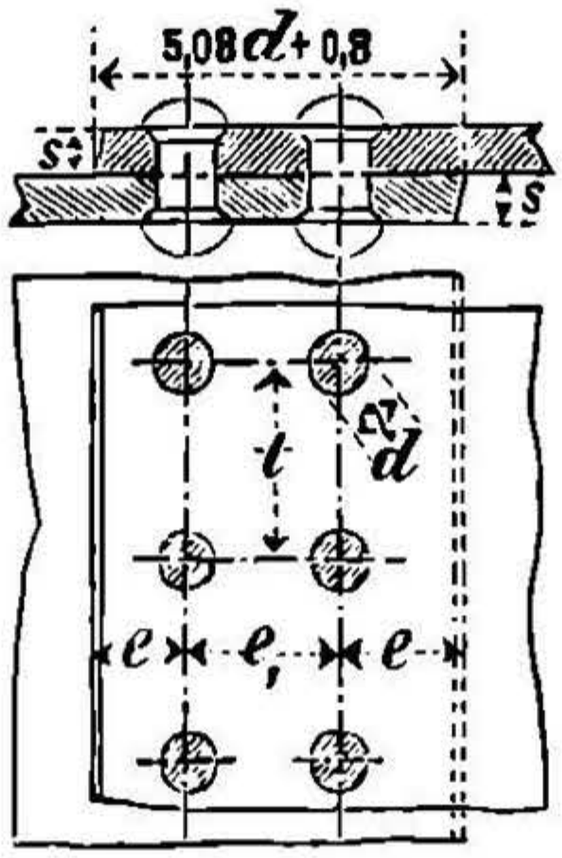
Провѣряя значеніе для s, получимъ:

$$120 \,.\, 5{,}8 = 348 \,.\, 2s, \text{ или } s = \frac{120}{2}\,\frac{5{,}8}{348} = 1{,}0 \text{ cm}.$$

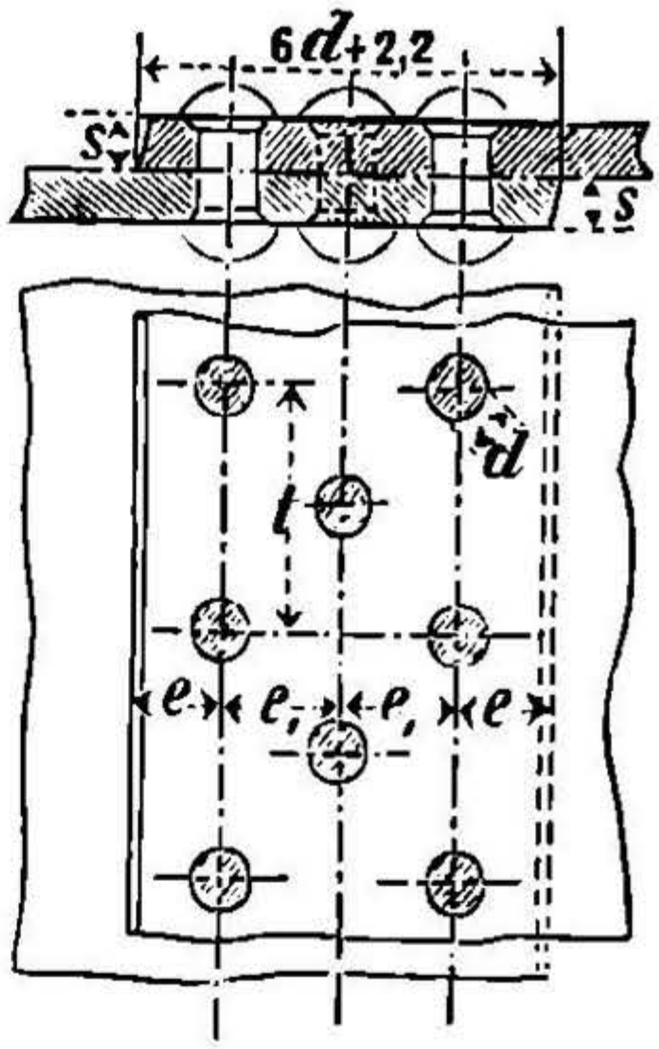
Черт. 288.



Черт. 289.



Черт. 290.



2. **Двойной шовъ (два ряда заклепокъ), одиночное перерѣзываніе** (черт. 288 и 289).

Діаметръ заклепокъ d и разстояніе отъ края листа e выбираются такъ же, какъ въ 1. Далѣе, для шахматнаго шва (черт. 288):

$$t = 2{,}6\ d + 1{,}5 \text{ cm}, \quad e_1 = 0{,}6\ t.$$

Для расположенія заклепокъ въ два ряда, но не въ шахматномъ порядкѣ (черт. 289):

$$t = 2{,}6\ d + 1{,}0 \text{ cm и } e_1 = 0{,}8\ t.$$

Въ обоихъ случаяхъ допускаемая нагрузка на заклепки при

*) Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 301 и слѣд.; тоже 1892, стр. 1142, 1305 и слѣд.; 1894, стр. 1231 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

работѣ котла не должна превышать 550 до 650 kg на 1 qcm сѣченія заклепки (см. 1.), такъ что:

$$\sigma_v \leqq 650 . {}^1/_4 \pi d^2 : ({}^1/_2 s t).$$

3. **Тройной шовъ, одиночное перерѣзываніе** (черт. 290, стр. 441). d и e какъ выше въ 1.

$$t = 3d + 2{,}2 \text{ cm}, \qquad e_1 = 0{,}5\, t;$$

$$\sigma_v = 500 . {}^1/_4 \pi d^2 : ({}^1/_3 s t) \text{ до } 600 . {}^1/_4 \pi d^2 : ({}^1/_3 s t).$$

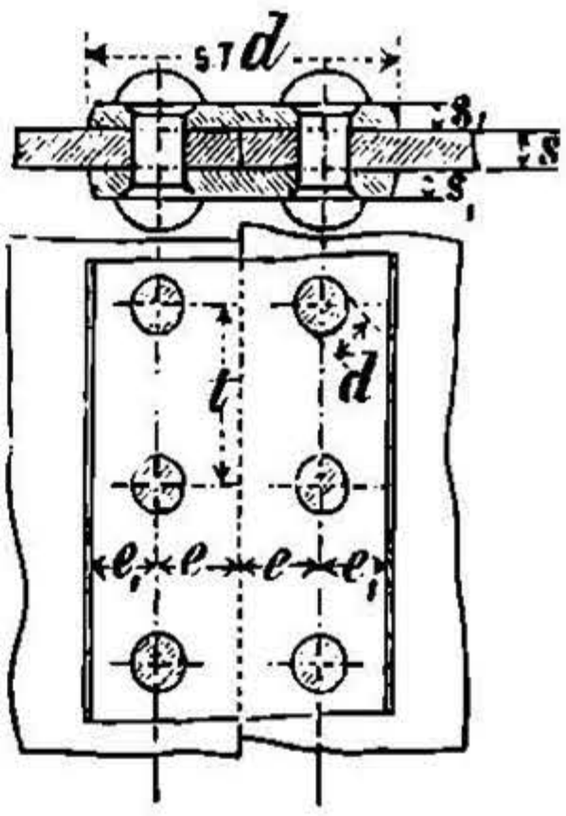
II. Заклепочныя соединенія съ двумя накладками.

1. **Одиночный шовъ, двойное перерѣзываніе** (черт. 291).

Толщина накладки $s_1 = {}^5/_8 s$ до ${}^2/_3 s$.

Внутреннюю накладку дѣлаютъ также нѣсколько толще, чѣмъ наружнюю, вслѣдствіе неодинаковаго износа.

Черт. 291.



Кромѣ того:

$$d = \sqrt{5 s} - 0{,}5 \text{ cm},$$

$$t = 2{,}6\, d + 1{,}0 \text{ cm}; \quad e = 1{,}5\, d; \quad e_1 = 0{,}9\, e.$$

Сопротивленіе скольженію въ этомъ случаѣ имѣетъ мѣсто въ двухъ парахъ плоскостей, поэтому допускаемая нагрузка заклепокъ при работѣ котла составляетъ до 1000 kg на 1 qcm поперечнаго сѣченія заклепки, такъ что (см. стр. 440):

$$\sigma_v = 1000 . {}^1/_4 \pi d^2 : (st) \text{ до } 1200 . {}^1/_4 \pi d^2 : (st).$$

Согласно Гамбургскихъ нормъ 1898 г., для шва съ двумя накладками имѣемъ:

$$(t - d) s \frac{K_z}{4} \geqq S \text{ (ср. стр. 440).}$$

Въ этомъ случаѣ допускаютъ напряженіе до ${}^1/_4$ (вмѣсто ${}^2/_9$) временнаго сопротивленія разрыву, потому что желѣзо по линіи дыръ защищено отъ ржавчины. Въ этомъ заключается существенное преимущество шва съ двумя накладками передъ швомъ въ нахлестку.

2. **Двойной шовъ, двойное перерѣзываніе** (черт. 292, стр. 443).

Можно принимать:

$$d = \sqrt{5 s} - 0{,}6 \text{ cm}; \qquad t = 3{,}5\, d + 1{,}5 \text{ cm};$$
$$e = 1{,}5\, d; \qquad e_1 = 0{,}5\, t;$$

разстояніе центра заклепки отъ края листа $= 0{,}9\, e$.

$s_1 = {}^5/_8 s$ до ${}^2/_3 s$; $\sigma_v = 950 . {}^1/_4 \pi d^2 : ({}^1/_2 s t)$ до $1150 . {}^1/_4 \pi d^2 : ({}^1/_2 s t)$.

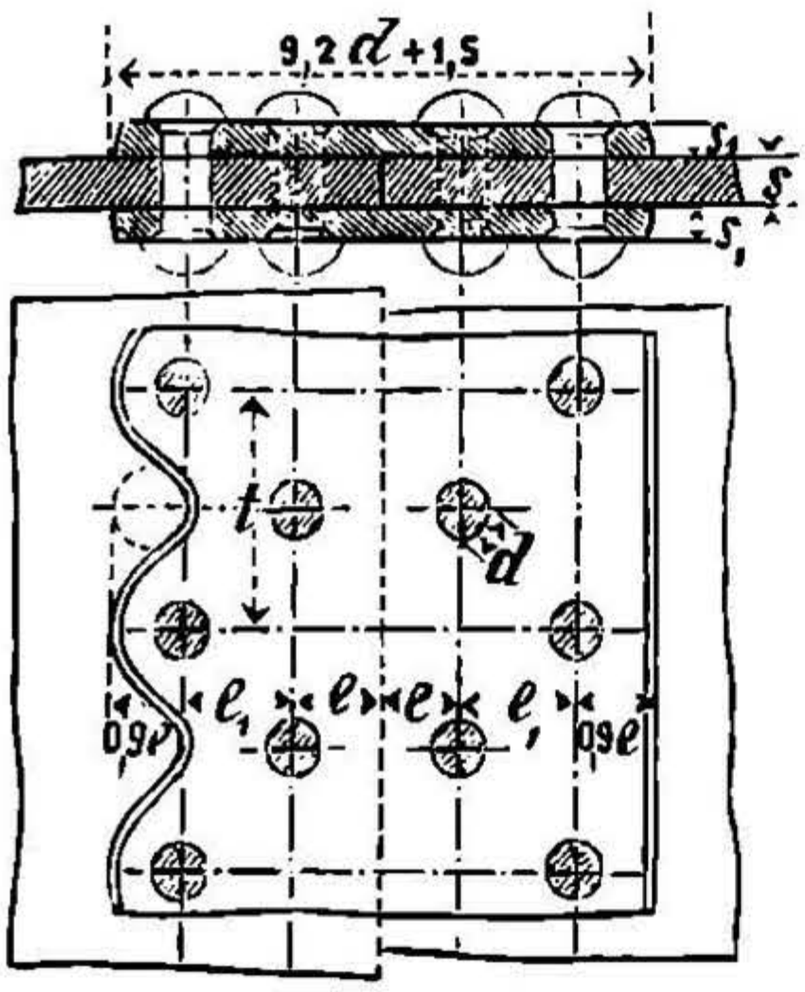
Примѣчаніе. Волнообразное очертаніе края накладки (на черт. 292 показано только слѣва) имѣетъ цѣлью уменьшить въ каждомъ мѣстѣ перекрытіе настолько, чтобы чеканка кромокъ давала болѣе плотное соединеніе. При достаточной толщинѣ накладокъ можно сохранить прямолинейное очертаніе ихъ.

3. **Тройной шовъ, двойное перерѣзываніе** (черт. 293, стр. 443).

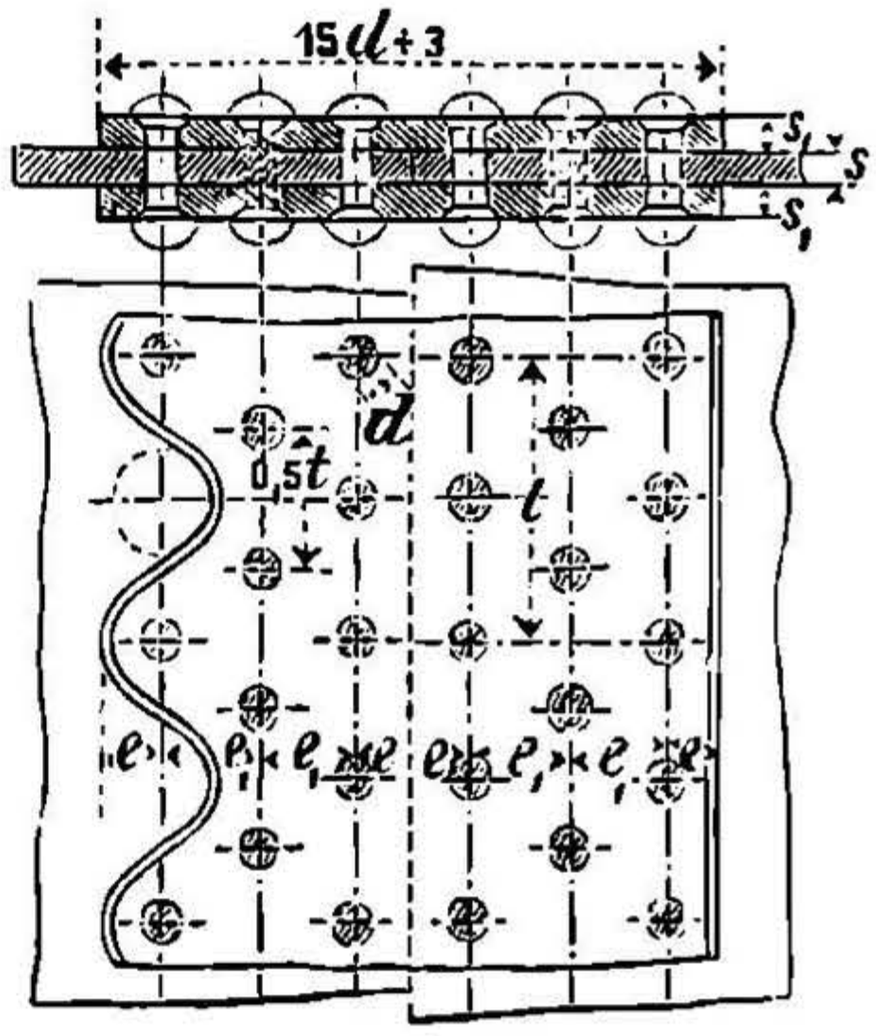
Можно принимать:

НТБ ДНУЗТ

Черт. 292.



Черт. 293.



$d = \sqrt{5\,s} - 0{,}7$ cm; $t = 6\,d + 2{,}0$ cm;
$e = 1{,}5\,d$; $e_1 = {}^3/_8\,t$; Толщина накладки $s_1 = 0{,}8\,s$;
$\sigma_v = 900\,.\,{}^1/_4\,\pi d^2 : (n s t)$, до $1100\,.\,{}^1/_4\,\pi d^2 : (n s t)$
гдѣ для лѣвой стороны черт. 293 $n = {}^1/_5$, для правой $n = {}^1/_6$.

III. Выборъ заклепочнаго шва.

При толщинѣ желѣза болѣе 1,2 cm одиночный шовъ въ нахлестку (стр. 440) примѣняется только для поперечныхъ швовъ котла.

При высокомъ давленіи пара и большомъ діаметрѣ котла, когда въ желѣзѣ и заклепкахъ получаются большія напряженія на изгибъ, слѣдуетъ по возможности избѣгать соединеній листовъ въ нахлестку.

Напряженіе σ'_v по направленію оси цилиндрическаго котла діаметромъ D, при рабочемъ давленіи p kg/qcm и при толщинѣ желѣза s cm, получимъ изъ уравненія ${}^1/_4\,\pi D^2 p = \pi D s \sigma'_v$, или

$$\sigma'_v = \frac{1}{4}\,\frac{D}{s}\,p.$$

Напряженіе σ_v, перпендикулярное къ σ_v', т.-е. по направленію окружности котла, получимъ изъ уравненія $Dp = 2 s \sigma_v$, откуда

$$\sigma = \frac{1}{2}\,\frac{D}{s}\,p,$$

т.-е. вдвое больше, чѣмъ σ'_v.

Вслѣдствіе этого котлы при двойномъ продольномъ швѣ получаютъ только одиночный поперечный шовъ, пока σ'_v не настолько велико, чтобы потребовался двойной поперечный шовъ.

При опредѣленіи напряженій въ котлѣ по направленію его оси не слѣдуетъ забывать, что горизонтальные котлы подвергаются болѣе или менѣе изгибу какъ балки, и что одностороннее нагрѣваніе котла можетъ увеличить напряженіе.

НТБ ДНУЗТ

Въ короткихъ котлахъ, а также въ сосудахъ, которые укрѣпляются черезъ небольшіе промежутки при помощи колецъ или какимъ-нибудь другимъ способомъ, σ_v меньше полученнаго выше. См. примѣчаніе во **2.**, стр. 422.

Наружнія цилиндрическія части котловъ, заваренныя въ нахлестку, могутъ при наивысшемъ рабочемъ давленіи пара быть напряжены до $^1/_7$ (max. до $^1/_6$) временнаго сопротивленія разрыву цѣльнаго листа, въ предположеніи, что желѣзо при сваркѣ не пострадало.

Относительно заклепочныхъ соединеній въ котлахъ см. также отдѣлъ VII, Машины-двигатели, въ „деталяхъ паровыхъ котловъ“.

2. Заклепочныя соединенія для сосудовъ, наполненныхъ жидкостью, газомъ и т. п.

Большею частью примѣняется одиночный шовъ въ нахлестку (см. стр. 440). Толщина желѣза s здѣсь опредѣляется въ зависимости отъ ржавленія и т. п., менѣе въ зависимости отъ внутренняго давленія. Можно принимать:

$$d = \sqrt{5\,s} - 0{,}4 \text{ cm};$$

Разстояніе между заклепками $t = 3\,d + 0{,}5$ cm.

Разстояніе заклепокъ отъ края листа $e = 0{,}5\,t$.

Заклепки діаметромъ 0,8 cm и менѣе обыкновенно ставятся на мѣсто и заклепываются холодными. Листы тоньше 0,5 cm не могутъ быть зачеканены; въ этомъ случаѣ въ швѣ между листами кладется прокладка—полоса холста или бумаги по шприцѣ шва, пропитанная сурикомъ.

3. Заклепочныя соединенія для различныхъ желѣзныхъ сооруженій.

Здѣсь можно принять размѣры, данные въ **1.**, стр. 440 и слѣд. Діаметръ заклепки обыкновенно выбирается:

$$d = \sqrt{5\,s} - 0{,}2 \text{ cm};$$

если s означаетъ толщину листа въ cm.

Употребительны заклепки діаметромъ въ 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 mm.

Для одиночнаго шва съ одиночнымъ перерѣзываніемъ, гдѣ на 1 qcm сѣченія заклепокъ передается сила въ 600 kg, имѣемъ разстояніе между заклепками:

$$t = \frac{^1/_4\,\pi\,d^2}{s} + d, \text{ при условіи } t \geqq 2{,}5\,d,$$

и разстояніе заклепокъ отъ края $e = 1{,}5$ до $2{,}0\,d$.

Швы о двухъ и болѣе рядахъ заклепокъ разсчитываются по Шведлеру (см. выноску, стр. 439). Если k_z допускаемое напряженіе матеріала заклепокъ на растяженіе (обыкновенно $k_z = 750$ kg на 1 qcm), то допускаемое напряженіе сдвига $k_s = 0{,}8\,k_z = 600$ kg на 1 qcm; и принимаютъ, что n заклепокъ при m-перерѣзываніи могутъ передавать силу

$$P \leqq 600 \,.\, ^1/_4\,\pi\,d^2\,m\,n.$$

НТБ ДНУЗТ

При швахъ съ двойнымъ, тройнымъ и т. д. перерѣзываніемъ слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы давленіе k между стѣнкой дыры и заклепкой не превышало допускаемаго. Можно для этого принимать: $k = 1{,}8\,k_z$ до $2{,}2\,k_z$ въ среднемъ $k = 2\,k_z$.

Слѣд., $$P \leqq k\,s_s\,d\,n,$$

если s_s обозначаетъ ту сумму толщинъ листовъ (въ cm), которая по обоимъ изъ двухъ направленій дѣйствія силъ выходитъ наименьшею. Необходимо принимать то число n, которое, будучи опредѣлено по двумъ послѣднимъ формуламъ, дастъ для n бо̀льшую величину.

Скрѣпляющія заклепки имѣютъ цѣлью соединить вмѣстѣ отдѣльныя составныя части сѣченія и не передаютъ никакихъ усилій. При сооруженіяхъ, подверженныхъ атмосфернымъ вліяніямъ, въ виду возможности проникновенія воды между соприкасающимися частями, разстояніе между этими заклепками не должно быть велико. Если соединяемыя части состоятъ изъ сѣченій, имѣющихъ достаточно большой моментъ инерціи (напр. два угольника, соприкасающіеся между собой или имѣющіе листы въ промежуткѣ), то разстояніе между скрѣпляющими заклепками должно быть не болѣе 8 d. При соединеніи листа или полосы съ угольникомъ принимаютъ, для толщины листа $s = 8$ до 11 mm, разстояніе между скрѣпляющими заклепками не болѣе $5\,d$, а при $s > 11$ mm, —не болѣе 6 d. Наибольшее разстояніе крайнихъ заклепокъ отъ края должно быть, при $s \leqq 14$ mm, не болѣе $2{,}5\,d$, а при $s > 14$ mm не болѣе $2{,}8\,d$ *).

Если склепываются полосы, которыя, передавая другъ-другу усилія, не соприкасаются между собой непосредственно, то число заклепокъ n должно быть соотвѣтственно увеличено. Всѣ части, подверженныя растяженію, должны ставиться на мѣсто съ нѣкоторымъ натяженіемъ.

Общая толщина всѣхъ склепываемыхъ частей должна составлять не болѣе $4\,d$ (лучше $2{,}5\,d$). При толщинѣ большей $5{,}5\,d$, осадка стержня заклепки (при постановкѣ на мѣсто) не происходитъ уже по всей его длинѣ; кромѣ того, при охлажденіи заклепки продольныя напряженія въ стержнѣ послѣдней могутъ увеличиться до того, что повлекутъ за собой отскакиваніе заклепочныхъ головокъ.

Если, тѣмъ не менѣе, длинныхъ заклепокъ избѣжать нельзя, то послѣднія нагрѣваются лишь настолько, насколько это необходимо для расклепки конца стержня въ головку и предохраненія листовъ отъ скольженія. Осаживаніе стержня близъ другой (готовой) головки не можетъ быть достигнуто при такихъ длинныхъ заклеп-

---

*) См. A. Meyerhof, Die Schwedlerbrücken zu Breslau, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, стр. 202 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

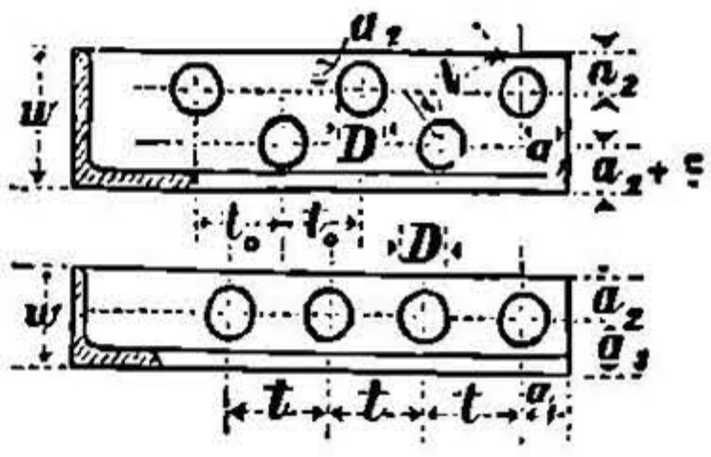
кахъ даже и въ томъ случаѣ, когда стержень былъ нагрѣтъ по всей его длинѣ.

Приводимые ниже размѣры рекомендуется примѣнять къ различнымъ профилямъ **углового** (и другихъ сортовъ) желѣза (черт. 294 и 295).

По черт. 294 только для углового желѣза съ $w \geqq 100$ mm.

Діаметръ заклепочной головки $D \sim 1{,}5\,d$ (ср. черт. 282, стр. 438).

Черт. 294.



Черт. 295.

Діаметръ заклепки.	D	t_{min}	t	t_{max}	$t_0 min$	$a_1 min$	a_1	$a_2 min$
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
$d = 16$	24	40	**50**	100—120	35	25	**30**	25
$d = 18$	27	45	**55**	110—135	40	27	**35**	27
$d = 20$	30	50	**60**	120—150	40	30	**40**	30
$d = 22$	33	55	**65**	130—165	45	33	**45**	33
$d = 24$	36	60	**70**	140—180	45	36	**50**	36
$d = 26$	39	65	**75**	150—195	50	40	**55**	40

$$a_3 = 0{,}5\,w + 5 \text{ mm}; \qquad w_{min} = 3\,d.$$

Склепываніе машинныхъ частей для передачи усилій съ постоянно измѣняющимся направленіемъ. Для полной надежности такого заклепочнаго соединенія необходимо, чтобы заклепки ставились на мѣсто холодными и притомъ такъ, чтобы стержень заклепки не только заполнилъ всю дыру, но и производилъ на стѣнки дыры извѣстное давленіе *).

Наибольшее передаваемое заклепкою усиліе P (въ kg) при этомъ опредѣляется (при $k_s = 320$ kg/qcm и $k = 400$ kg/qcm) изъ:

$$P \leqq 320 . {}^1/_4 \pi d^2 = 250\,d^2 = 400\,d\,s \,(d \text{ и } s \text{ въ cm}), \text{ откуда}$$

$$d = 1{,}6\,s,$$

или, при употребленіи горячихъ заклепокъ, число послѣднихъ должно быть опредѣлено съ такимъ разсчетомъ, чтобы наибольшее усиліе P, передаваемое одною заклепкою при швѣ съ одиночнымъ перерѣзываніемъ, не превосходило $k_z \leqq 200$ kg/qcm, а съ двойнымъ перерѣзываніемъ $k_z \leqq 350$ kg/qcm. Въ послѣднемъ случаѣ имѣетъ большое значеніе треніе въ соприкасающихся поверхностяхъ склепываемыхъ частей. Величину этого тренія стараются

*) Примѣръ исполненной холодной склепки ($d = 26$ mm) см. К. Бахъ, Maschinen-Elemente, 6 изд., стр. 164, 192 и слѣд., равно какъ и трудъ его „Turbinen und vertikale Wasserräder“, 1886, стр. 172 и табл. 10. Такъ какъ толстые листы при холодной клепкѣ не будутъ плотно прилегать другъ къ другу, то ихъ стягиваютъ нѣсколькими заклепками, поставленными въ горячемъ состояніи и распредѣленными равномѣрно по всему шву.

НТБ ДНУЗТ

увеличивать посредствомъ заклепочныхъ швовъ съ двойнымъ перерѣзываніемъ заклепокъ.

Если заклепочное соединеніе подвержено, кромѣ того, сотрясеніямъ и ударамъ, то показанныя нагрузки слѣдуетъ значительно уменьшать.

II. МАШИННЫЯ ЧАСТИ ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНАГО ДВИЖЕНІЯ.

A. Зубчатыя колеса.

a. Общіе законы зацѣпленія.

1. Общая нормаль въ точкѣ касанія профилей зубьевъ, т.-е. направленіе давленія зубцовъ другъ на друга дѣлитъ въ каждый данный моментъ зацѣпленія линію, соединяющую центры колесъ, въ обратномъ отношеніи угловыхъ скоростей ω_1 и ω_2 осей вращенія. (О величинѣ ω см. стр. 152 и слѣд.)

Обыкновенно $\omega_1 : \omega_2 =$ постоян. и только въ исключительныхъ случаяхъ ω_1 ω_2 мѣняется періодически (некруглыя колеса). Если

$$\omega_1 \quad \omega_2 = \text{постоянн.},$$

то направленіе давленія зубцовъ проходитъ черезъ постоянную точку прямой, соединяющей центры колесъ; отрѣзки этой прямой даютъ радіусы r_1 и r_2 двухъ окружностей, которыя во время движенія колесъ катятся другъ по другу безъ скольженія. Эти окружности служатъ для нанесенія разстоянія между зубьями и наз. **начальными окружностями**. Для некруглыхъ колесъ пользуются, вмѣсто начальныхъ окружностей, другими катящимися кривыми, форма которыхъ зависитъ отъ закона измѣненія передачи.

Шагомъ зацѣпленія t наз. разстояніе отъ средины до средины зубца, измѣренное по дугѣ начальной окружности. Слѣд., при z зубцахъ и радіусѣ начальной окружности r:

$$2\pi r = zt \ ^*).$$

(См. таблицу на стр. 448).

Если принять $t = m\pi$ (см. стр. 2 и слѣд.), то величина $r = \frac{z}{2}\left(\frac{t}{\pi}\right)$

---

*) **Примѣры къ таблицѣ стр. 448.**

1. Пусть дано: $r = 650$ mm и $z = 85$. Этому значенію z въ таблицѣ соотвѣтствуетъ $r : t = 13{,}528$, такъ что $t = 650 \quad 13{,}528 = 48{,}05$ mm.

2. Пусть дано: $t = 48$ mm и $z = 51$. Этому значенію z въ таблицѣ соотвѣтствуетъ $r : t = 8{,}117$, такъ что $r = 48 \,.\, 8{,}117 = 389{,}6 \backsim 390$ mm.

3. Пусть дано: $r = 850$ mm и $t = 40$ mm. Тогда $r \quad t = 850 : 40 = 21{,}25$. Къ этому числу въ таблицѣ ближе всего подходитъ 21,327; слѣд. $z = 134$. Точно r будетъ $40 \,.\, 21{,}327 = 853{,}1$ mm.

НТБ ДНУЗТ

Таблица значеній $\left(\frac{r}{t}\right) = \frac{z}{2\pi}$.

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,159	0,318	0,477	0,637	0,796	0,955	1,114	1,273	1,432
10	1,592	1,751	1,910	2,069	2,228	2,387	2,546	2,706	2,865	3,024
20	3,183	3,342	3,501	3,661	3,820	3,979	4,138	4,297	4,456	4,615
30	4,775	4,934	5,093	5,252	5,411	5,570	5,730	5,889	6,048	6,207
40	6,366	6,525	6,685	6,844	7,003	7,162	7,321	7,480	7,639	7,799
50	7,958	8,117	8,276	8,435	8,594	8,754	8,913	9,072	9,231	9,390
60	9,549	9,708	9,868	10,027	10,186	10,345	10,504	10,663	10,823	10,982
70	11,141	11,300	11,459	11,618	11,777	11,937	12,096	12,255	12,414	12,573
80	12,732	12,892	13,051	13,210	13,369	13,528	13,687	13,846	14,006	14,165
90	14,324	14,483	14,642	14,801	14,960	15,120	15,279	15,438	15,597	15,756
100	15,916	16,075	16,234	16,393	16,552	16,711	16,870	17,030	17,189	17,348
110	17,507	17,666	17,825	17,985	18,144	18,303	18,462	18,621	18,780	18,939
120	19,099	19,258	19,417	19,576	19,735	19,894	20,053	20,213	20,372	20,531
130	20,690	20,849	21,008	21,168	21,327	21,486	21,645	21,804	21,963	22,122
140	22,282	22,441	22,600	22,759	22,918	23,077	23,237	23,396	23,555	23,714
150	23,873	24,032	24,192	24,351	24,510	24,669	24,828	24,987	25,146	25,306
160	25,465	25,624	25,783	25,942	26,101	26,261	26,420	26,579	26,738	26,897
170	27,056	27,216	27,375	27,534	27,693	27,852	28,011	28,170	28,330	28,489
180	28,648	28,807	28,966	29,125	29,285	29,444	29,603	29,762	29,921	30,080
190	30,239	30,399	30,558	30,717	30,876	31,035	31,194	31,354	31,513	31,672
200	31,831	31,990	32,149	32,308	32,468	32,627	32,786	32,945	33,104	33,263
210	33,423	33,582	33,741	33,900	34,059	34,218	34,377	34,537	34,696	34,855
220	35,014	35,173	35,332	35,492	35,651	35,810	35,969	36,128	36,287	36,446
230	36,606	36,765	36,924	37,083	37,242	37,401	37,560	37,720	37,879	38,038
240	38,197	38,356	38,515	38,675	38,834	38,993	39,152	39,311	39,470	39,629
250	39,789	39,948	40,107	40,266	40,425	40,585	40,744	40,903	41,062	41,221
260	41,380	41,539	41,699	41,858	42,017	42,176	42,335	42,494	42,654	42,813
270	42,972	43,131	43,290	43,449	43,608	43,768	43,927	44,086	44,245	44,404
280	44,563	44,722	44,882	45,041	45,200	45,359	45,518	45,677	45,837	45,996
290	46,155	46,314	46,473	46,632	46,792	46,951	47,110	47,269	47,428	47,587
300	47,747	47,906	48,065	48,224	48,383	48,542	48,701	48,861	49,020	49,179
310	49,338	49,497	49,656	49,816	49,975	50,134	50,293	50,452	50,611	50,770
320	50,930	51,089	51,248	51,407	51,566	51,725	51,885	52,044	52,203	52,362
330	52,521	52,680	52,839	52,999	53,158	53,317	53,476	53,635	53,794	53,954
340	54,113	54,272	54,431	54,590	54,749	54,908	55,068	55,227	55,386	55,545
350	55,704	55,864	56,023	56,182	56,341	56,500	56,659	56,818	56,978	57,137
360	57,296	57,455	57,614	57,773	57,932	58,092	58,251	58,410	58,569	58,728
370	58,887	59,047	59,206	59,365	59,524	59,683	59,842	60,001	60,161	60,320
380	60,479	60,638	60,797	60,956	61,115	61,275	61,434	61,593	61,752	61,911
390	62,070	62,230	62,389	62,548	62,707	62,866	63,025	63,185	63,344	63,503

НТБ ДНУЗТ

дастъ всегда раціональную и удобную величину для радіуса r начальной окружности. Имѣемъ $2r = zm$. Величину m называютъ модулемъ дѣленія (см. табл. на стр. 466 и 467).

Шагъ зацѣпленія t составляется изъ толщины зубца и величины промежутка. Для необдѣланныхъ колесъ:

толщина зубца $s = \frac{19}{40} t$, **промежутокъ** $= \frac{21}{40} t$,

причемъ игра зубца въ промежуткѣ $= {}^1/_{20}\, t$. Величина эта у обдѣланныхъ колесъ можетъ быть уменьшена на половину или до нуля, такъ что толщина зубца $s = {}^{39}/_{80}\, t$, или $s = {}^1/_2\, t$.

Сцѣпляющіяся колеса должны имѣть одинаковый шагъ зацѣпленія, такъ что:

$$r_1 : r_2 = z_1 : z_2.$$

Передаточное число φ двухъ сцѣпляющихся колесъ:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{\text{число зубьевъ ведущаго колеса}}{\text{число зубьевъ ведомаго колеса}};$$

если n_1 и n_2 обозначаютъ числа оборотовъ ихъ въ минуту и ω_1 и ω_2 ихъ угловыя скорости:

$$\varphi = r_1 : r_2 = z_1 : z_2 = n_2 : n_1 = \omega_2 : \omega_1.$$

Форма профили зубца и величина начальной окружности опредѣляютъ геометрическое мѣсто точекъ прикосновенія зубцовъ — такъ называемую **линію зацѣпленія**. Наоборотъ, линія зацѣпленія и начальная окружность опредѣляютъ форму зубцовъ, когда, кромѣ того, даны соотвѣтствующія другъ-другу точки линіи зацѣпленія и начальной окружности.

Линія зацѣпленія проходитъ всегда черезъ общую точку касанія начальныхъ окружностей.

При проектированіи опредѣляютъ **форму зубца**, принимая извѣстную форму линіи зацѣпленія, на основаніи которой напередъ опредѣляется величина и направленіе давленія зубцовъ, равно и продолжительность и глубина зацѣпленія. Линія зацѣпленія и шагъ зацѣпленія служатъ основаніемъ для проектированія **пары колесъ**.

Наиболѣе простыя формы линіи зацѣпленія: прямая и окружность. Обѣ ведутъ къ цикліческимъ профилямъ зубьевъ.

2. Цилиндрическія колеса съ зацѣпленіемъ по дугѣ круга.

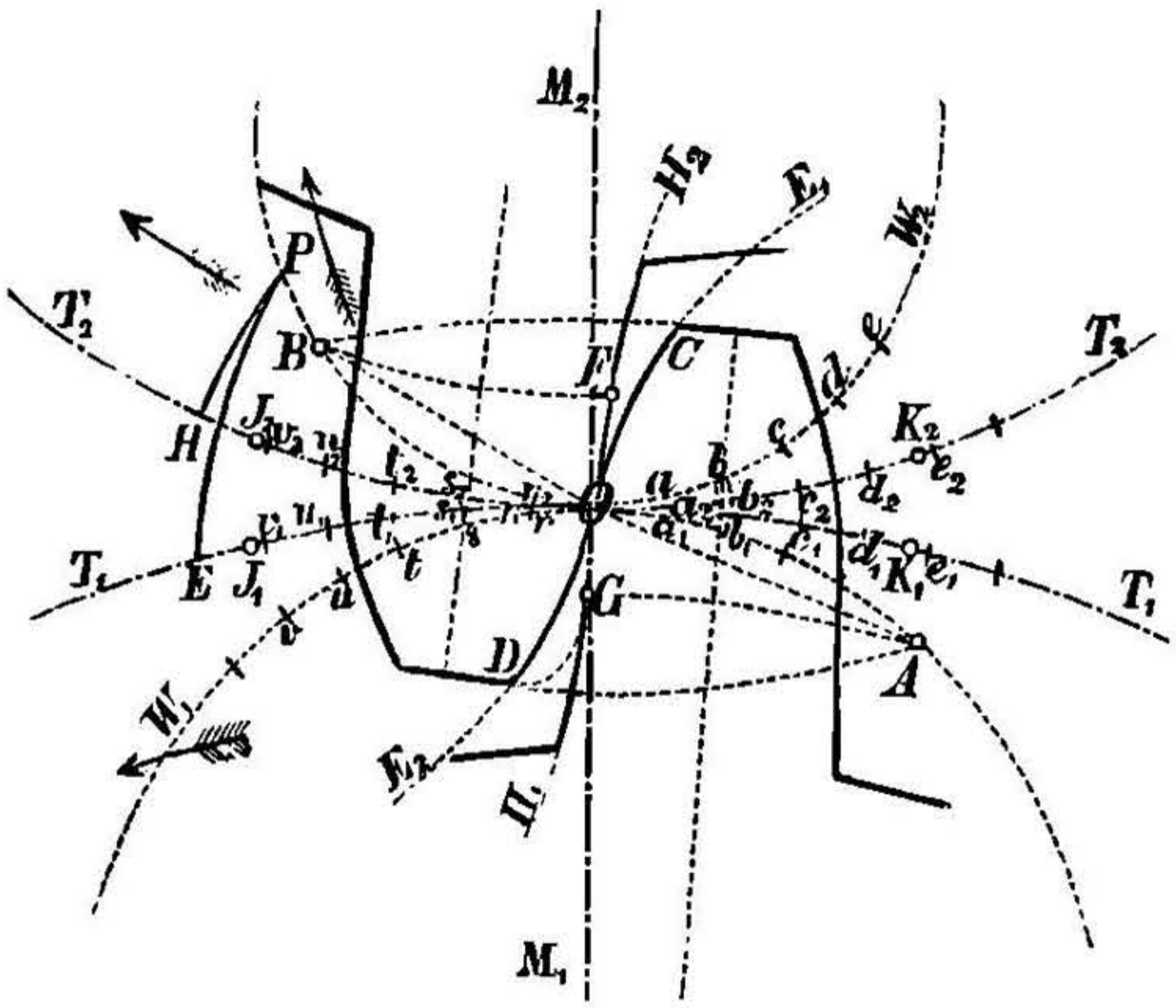
(Циклоидальное зацѣпленіе).

1. Опредѣленіе профили зубцовъ посредствомъ линіи зацѣпленія.

T_1 и T_2 данныя начальныя окружности, W_1 и W_2 выбранныя окружности катанія, которыя, какъ линіи зацѣпленія, служатъ для очертанія циклической формы зубьевъ (черт. 296).

НТБ ДНУЗТ

Черт. 296.



Относительный путь точки O, передвигающейся по линіи зацѣпленія W_2 отъ O къ P, при одновременномъ катаніи другъ по другу начальныхъ окружностей, даетъ профиль зубца. Если выбрать скорость точки O по своему пути (линіи зацѣпленія) равною скорости на окружности начальныхъ круговъ, то профиль зубца получится, если одновременно катать другъ по другу всѣ три окружности, не измѣняя положенія ихъ центровъ. При этомъ для части линіи зацѣпленія OP и дуги начальной окружности $OE = OH$ получается эпициклоида EP и гипоциклоида HP.

Правильно работающія циклоидальныя профили зубьевъ получаются, если выбранный, какъ линія зацѣпленія, кругъ катанія катить вь одномъ и томъ же направленіи по обѣимъ начальнымъ окружностямъ.

Форма зубцовъ опредѣлится, если радіусами aO, bO, cO.. изъ точекъ a_1, b_1, c_1. и a_2, b_2, c_2. ., находящихся на кругахъ T_1 и T_2, описывать дуги круговъ; для этихъ дугъ будутъ служить обертывающими эпициклоида OE_1 и гипоциклоида OH_2, если только ab, bc. выбрать достаточно малыми (см. стр. 113).

Если то же построеніе для круга зацѣпленія W_1 сдѣлать по другую сторону линіи, соединяющей центры колесъ, для точекъ r, s, t..., совпадающихъ съ r_1, s_1, t_1... и r_2, s_2, t_2..., то получимъ продолженіе профилей зубьевъ по эпициклоидѣ OE_2 и гипоциклоидѣ OH_1.

Если линія зацѣпленія состоитъ изъ двухъ вѣтвей W_1 и W_2, то для того, чтобы въ общей точкѣ прикосновенія O вѣрно построить профили зубьевъ, необходимо катить по соотвѣтствующимъ начальнымъ окружностямъ вѣтвь W_2 вправо, а W_1—влѣво; тогда будетъ

НТБ ДНУЗТ

достигнуто правильное соединеніе обѣихъ циклоидальныхъ дугъ для каждаго зуба въ общей точкѣ соприкосновенія начальныхъ окружностей.

Прикосновеніе профилей по обѣ стороны линіи центровъ даетъ лучшее зацѣпленіе, чѣмъ въ случаѣ прикосновенія зубца лишь съ одной стороны этой линіи, такъ какъ, при одинаковой длинѣ дуги зацѣпленія, направленія давленій зубцовъ въ первомъ случаѣ менѣе удаляются отъ общей касательной къ начальнымъ окружностямъ, гдѣ давленіе это наименьшее.

По высотѣ зубецъ ограничивается **окружностью** въ разстояніи $0{,}3\,t$, а въ основаніи также **окружностью**, удаленною на $0{,}4\,t$ отъ начальной окружности (см. стр. 462). Откладывая толщину зубца и построенную по-предыдущему форму профили, найдемъ полное очертаніе зубца.

Окружности, ограничивающія головки зубцовъ, отрѣзаютъ отъ круговъ зацѣпленія длину $A\,O\,B$, такъ называемой **дуги зацѣпленія**. Эта длина соотвѣтствуетъ равной ей длинѣ дуги зацѣпленія $J_1\,O\,K_1$ и $J_2\,O\,K_2$ на начальныхъ окружностяхъ и должна быть больше t. Отношеніе $\dfrac{\text{дуги зацѣпленія}}{\text{къ шагу зацѣпленія}} = \tau =$ **продолжительности зацѣпленія**; это отношеніе $\tau > 1$, если высота зубца $0{,}7\,t$. У колесъ съ малымъ числомъ зубцовъ, отъ 3 до 5, высота зубца опредѣляется по дугѣ зацѣпленія.

2. Треніе зубцовъ *).

Выступы зубцовъ зацѣпляются по всей своей высотѣ, впадины же зубцовъ зацѣпляются лишь на длинѣ $O\,G$ и $O\,F$. Для опредѣленія точекъ G и F служатъ дуги круговъ, проведенныя изъ центровъ соотвѣтственныхъ колесъ черезъ точки A и B.

Если P означаетъ среднее давленіе зубцовъ, крайнія положенія котораго совпадаютъ съ $O\,A$ и $O\,B$, μ—коэффиціентъ тренія, то потеря отъ скользящаго тренія выражается въ частяхъ полезной работы:

$$\mathfrak{V} = \mu \frac{(O\,D - O\,G + O\,C - O\,F)\,P}{(O\,A + O\,B)\,P}.$$

Здѣсь предполагается форма зубца извѣстной. Для предварительныхъ разсчетовъ $\mathfrak{V}$ достаточно примѣнять способъ, указанный на стр. 232 и слѣд.

3. Выборъ кривизны линіи зацѣпленія.

При увеличеніи діаметра катящихся круговъ, увеличивается длина дуги зацѣпленія и уменьшается P; съ другой стороны, уменьшается зацѣпляющаяся часть впадины зубца, при одновременномъ увеличеніи пути тренія. Наиболѣе благопріятныя соотношенія въ каждомъ частномъ случаѣ получаются изъ сравненія помощью

*) См. также M. Kohn, Zahnreibung, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 1114: далѣе J. Goebel, Die Reibung der Zahnräder, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, стр. 459.

НТБ ДНУЗТ

пробнаго построенія; вообще же—если выбрать діаметръ катящагося круга нѣсколько меньшимъ радіуса соотвѣтственной начальной окружности. Кромѣ того, при одномъ и томъ же шагѣ зацѣпленія, большія начальныя окружности, т.-е. большее число зубцовъ, даютъ болѣе выгодныя зацѣпленія, чѣмъ малыя начальныя окружности.

Увеличеніе діаметра катящагося круга до величины радіуса начальной окружности даетъ для впадины зубца форму прямой, направленной по радіусу. При дальнѣйшемъ увеличеніи діаметра катящейся окружности получается выпуклая форма профили основанія зубца, причемъ толщина основанія зубца уменьшается, приближаясь къ нулю, по мѣрѣ приближенія діаметра катящагося круга къ діаметру начальной окружности. Слѣдуетъ избѣгать увеличенія діаметра катящагося круга больше, чѣмъ до половины діаметра начальной окружности, даже при небольшихъ ручныхъ передачахъ.

Колеса съ одинаковымъ шагомъ зацѣпленія, у которыхъ обѣ вѣтви линіи зацѣпленія представляютъ круги между собой равные и одинаковаго діаметра для различнаго числа зубцовъ, называются **комплектными колесами**; каждое такое колесо можетъ всегда работать съ другимъ колесомъ изъ того же комплекта, такъ какъ ихъ линіи зацѣпленія между собой совпадаютъ.

Вслѣдствіе зависимости кривизны выбранной линіи зацѣпленія отъ діаметра наименьшаго колеса въ комплектѣ, для большихъ колесъ получаются весьма невыгодныя условія зацѣпленія, почему комплектныя колеса не могутъ получить всеобщаго примѣненія.

Для комплектныхъ колесъ обыкновенно принимаютъ радіусъ катящагося круга

$$=0{,}875\ t=2{,}75\ \frac{t}{\pi}.$$

При этомъ профиль основанія зубца для $z=11$ будетъ ограничена прямой; при <11 основаніе зубца тоньше; зацѣпленіе это (для комплектныхъ колесъ) годно до $z=7$; $\tau=1{,}22$ до $1{,}60$.

Зубчатыя колеса для приводовъ проектируются всегда **какъ парныя колеса**, и для спокойнаго хода продолжительность зацѣпленія должна быть $\tau \geqq 2$, а соотвѣтственно этому и большое число зубьевъ, смотря по обстоятельствамъ, $z=24$ до 36. Для колесъ ручныхъ передачъ принимаютъ 10 зубцовъ за самый низкій предѣлъ, а для передачъ съ зубчатой рейкой принимаютъ даже $z=4$ при продолжительности зацѣпленія $\tau=1{,}2$.

4. **Искусственное построеніе профили промежутка.** Профиль промежутка опредѣляется въ зависимости отъ пути, описываемаго крайней точкой зубца; путь этотъ есть обертывающая дугъ круга, описанныхъ радіусами OD, r_2D, s_2D, $t_2D\ldots$ изъ O, r_1, s_1, $t_1\ldots$ (черт. 296, стр. 450). Измѣняя положеніе осей, можно постепенно очертаніе профили промежутка приблизить къ профили головки зубца; отъ этого зазоръ увеличивается въ глубину промежутка. У G искусственная профиль переходитъ въ первоначальную профиль зубца.

НТБ ДНУЗТ

пробнаго построенія; вообще же—если выбрать діаметръ катящагося круга нѣсколько меньшимъ радіуса соотвѣтственной начальной окружности. Кромѣ того, при одномъ и томъ же шагѣ зацѣпленія, большія начальныя окружности, т.-е. большее число зубцовъ, даютъ болѣе выгодныя зацѣпленія, чѣмъ малыя начальныя окружности.

Увеличеніе діаметра катящагося круга до величины радіуса начальной окружности даетъ для впадины зубца форму прямой, направленной по радіусу. При дальнѣйшемъ увеличеніи діаметра катящейся окружности получается выпуклая форма профили основанія зубца, причемъ толщина основанія зубца уменьшается, приближаясь къ нулю, по мѣрѣ приближенія діаметра катящагося круга къ діаметру начальной окружности. Слѣдуетъ избѣгать увеличенія діаметра катящагося круга больше, чѣмъ до половины діаметра начальной окружности, даже при небольшихъ ручныхъ передачахъ.

Колеса съ одинаковымъ шагомъ зацѣпленія, у которыхъ обѣ вѣтви линіи зацѣпленія представляютъ круги между собой равные и одинаковаго діаметра для различнаго числа зубцовъ, называются **комплектными колесами**; каждое такое колесо можетъ всегда работать съ другимъ колесомъ изъ того же комплекта, такъ какъ ихъ линіи зацѣпленія между собой совпадаютъ.

Вслѣдствіе зависимости кривизны выбранной линіи зацѣпленія отъ діаметра наименьшаго колеса въ комплектѣ, для большихъ колесъ получаются весьма невыгодныя условія зацѣпленія, почему комплектныя колеса не могутъ получить всеобщаго примѣненія.

Для комплектныхъ колесъ обыкновенно принимаютъ радіусъ катящагося круга

$$=0{,}875\ t=2{,}75\ \frac{t}{\pi}.$$

При этомъ профиль основанія зубца для $z=11$ будетъ ограничена прямой; при <11 основаніе зубца тоньше; зацѣпленіе это (для комплектныхъ колесъ) годно до $z=7$; $\tau=1{,}22$ до $1{,}60$.

Зубчатыя колеса для приводовъ проектируются всегда **какъ парныя колеса**, и для спокойнаго хода продолжительность зацѣпленія должна быть $\tau \geqq 2$, а соотвѣтственно этому и большое число зубьевъ, смотря по обстоятельствамъ, $z=24$ до 36. Для колесъ ручныхъ передачъ принимаютъ 10 зубцовъ за самый низкій предѣлъ, а для передачъ съ зубчатой рейкой принимаютъ даже $z=4$ при продолжительности зацѣпленія $\tau=1{,}2$.

4. **Искусственное построеніе профили промежутка.** Профиль промежутка опредѣляется въ зависимости отъ пути, описываемаго крайней точкой зубца; путь этотъ есть обертывающая дугъ круга, описанныхъ радіусами OD, r_2D, s_2D, $t_2D\ldots$ изъ O, r_1, s_1, $t_1\ldots$ (черт. 296, стр. 450). Измѣняя положеніе осей, можно постепенно очертаніе профили промежутка приблизить къ профили головки зубца; отъ этого зазоръ увеличивается въ глубину промежутка. У G искусственная профиль переходитъ въ первоначальную профиль зубца.

НТБ ДНУЗТ

невыгодной передачи давленія и сильнаго износа, зацѣпленіе это употребляется только въ исключительныхъ случаяхъ.

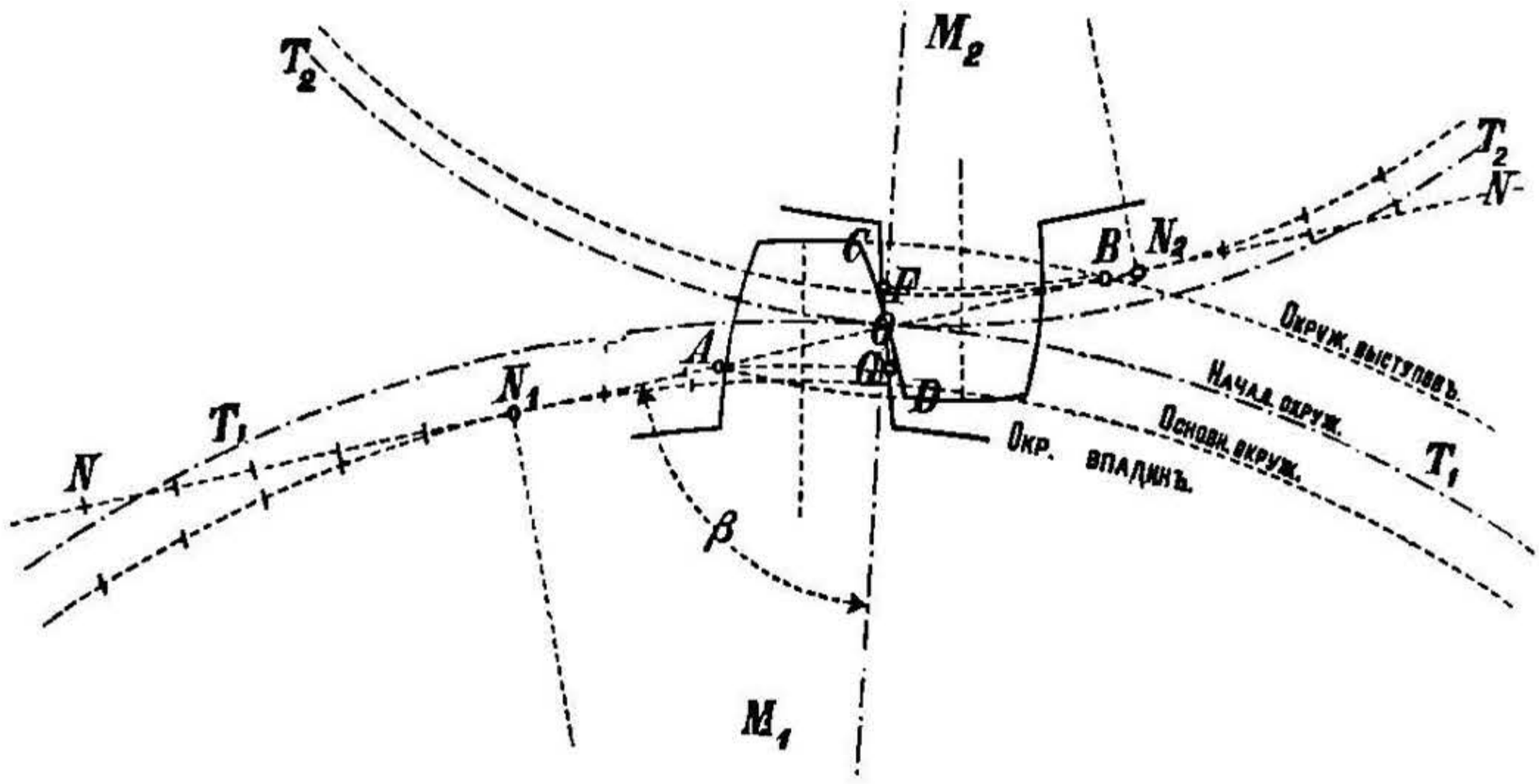
У всѣхъ циклоидальныхъ колесъ формы зубцовъ должны быть исполнены по шаблонамъ.

3. Цилиндрическія колеса съ прямою линіей зацѣпленія.

(Зацѣпленіе развертками).

1. T_1 и T_2 данныя начальныя окружности, прямая $N\,O\,N$ выбранная линія зацѣпленія (черт. 299).

Черт. 299.



Опускаемъ изъ центровъ колесъ перпендикуляры на $N\,N$ и описываемъ радіусами, равными длинѣ этихъ перпендикуляровъ, окружности, касательныя къ $N\,N$ въ точкахъ N_1 и N_2,—такъ называемыя **основныя окружности**. Окружности эти движутся вмѣстѣ съ колесами съ одинаковою угловою скоростью. Если точку касанія передвигать по линіи зацѣпленія съ той же скоростью, то она будетъ двигаться, какъ точка касательной, которая свивается съ одного основного круга и навивается на другой. Профиль зубца строится по эвольвентѣ (разверткѣ), см. стр. 115. Отъ точекъ N_1 и N_2 по линіи $N\,N$ и основнымъ окружностямъ откладываемъ равныя дѣленія. Точки дѣленія на основныхъ окружностяхъ даютъ центры для обертывающихъ дугъ, а разстоянія отъ O до соотвѣтствующихъ точекъ дѣленій на прямой $N\,N$ даютъ соотвѣтственные радіусы этихъ дугъ. Окружности выступовъ и впадинъ зубца проводятся въ разстояніяхъ $0{,}3\,t$ и $0{,}4\,t$ отъ начальныхъ окружностей. Если кругъ впадинъ зубцовъ находится внутри основной окружности, то эвольвенты продолжаются до основанія зубца по радіусамъ (для $\beta = 75^0$, когда $z < 74$).

Длина дуги зацѣпленія опредѣляется пересѣченіемъ прямой $N\,N$ съ дугами $A\,D$ и $B\,C$.

НТБ ДНУЗТ

Опредѣленіе толщины зубца, длины той части OF и OG впадины зубца, на которой происходитъ зацѣпленіе, равно какъ опредѣленіе тренія зубцовъ, производится, какъ и въ циклоидальномъ зацѣпленіи.

$$\text{Продолжит. зацѣплен. } \tau = \frac{\text{длинѣ дуги зацѣпл.} \times \text{рад. нач. окр.}}{\text{радіусъ осн. окружн.} \times \text{шагъ зацѣп.}} > 1.$$

Изъ построенія профили зубца слѣдуетъ:

1) Часть линіи зацѣпленія, употребляемая для зацѣпленія, должна находиться между N_1 и N_2, ибо, если зацѣпленіе произойдетъ на длинѣ большей $N_1 N_2$, то новыя вѣтви развертки круга, исходящія изъ N_1 и N_2 и опредѣляющія очертанія зубца, войдутъ въ сосѣдніе промежутки, и, такимъ образомъ, изготовленіе колесъ будетъ невозможно.

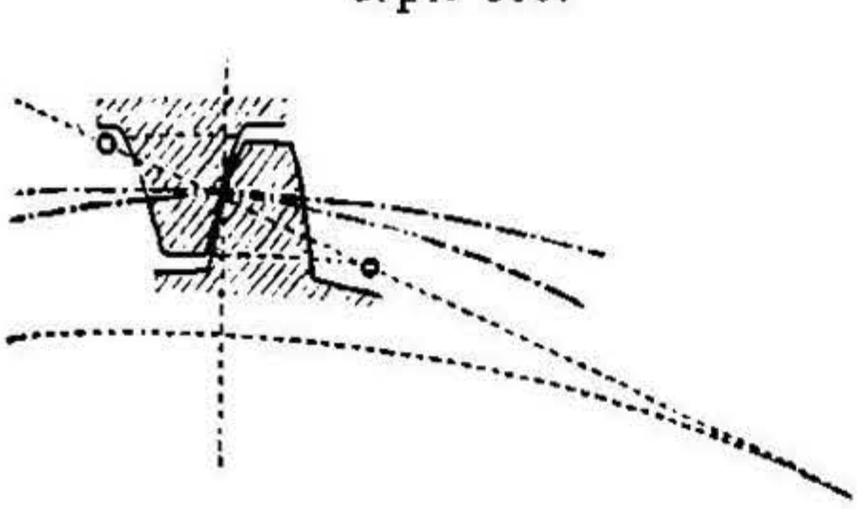
   Если при проектированіи колесъ явится случай, подобный предыдущему, то продолжительность зацѣпленія должна быть уменьшена; а если это невозможно, то надо уменьшить уголъ β. Съ этимъ неизбѣжно связано ухудшеніе качествъ зацѣпленія и увеличеніе предѣла для наименьшаго допускаемаго числа зубцовъ.

3) Уголъ β всегда $< 90^0$, ибо при $\beta = 90^0$ имѣемъ $N_1 N_2 = 0$. Обыкновенно принимается $\beta = 75^0 (= 45^0 + 30^0)$. Тогда $z_{\min} = 14$ и $\tau = 1$ до 2,5.

4) Зацѣпленіе никогда не переходитъ за предѣлы производящаго (основного) круга, и потому радіальное увеличеніе впадинъ зубца во внутрь основного круга не оказываетъ на правильность зацѣпленія никакого вліянія.

5) Увеличеніе разстоянія между осями колесъ измѣняетъ только направленіе линіи зацѣпленія и уменьшаетъ продолжительность зацѣпленія, не оказывая вліянія на очертаніе развертки (т.-е. на форму зубцовъ) и на шагъ зацѣпленія; поэтому колеса съ зацѣпленіемъ по развертkѣ круга даютъ возможность увеличивать разстояніе между осями, пока продолжительность зацѣпленія τ будетъ оставаться > 1.

Черт. 300.



2. **Колеса съ внутреннимъ зацѣпленіемъ** проектируются по вышеизложенному, причемъ поверхность боковъ зубца дѣлается вогнутой (черт. 300).

3. Въ **зубчатыхъ рейкахъ** начальный и основной круги будутъ безконечно большого діаметра, а потому и кривизна развертокъ безконечно велика, т.-е. профили зубцовъ очерчены по прямымъ линіямъ, перпендикулярнымъ къ выбранной линіи зацѣпленія.

НТБ ДНУЗТ

4. Выборъ между циклоидальнымъ зацѣпленіемъ и зацѣпленіемъ по развертк̀ круга.

Зацѣпленія по развертк̀ круга (комплектныя колеса только при $z > 30$) даютъ болѣе простую форму зубцовъ и возможность при новыхъ колесахъ увеличивать разстояніе между осями (см. стр. 455, 5), что весьма важно для паровозовъ съ зубчатыми колесами, колесъ прокатныхъ валковъ, смѣнныхъ колесъ токарныхъ станковъ и т. д.

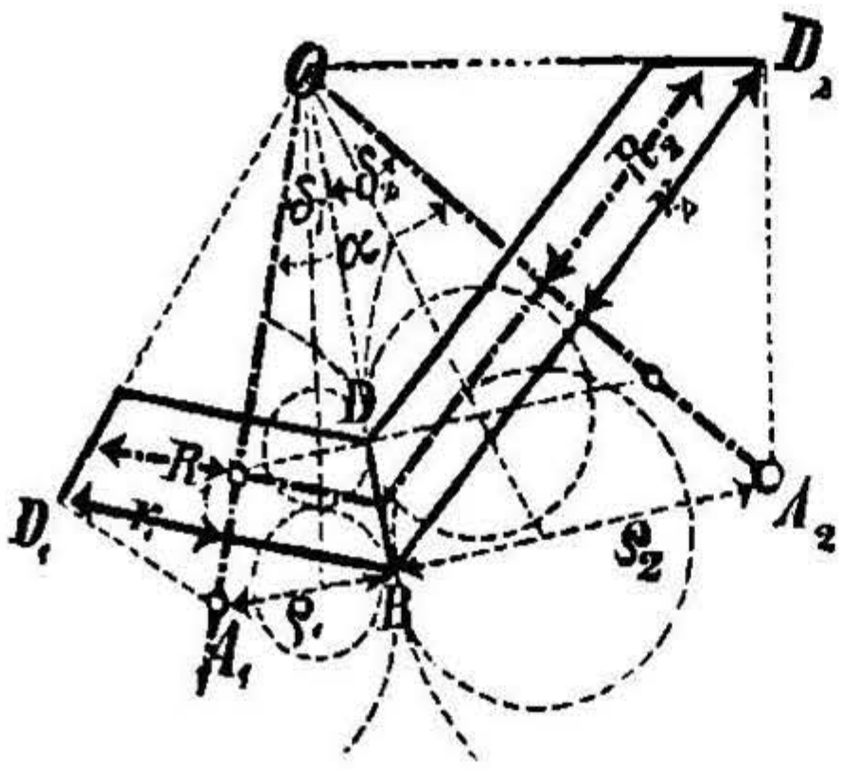
Но въ этихъ колесахъ, при одинаковыхъ условіяхъ, давленіе (на единицу площади) между зубцами значительно больше (около $50^0/_0$), чѣмъ въ колесахъ съ циклоидальнымъ зацѣпленіемъ, ибо въ первомъ случаѣ соприкасается выпуклая поверхность съ выпуклой же, тогда какъ въ **циклоидальномъ зацѣпленіи** происходитъ соприкосновеніе вогнутой поверхности съ выпуклой. Вслѣдствіе этого, колеса съ зацѣпленіемъ по развертк̀ изнашиваются скорѣе, и послѣ продолжительной работы первоначальное очертаніе зубцовъ по развертк̀ совершенно пропадаетъ.

4. Коническія колеса.

Коническія колеса, работающія вмѣстѣ, должны имѣть общую производящую касанія и вершины обоихъ конусовъ, совпадающія въ одной точк̀. За начальныя окружности принимаютъ круги основаній касающихся усѣченныхъ конусовъ (черт. 301).

Профилированіе зубьевъ производится на поверхностяхъ дополнительныхъ конусовъ $A_1 D_1 B$ и $A_2 D_2 B$, производящія которыхъ $A_1 B$ и $A_2 B$ перпендикулярны къ производящей данныхъ конусовъ $B O$. Развертывая эти коническія поверхности въ видѣ круговыхъ секторовъ на плоскости чертежа, принимаемъ круги радіусовъ ϱ_1 и ϱ_2 за начальныя окружности обыкновенныхъ цилипдрич. колесъ; круги эти служатъ для построенія профили зубьевъ.

Черт. 301.



Шагъ зацѣпленія и толщина зуба откладываются на кругахъ радіусовъ r_1 и r_2, высота зуба по направленію $A_1 A_2$ и длина зуба $b = BD$ измѣряется по направленію $B O$. Разсчетъ толщины зуба производится для среднихъ сѣченій усѣченныхъ конусовъ по радіусамъ R_1 и R_2 при помощи уравненія:

$$2\pi R = zt.$$

Если z_1 и z_2 означаютъ соотвѣтственныя числа зубьевъ, то:

$$\frac{\varrho_1}{r_1} = \frac{\sqrt{z_1^2 + z_2^2 + 2 z_1 z_2 \cos\alpha}}{z_2 + z_1 \cos\alpha} \text{ и } \frac{\varrho_2}{r_2} = \frac{\sqrt{z_1^2 + z_2^2 + 2 z_1 z_2 \cos\alpha}}{z_1 + z_2 \cos\alpha},$$

НТБ ДНУЗТ

далѣе, $r_1 = R_1 + \frac{b}{2}\sin\delta_1$ $\qquad \sin\delta_1 = \frac{z_1 \sin\alpha}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2 + 2\,z_1\,z_2\cos\alpha}}$

Для $\alpha = 90^0$:

$$\frac{\varrho_1}{r_1} = \frac{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}}{z_2}; \qquad \frac{\varrho_2}{r_2} = \frac{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}}{z_1};$$

$$\sin\delta_1 = \frac{z_1}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}}; \qquad \frac{\varrho_1}{\varrho_2} = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

Зубцы представляютъ форму усѣченныхъ пирамидъ, у которыхъ всѣ грани сходятся въ общей вершинѣ конусовъ O. Рекомендуется построеніе профили зубца также и на меньшемъ основаніи конуса, посредствомъ круговъ, касающихся въ точкѣ D. Діаметры круговъ катанія должны быть пропорціональны діаметрамъ выбранныхъ круговъ на большемъ основаніи конуса.

Коническія колеса проектируются (при $z > 24$) какъ парныя колеса, съ зацѣпленіемъ по циклоидамъ или эвольвентамъ.

5. Червякъ съ колесомъ.

Зацѣпленіе между червякомъ и колесомъ есть зацѣпленіе зубчатой полосы и колеса, нанесенное на продольномъ разрѣзѣ винта *). Рекомендуется построеніе зубцовъ по эвольвентамъ.

6. Цилиндрическія винтовыя колеса.

Представляютъ въ общемъ типъ предыдущей передачи. Для осей, расположенныхъ подъ прямымъ или произвольнымъ угломъ, оба колеса должны имѣть правую или лѣвую нарѣзку. Для случая параллельныхъ осей одно колесо имѣетъ правый винтъ, а другое—лѣвый винтъ.

7. Эллиптическія колеса.

Употребляются только какъ цилиндрическія колеса, для передачи періодически измѣняющихся угловыхъ скоростей. Цѣлесообразно располагать зубья такъ, чтобы ихъ среднія линіи совпадали съ нормалями эллипса. Форма зубцовъ — какъ у круглыхъ колесъ, причемъ эллипсы (черт. 302) замѣняютъ начальныя окружности.

Пусть на черт. 302:

A точка вращенія ведущаго, A_1 точка вращенія ведомаго колеса,

a большая полуось, b малая полуось обоихъ эллипсовъ,

A, B, A_1, B_1 фокусы эллипсовъ,

ω постоянная угловая скорость ведущаго колеса A.

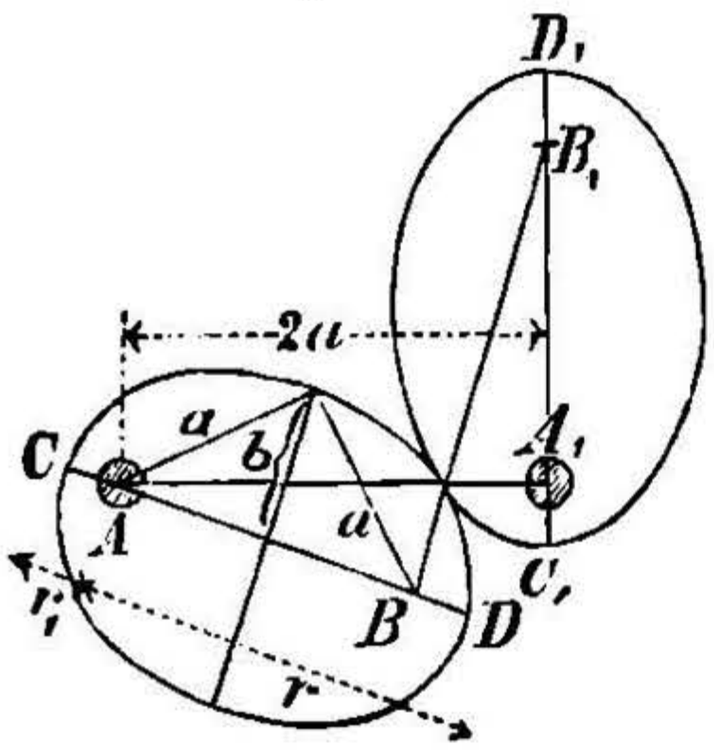
ω_1 и ω_2 наибольшая и наименьшая скорости ведомаго колеса A_1,

---

*) Подробнѣе см. Stribeck, Versuche mit Schneckengetrieben, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 936 и 968; также C. Bach, Masch.-Elem., 6 изд., стр. 690 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 302.



r и r_1 см. черт. 302.

1. **Передаточное число** для точки касанія въ D:

$$\varphi_1 = \frac{A\,D}{A_1\,C_1} = \frac{r}{r_1} = \frac{\omega_1}{\omega},$$

въ точкѣ C:

$$\varphi_2 = \frac{C\,A}{A_1\,D_1} = \frac{r_1}{r} = \frac{\omega_2}{\omega},$$

и $$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{r^2}{r_1^2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = V$$

2. Если разстояніе между осями вращенія $A\,A_1 = 2a$ и отношеніе V дано, то находимъ b, а слѣд. и **форму** эллиптическихъ колесъ изъ уравненія:

$$b = \frac{2a\sqrt[4]{V}}{\sqrt{V}+1}.$$

3. **Эллиптическія колеса строгальныхъ станковъ.** Если разстояніе $A\,A_1 = 2a$ дано, и дано T **время обратнаго хода** стола, то, принимая время для движенія стола впередъ $= 1$, величину b найдемъ по формулѣ:

$$b = a\sqrt{\frac{2\sin\left(\frac{180^0\,T}{T+1}\right)}{1+\sin\left(\frac{180^0\,T}{T+1}\right)}}.$$

b. Разсчетъ зубцовъ *).

1. Цилиндрическія колеса съ прямыми зубьями.

Пусть:

r радіусъ начальной окружности въ cm, z число зубцовъ $= 2\pi r : t$ (стр. 447),
t шагъ зацѣпленія (дѣленіе) въ cm,
b длина зубца $= \psi t$ въ cm, l высота зубца $= 0{,}7\,t$ въ cm,
s толщина зубца по начальной окружности въ cm,
P давленіе въ зубцахъ въ kg, которое опредѣляется изъ передаваемаго вращающаго момента $M_d = Pr$ въ cmkg,
n число оборотовъ колеса въ 1 минуту,
N число передаваемыхъ лошадиныхъ силъ.

1. Если c коэффиціентъ (въ kg на qcm), то имѣемъ:

$$P = c\,b\,t.$$

Величина коэффиціента c опредѣляется на основаніи нижеслѣдующихъ соображеній.

---

*) См. К. Бахъ, Machinen-Elemente, 6 изд. 1897, стр. 214 и слѣд., такъ же R. Stribeck. Разсчетъ зубчатыхъ колесъ, Zeitsehr. d. V. d. Ing., 1894, стр. 1182 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Если необходимо руководствоваться почти исключительно условіями прочности, наприм., въ колесахъ ручныхъ воротовъ и т. п., то въ предположеніи способа нагрузки II (табл. стр. 341), для чугунныхъ зубьевъ (при $k_b \sim 300$ kg/qcm):

$$c = 0{,}06\ k_b \text{ до } 0{,}07\ k_b = 18 \text{ до } 21,$$

при условіи $b \leqq 2\,t$. Если же, по какой-нибудь причинѣ, желательно выбрать большую длину зубца, то во всякомъ случаѣ должно быть соблюдено условіе: $c \leqq 21\,\frac{2\,t}{b}$.

Для воротовъ, работающихъ съ большими перерывами или рѣдко работающихъ при полной нагрузкѣ, можно увеличить c отъ 24 до 28, въ предположеніи, что толщина основанія зуба равна $0{,}5\,t$ до $0{,}55\,t$. Дальнѣйшее увеличеніе c является возможнымъ лишь на основаніи данныхъ, указанныхъ въ примѣчаніи [3]) къ табл. стр. 341. Въ виду возможности различныхъ случайностей, слѣдуетъ принимать для зубчатыхъ колесъ воротовъ t не менѣе 2,5 cm.

Для чугунныхъ колесъ приводовъ необходимо принимать въ соображеніе износъ зубцовъ. При нормальныхъ условіяхъ, въ случаѣ работы чугуна по чугуну, можно принимать при циклоидальномъ зацѣпленіи и числѣ оборотовъ n до 250:

$$c = 20 - \sqrt{n},$$

такъ что для	$n = 16$	25	36	49	64	81	100	144	196	256,
имѣемъ	$c = 16$	15	14	13	12	11	10	8	6	4;
кромѣ того	$b \leqq 2{,}6\ t$	$2{,}8\,t$	$3{,}0\,t$	$3{,}2\,t$	$3{,}5\,t$	$3{,}8\,t$	$4{,}2\,t$	$5{,}25t$		

такъ какъ вышеприведенная формула даетъ наибольшую допускаемую длину зуба $b \leqq 42\,t : c$.

Для дерева (бѣлый букъ), работающаго по чугуну, принимаютъ 0,4 до 0,5 отъ приведенныхъ значеній для c, такъ что для

$n = 36$	64	144	256
$c = 14.0{,}4 = 5{,}6$	$12.0{,}4 = 4{,}8$	$8.0{,}45 = 3{,}6$	$4.0{,}5 = 2{,}0$

Приведенныя величины c, а равно и опредѣленныя по формулѣ $c = 20 - \sqrt{n}$ могутъ быть значительно превзойдены при тщательной конструкціи, исполненіи и уходѣ, если дуга зацѣпленія равна двойному дѣленію, т.-е. продолжительность зацѣпленія превосходитъ величину 2, такъ что съ увѣренностью можно разсчитывать на одновременную работу (прилеганіе) по меньшей мѣрѣ двухъ боковыхъ поверхностей зубьевъ.

Колеса съ зацѣпленіемъ по эвольвентѣ нагружаются нѣсколько менѣе.

Для зубцовъ на ободьяхъ водяныхъ колесъ, находящихся постоянно въ водѣ, величину c не слѣдуетъ брать болѣе 10 до 12 *).

---

*) См. C. Bach, Turbinen und vertikale Wasserräder, 1886, стр. 165 и 166.

НТБ ДНУЗТ

Для зубчатаго колеса, которое сцѣпляется съ зубцами на окружности махового колеса паровой машины, слѣдуетъ c брать на 10% менѣе, чѣмъ по формулѣ $c = 20 - \sqrt{n}$ вслѣдствіе періодической неравномѣрности (благодаря которой нѣкоторые зубья нагружаются сильнѣе, чѣмъ другіе).

Колесамъ, зубцы которыхъ работаютъ то одною, то другою боковою поверхностью, или которыя сильно стучатъ, и вообще тѣмъ колесамъ, которыя подвержены сильнымъ колебаніямъ жи-выхъ силъ въ движущихъ или движущихся массахъ, необходимо придавать возможно большіе размѣры. По этой, отчасти, причинѣ дѣлаютъ для мельничныхъ поставовъ, при работѣ дерева по чугуну, колеса съ $c = 2$ до 3, тогда какъ для обыкновенныхъ колесъ при томъ же n можно принимать $c = 4{,}0$ до $4{,}5$.

Для колесъ, работающихъ безпрерывно днемъ и ночью, необходимо c выбирать нѣсколько меньшимъ, въ томъ предположеніи, чтобы колеса эти служили столько же времени, какъ и колеса, работающія при нормальныхъ условіяхъ 12-часовой работы.

Для колесъ съ прочными зубцами можно принимать большую величину c, чѣмъ при зубцахъ слабыхъ, ибо первыя допускаютъ большій износъ ранѣе, чѣмъ приходятъ въ негодность.

2. Дѣленіе t (въ cm) по передаваемому крутящему моменту M_d (въ cmkg) или производительности N (въ лошад. сил.) опредѣляется слѣд. образомъ:

По стр. 210 имѣемъ:

$$Pr = M_d = 71620\,\frac{N}{n} \text{ въ cmkg (см. таб. стр. 210);}$$

кромѣ того: $P = c\,b\,t = c\,\psi\,t^2$ и $r = z\,t \quad 2\,\pi.$

Отсюда: $t = \sqrt[3]{\frac{2\,\pi}{c\,\psi\,z}\,M_d}$, соотв. $t = 10\sqrt[3]{\frac{450}{c\,\psi\,z} \quad \frac{N}{n}}$.

3. Если **чугунъ** оказывается, **какъ матеріалъ для зубцовъ**, непрочнымъ, напр., въ зубчатыхъ рейкахъ домкратовъ, то употребляютъ литую сталь, желѣзо, бронзу (особенно фосфористую бронзу), металлъ дельта и другіе сплавы и, въ зависимости отъ способа нагрузки, разсчитываютъ зубъ на изгибъ:

$$P\,l = {}^1/_6\,b\,x^2\,k_b;$$

полагая толщину зуба у корня $x = 0{,}5\,t$ до $0{,}55\,t$ и $l = 0{,}7\,t$, будемъ имѣть:

$$P = c_1\,b\,t\,k_b,$$

гдѣ $c_1 = 0{,}06$ до $0{,}07$, а k_b берется на основаніи данныхъ, приведенныхъ на стр. 340 и 341.

Дѣленіе t колесъ изъ литой стали можетъ быть взято приблизительно на $^1/_3$ меньше дѣленія чугуннаго колеса, при одинаковой производительности.

4. **Длина зуба** $b = \psi t$. **Отношеніе** ψ принимается:
$\psi = 2$ для лебедокъ и т. п.,

НТБ ДНУЗТ

$\psi = 2$ до 3 для колесъ обыкновенныхъ приводовъ и передачъ,
$\psi = 3$ до 5 для колесъ приводовъ, которыя передаютъ большое количество механической работы (напр., маховое колесо паровой машины съ зубчатымъ ободомъ).

5. **Число зубцовъ** z.

$z \geqq 10$ до 11 для колесъ лебедокъ (въ особыхъ случаяхъ принимается еще меньше),

$z \geqq 24$ для колесъ приводовъ; для достиженія возможно спокойной работы приводныхъ колесъ z выбирается еще больше. Колеса съ деревянными зубьями и свертныя колеса имѣютъ z въ цѣлое число разъ больше числа спицъ. Желательно соблюденіе послѣдняго условія и для всякихъ колесъ.

На величину z вліяетъ **величина передачи** (передаточное число) двухъ колесъ. Въ предположеніи достаточной равномѣрности въ передачѣ силы, наилучшими соотношеніями являются 1 : 1, затѣмъ 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4 и т. д.; менѣе выгодны отношенія 2 : 3, 2 : 5, 2 7 и т. д.; еще менѣе выгодны 3 : 4, 3 5, 3 : 7 и т. д. Большія передаточныя числа, первыя между собою, какъ напр., 31 : 43, 23 : 47, даютъ, въ смыслѣ спокойной работы колесъ, самыя плохія передачи.

При періодическомъ измѣненіи давленія на зубцы (какъ, напр., въ зубцахъ маховыхъ колесъ, зубцахъ молотовъ и т. д.) выборъ соотношеній для передачъ 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3 и т. д. является нежелательнымъ; слѣдуетъ отдавать предпочтеніе соотношеніямъ 2 : 3, 2 : 5 и т. д., или 3 : 4, 3 : 5 и т. д.

Для колесъ лебедокъ крайній предѣлъ передачи принимается 1 : 10, для колесъ приводовъ при тихомъ ихъ ходѣ за предѣлъ передачи принимаютъ 1 : 6 (причемъ тогда для меньшаго колеса z_{min} по крайней мѣрѣ 36 до 40); при болѣе скоромъ ходѣ колесъ предѣльная передача принимается до 1 4 (причемъ $z_{min} = 54$ до 72).

6. **Деревянные зубцы** дѣлаются на одномъ изъ колесъ зубчатой пары при большихъ скоростяхъ, т.-е. при большомъ числѣ оборотовъ, съ цѣлью достичь болѣе спокойнаго хода и, по возможности, избѣжать шума. Обыкновенно дѣлаютъ деревянные зубцы на большемъ колесѣ; исключеніе изъ этого составляетъ случай, когда передача силы измѣняется періодически въ большихъ предѣлахъ, и причина этой періодичности имѣетъ мѣсто на томъ валу, на которомъ сидитъ большое колесо.

Дѣленіе у колесъ со вставными зубьями принимается на $^1/_{10}$ болѣе, чѣмъ у обыкновенныхъ чугунныхъ колесъ такой же производительности.

7. **Толщина зубца** (измѣренная по начальной окружности) принимается при работѣ чугуна по чугуну:

для необдѣланныхъ зубцовъ. . $s = {}^{19}/_{40}\, t$,
для обдѣланныхъ зубцовъ.... .. $s = {}^{19}/_{40}\, t$ до ${}^{39}/_{80}\, t$,
[въ станкахъ принимаютъ $s = {}^1/_2\, t$];

НТБ ДНУЗТ

при работѣ дерева по чугуну принимается для чугуна $s = {}^{19}/_{40}\,t$, а для дерева $s = {}^{19}/_{40}\,t$ до ${}^{39}/_{80}\,t$ или:

для чугуннаго зуба . . . $s = {}^{16}/_{40}\,t = 0{,}4\,t$,

для деревяннаго зуба . $s = {}^{23}/_{40}\,t = 0{,}575\,t$.

Основаніе зубца имѣетъ высоту $0{,}4\,t$,

головка „ „ „ $0{,}3\,t$, такъ что $l = 0{,}7\,t$.

Поэтому зазоръ между двумя необработанными зубьями по окружности составляетъ ${}^{1}/_{20}\,t$, а между двумя обработанными зубьями ${}^{1}/_{40}\,t$ (а иногда и $= 0$), а зазоръ по направленію радіуса составляетъ ${}^{1}/_{10}\,t$ для обоихъ случаевъ.

2. Цилиндрическія колеса съ угловыми (стрѣльчатыми) зубьями *).

Ходъ весьма спокойный, почти безъ всякаго тренія, почему колеса эти съ удобствомъ примѣняются для точныхъ приборовъ и машинъ. Давленія по направленію оси, имѣющаго мѣсто въ цилиндрическихъ винтовыхъ колесахъ, здѣсь нѣтъ. Зацѣпленіе по разверткѣ круга. Матеріалъ: чугунъ или литая сталь. Величина шага t опредѣляется по общимъ правиламъ.

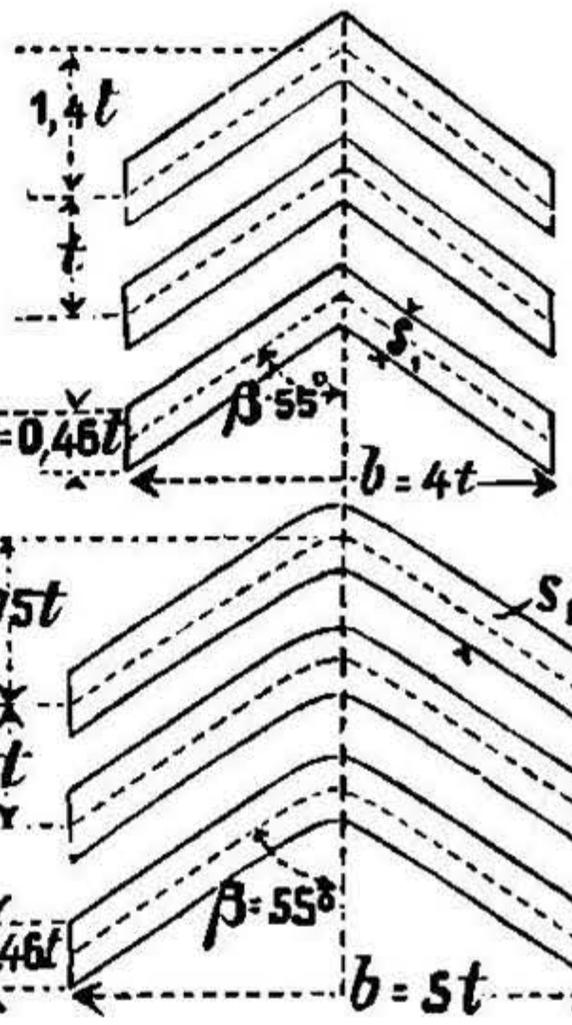
Высота зубца $0{,}6\,t$, основаніе зубца $0{,}38\,t$, головка зубца $0{,}22\,t$. Толщина зубца по начальной окружности $s = 0{,}46\,t$.

Дѣйствительная толщина зубца

$$s_1 = s \sin\beta \text{ (около } 0{,}377\,t).$$

Длина зубца $b = 4\,t$, подъемъ $t_0 = 1{,}4\,t$, откуда $\beta = 55^0$ (см. черт. 303).

Черт 303.



Черт. 304.

Для вальцевъ съ малымъ числомъ зубцовъ (черт. 304);

$b = 5\,t$, $t_0 = 1{,}75\,t$, $\beta = 55^0$.

Углы зубцовъ закругляются.

Если колеса вращаются въ такомъ направленіи, что вершина зубца (остріе) опережаетъ, то зубцы обладаютъ большимъ сопротивленіемъ, чѣмъ при вращеніи въ обратную сторону. Устройствомъ боковыхъ приливовъ достигается усиленіе и лучшая опора зубцовъ на ихъ лицевой поверхности.

3. Коническія колеса.

Размѣры зубцовъ коническихъ колесъ опредѣляютъ, принимая обыкновенно наибольшіе радіусы, правильнѣе же средніе радіусы R_1 и R_2 (черт., 301 стр. 456) и разсчитывая зубцы, какъ указано въ **1.** для цилиндрическихъ колесъ съ прямыми зубьями.

---

*) Болѣе подробно объ этомъ см. у Рело, Der Konstrukteur, IV изд., стр. 566, а также Бахъ, Maschinen-Elemente, 6 изд., стр. 227 до 232.

НТБ ДНУЗТ

4. Безконечный винтъ и колесо (черт. 305).

Относительную потерю работы $\mathfrak{V}_s$ см. стр. 233.

Зацѣпленіе см. стр. 456.

Опредѣленіе шага t производится по уравненію:

$$P = c\,b\,t$$

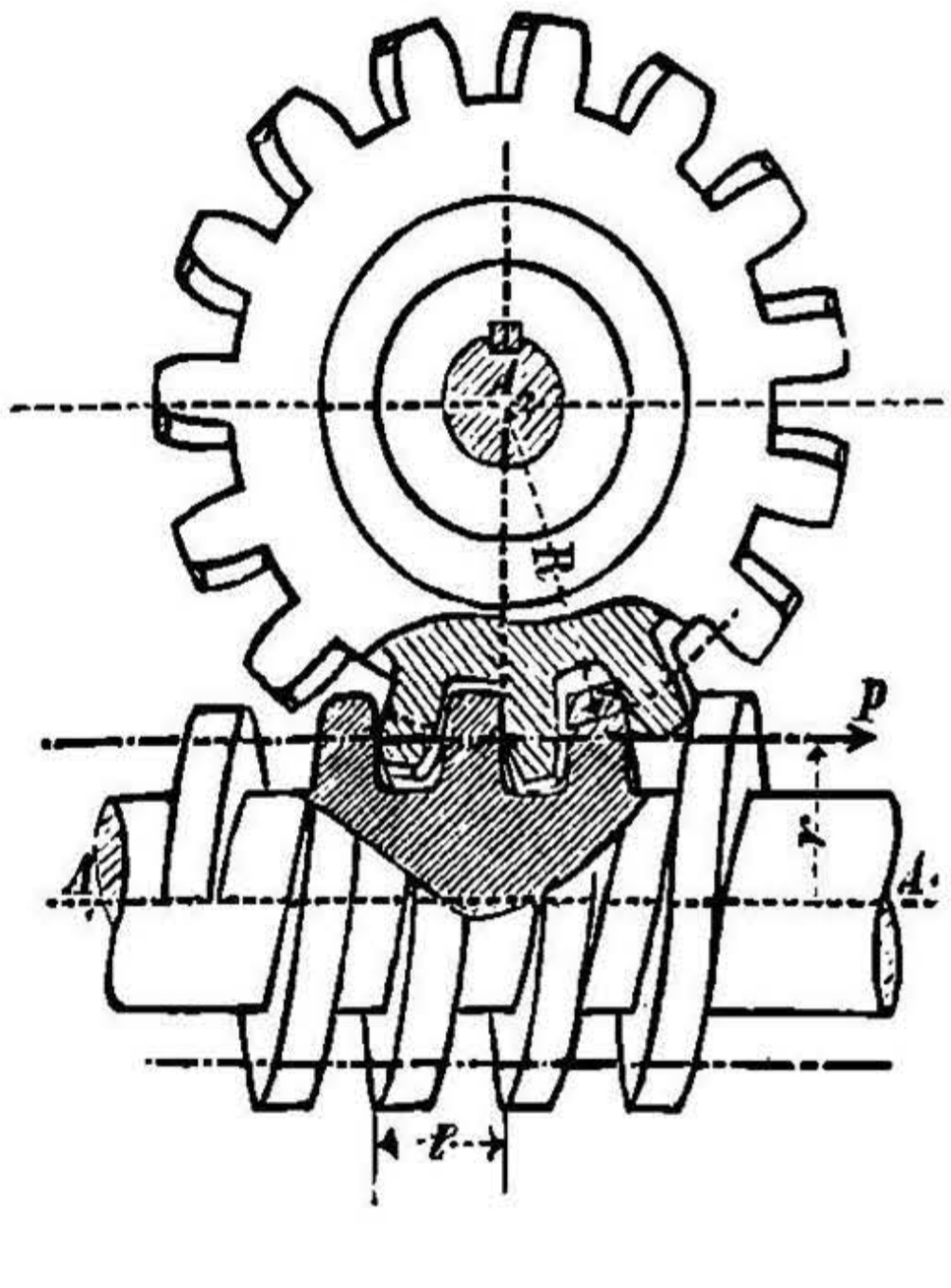
(см. стр. 458) и для чугуна принимается:

$c = 18$ до 28 kg/qcm, если принимается въ соображеніе лишь прочность,

$c = 8$ до 12 kg/qcm, въ зависимости отъ числа оборотовъ и въ предположеніи хорошей смазки, если принимается въ соображеніе изнашиваніе трущихся поверхностей;

$$b = 1{,}5\,t.$$

Черт. 305.



Затѣмъ можно принимать для винтовыхъ блоковъ рѣдко употребляемыхъ, при двухходовомъ винтѣ и чугунномъ колесѣ, c до 40 kg/qcm; при одноходовомъ винтѣ съ самотормаженіемъ и при рѣдкомъ употребленіи c до 30 kg/qcm, напротивъ того, частомъ употребленіи и при большомъ числѣ оборотовъ, а равно и въ подъемникахъ съ ременною передачею или электродвигателями $c \leqq 12$ kg/qcm и болѣе (до 20 kg/qcm).

Моментъ, необходимый для вращенія винта, опредѣляется по стр. 229 (съ прибавкой 10% на треніе въ опорахъ винта):

$$M_d = 1{,}1\,P\,r\,\frac{h + 2\,\pi\,r\,\mu}{2\,\pi\,r - \mu\,h},$$ гдѣ:

P давленіе на зубецъ колеса въ kg, дѣйствующее на плечѣ R (см. черт. 305),

r средній радіусъ червяка, до начальной окружности винтового колеса, въ cm,

h шагъ винта въ cm; для однооборотнаго винта h равно шагу зацѣпленія t, для m-ходового $h = m\,t$,

μ коэффиціентъ тренія (при хорошей смазкѣ и гладкихъ поверхностяхъ $= 0{,}1$).

Если z число зубцовъ винтового колеса (при зацѣпленіи по развертк $z > 30$), то $\varphi = m : z =$ передаточное число при m-оборотномъ винтѣ.

Если требуется, чтобы механиамъ могъ въ каждый моментъ самъ себя затормаживать, то должно быть:

$$t\,g\,\alpha = \frac{h}{2\,\pi\,r} \leqq \frac{1}{10}.$$

НТБ ДНУЗТ

Если слѣдуетъ опасаться сотрясеній, какъ, напр., въ подъемныхъ машинахъ, то для самотормаженія $tg\alpha$ надо принимать еще меньше, до $^1/_{12}$; коэффиціентъ полезнаго дѣйствія при этомъ понижается до $\eta \leqq 0{,}4$, и слѣдствіемъ этой большой потери работы является сильное изнашиваніе трущихся плоскостей. Болѣе благопріятныя условія имѣютъ мѣсто при устройствѣ винтовъ съ значительнымъ ходомъ, т. е. двухъ или болѣе ходовыхъ винтовъ.

При большомъ числѣ оборотовъ рекомендуется винтовое колесо изъ фосфористой бронзы, а винтъ изъ закаленной бессемеровой стали.

Осевое давленіе въ передачахъ безконечнымъ винтомъ можетъ быть устранено, если на одной той же оси устроить два одинаковыхъ винта (одинъ правый, а другой лѣвый) и приводить ими въ движеніе два сцѣпляющихся винтовыхъ колеса (на параллельныхъ осяхъ).

c. Проектированіе колеса и его деталей.

Толщина обода обыкновенно равна $0{,}5\,t$ (черт. 306) съ небольшимъ уклономъ (1 : 40 до 1 : 60), чтобы облегчить вынимание модели изъ формы при отливкѣ; для большихъ колесъ, а также при небольшомъ числѣ спицъ рекомендуется среднее укрѣпляющее ребро у обода. Для колесъ съ деревянными зубьями см. черт. 308 до 310.

Толщина ступицы, не ослабленной (шпонкой), **для чугуна** (черт. 306 и 307):

$$\delta = \frac{1}{5}\left(d_0 + \frac{d}{2}\right) + 1 \text{ cm} \quad \text{до } \frac{1}{4}\left(d_0 + \frac{d}{2}\right) + 1 \text{ cm},$$

гдѣ:

d отверстіе ступицы въ cm,

d_0 діаметръ вала (въ cm), соотвѣтствующій передаваемому крутящему моменту: $M_d = P\,r = 0{,}2\,k_d\,d_0^3$.

Длина ступицы (черт. 306 и 307):

$$L = 1{,}2\,d \text{ до } 1{,}5\,d \text{ и болѣе,}$$

или

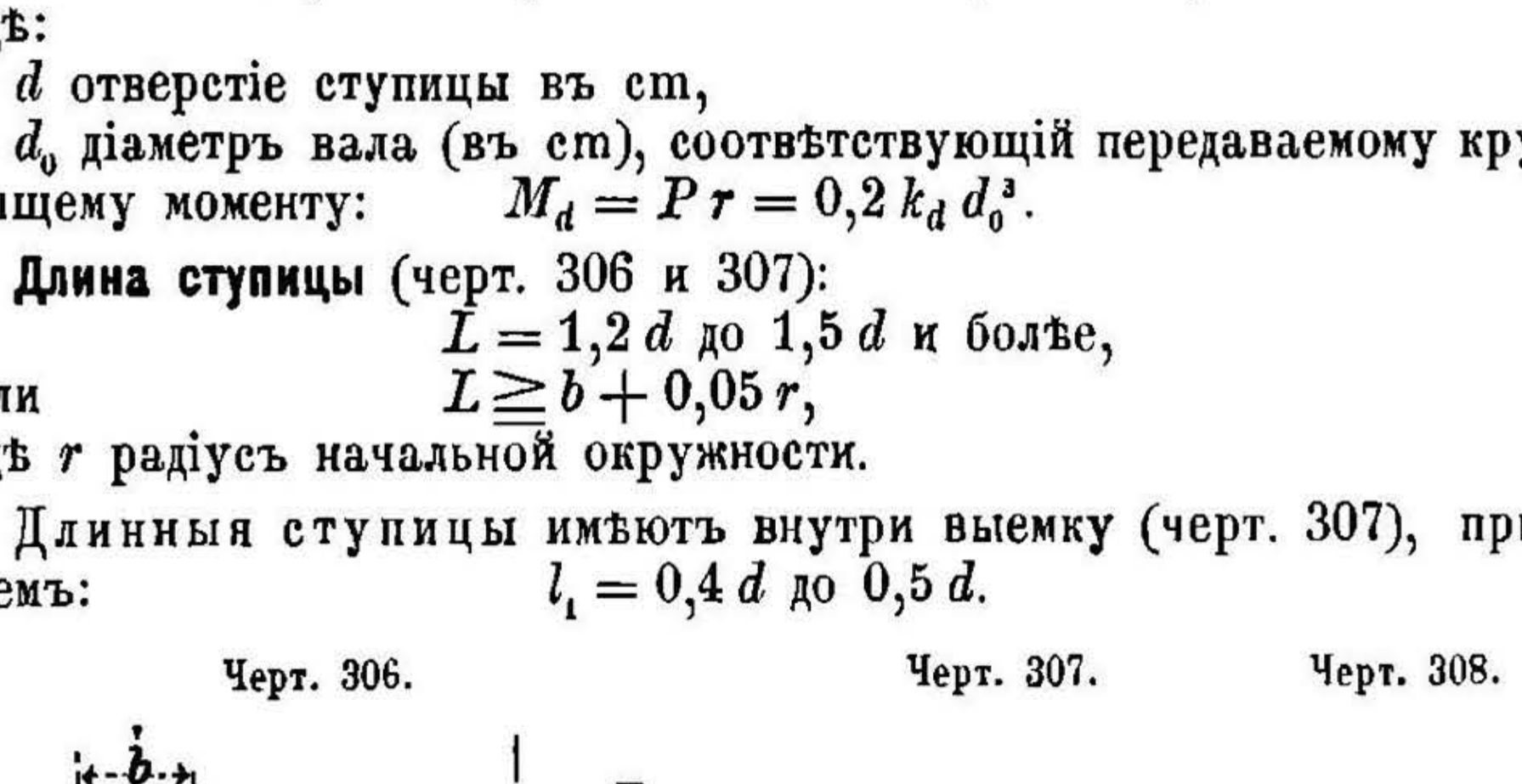
$$L \geqq b + 0{,}05\,r,$$

гдѣ r радіусъ начальной окружности.

Длинныя ступицы имѣютъ внутри выемку (черт. 307), причемъ:

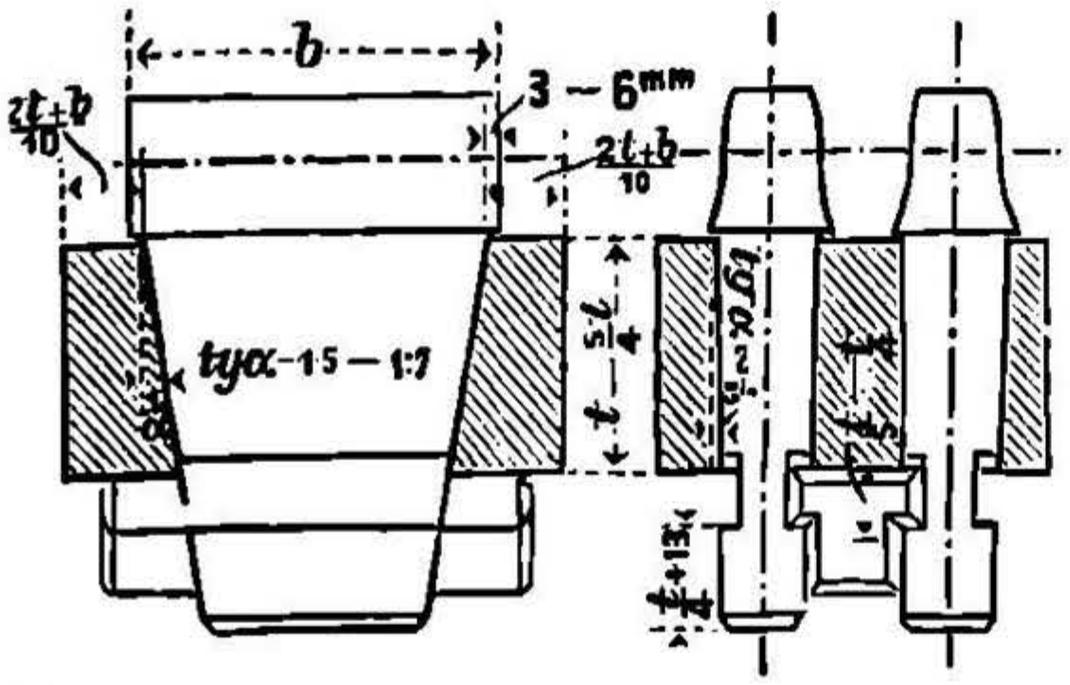
$$l_1 = 0{,}4\,d \text{ до } 0{,}5\,d.$$

Черт. 306. Черт. 307. Черт. 308.

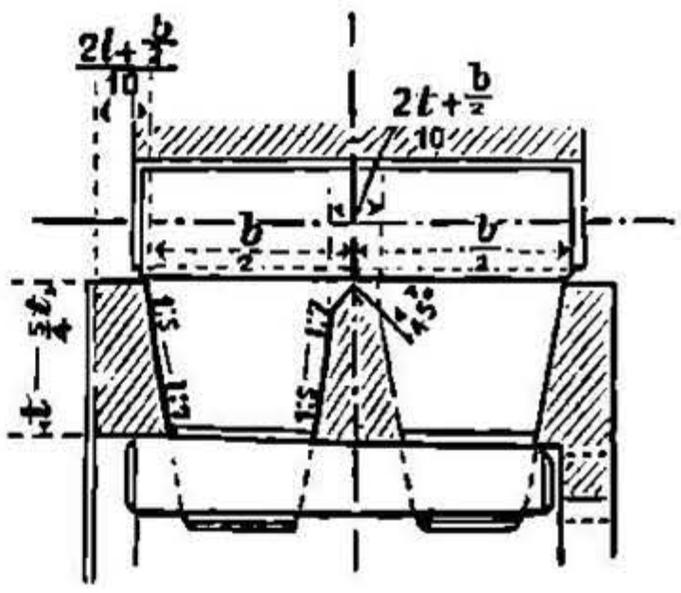


НТБ ДНУЗТ

Черт. 309.



Черт. 310.



Употребительные размѣры стальныхъ **шпонокъ** для укрѣпленія колесъ на валахъ даетъ слѣд. таблица; здѣсь d отверстіе ступицы, b_1 ширина шпонки, t_1 глубина дорожки въ ступицѣ и s_1 — толщина шпонки; всѣ размѣры въ mm. Шпонка имѣетъ уклонъ $^1/_{100}$. Для $d \geqq 180$ mm слѣдуетъ брать двѣ шпонки (на разстояніи одна отъ другой въ 90°).

d mm	b_1 mm	t_1 mm	s_1 mm	d mm	b_1 mm	t_1 mm	s_1 mm	d mm	b_1 mm	t_1 mm	s_1 mm
15—19	9	3	5	80— 89	22	8	12	160—179	40	12	21
20—29	10	4	6	90— 99	24	8	13	180—199	44	13	23
30—39	12	5	7	100—109	26	9	14	200—229	50	14	26
40—49	14	5	8	110—119	28	9	15	230—259	56	16	29
50—59	16	6	9	120—129	30	10	16	260—289	62	18	32
60—69	18	7	10	130—139	32	10	17	290—319	68	20	36
70—79	20	7	11	140—159	36	11	19	320—350	75	23	40

Число спицъ: $i = {}^1/_8\sqrt{D}$ до $^1/_7\sqrt{D}$,
гдѣ D діаметръ начальной окружности въ mm.

Сѣченіе спицы, работающей на изгибъ, опредѣляется по черт. 306 изъ:

$$P\,y = k_b\,W\,\frac{i}{4},$$

гдѣ W означаетъ моментъ сопротивленія сѣченія спицы въ зависимости отъ изгибающаго момента $P\,y$. Для нормальныхъ лебедокъ и приводовъ величина k_b выбирается по табл. стр. 341, въ предположеніи способа нагрузки II.

Для спицъ крестообразнаго сѣченія съ $h_1 = {}^1/_5\,h$ (см. черт. 306), полагая $k_b \sim 300$ kg/qcm, получимъ:

$$h = \sqrt[3]{\frac{P\,y}{2{,}5\,i}}.$$

По направленію къ ободу h уменьшается въ отношеніи 5 : 4.

Размѣры **деревянныхъ зубьевъ** показаны на черт. 308, 309 и 310. Укрѣпленіе ихъ производится или помощью шпилекъ (черт. 308), или деревянныхъ клиньевъ (черт. 309). Два зуба вмѣсто одного устраиваются, въ зависимости отъ размѣровъ имѣющагося мате-

НТБ ДНУЗТ

ріала для зубцовъ, при $b \leqq 18$ cm. Главными условіями правильной передачи являются точное укрѣпленіе зубьевъ, достаточная толщина обода и совершенная сухость дерева (бѣлый букъ). У колесъ съ деревянными зубьями число зубьевъ должно быть кратное числа спицъ.

Н. Михаэлисъ, въ Хемницѣ, снабжаетъ рабочую сторону зубца деревянной надѣлкой, чѣмъ устраняется шумъ при работѣ чугунныхъ колесъ другъ по другу и малая прочность полнаго деревяннаго зуба (пружинитъ). Эти колеса оказались для большихъ скоростей и большихъ давленій между зубцами весьма долговѣчными.

Кожаныя колеса. Леве. въ Берлинѣ, изготовляетъ кожаныя колеса и зубцы для большихъ скоростей (n=400 до 1000). Куски особо приготовленной и пропитанной кожи, связанные при посредствѣ особаго склеивающаго состава, подвергаются высокому давленію и затѣмъ подвергаются обработкѣ какъ желѣзное колесо или зубецъ. Изъ двухъ работающихъ колесъ только одно изготовляется изъ кожи, тогда какъ другое изъ стали, чугуна или бронзы. Въ уравненіи $P = cbt$ принимаютъ тогда c=4 до 8. Для небольшого числа зубцовъ употребляютъ, вмѣсто кожи, вулканизированную фибру.

Комплектныя колеса

завода О. Грузонъ и К° въ Магдебургѣ.

Дѣленіе t mm	D=діам. начальной окружности, z=число зубьевъ. $\frac{D}{z}$ D въmm	$\frac{z}{D}$ D въ m	Глубина впадины. mm	Высота основанія. mm	Длина зубца b около $2{,}5t$ mm	$3t$ mm	Для числа спицъ i = Сплошн. колеса.	$i=4$	$i=6$	$i=8$	$i=10$
							имѣемъ число зубцовъ z =				
15	4,775	209,4	5	6	37	45	20—40	41—90	91—150	151—300	
20	6,366	157,1	6	8	50	60	14—34	35—95	96—155	156—300	
25	7,958	125,7	8	10	60	75	11—31	32—80	81—160	161—300	
30	9,549	104,7	10	12	75	90	11—25	26—72	73—143	144—248	249—300
35	11,141	89,8	11	14	85	105	11—24	25—68	69—133	134—220	221—300
40	12,732	78,5	12	16	100	120	11—23	24—64	65—124	125—205	206—300
45	14,324	69,8	14	18	110	135	11—22	23—60	61—117	118—193	194—300
50	15,916	62,8	16	20	125	150	11—21	22—58	59—111	112—184	185—300
55	17,507	57,1	17	23	140	165	11—20	21—55	56—105	106—176	177—300
60	19,099	52,4	19	25	150	180	11—19	20—52	53—101	102—168	169—285
65	20,690	48,3	21	27	160	195	11—18	19—45	46—98	99—161	162—265
70	22,282	44,9	22	29	175	210	11—17	18—44	45—93	94—154	155—245
75	23,873	41,9	24	31	190	225	11—16	17—44	45—91	92—149	150—230
80	25,465	39,3	25	33	200	240	11—16	17—43	44—87	88—145	146—216
85	27,056	37,0	27	35	210	255	11—15	16—43	44—84	85—140	141—200
90	28,648	34,9	29	37	230	270	11—15	16—42	43—83	84—136	137—190
95	30,239	33,1	31	39	240	285	11—14	15—41	42—82	83—133	134—180
100	31,831	31,4	32	42	250	300	11—14	15—40	41—80	81—130	131—172

Цилиндрическія колеса съ шарошенными зубьями

завода Штольценбергъ и К°, Берлинъ.

Модуль m	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$
Дѣленіе $t = \pi m$ въ mm . .	1,57	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	8,64
Длина зубца l въ mm .	1,08	2,20	2,71	3,25	3,79	4,33	4,90	5,40	5,96

НТБ ДНУЗТ

Модуль m	3	$3^1/4$	$3^1/2$	$3^3/4$	4	$4^1/4$	$4^1/2$	$4^3/4$	5
Дѣленіе $t = \pi m$ въ mm ..	9,42	10,21	11,00	11,78	12,57	13,35	14,14	14,92	15,71
Длина зубца l въ mm	6,50	7,04	7,60	8,12	8,70	9,21	9,70	10,29	10,80
Модуль m	$5^1/4$	$5^1/2$	$5^3/4$	6	$6^1/2$	7	8	9	10
Дѣленіе $t = \pi m$ въ mm ..	16,49	17,28	18,06	18,85	20,42	21,99	25,13	28,27	31,42
Длина зубца l въ mm .	11,38	11,92	12,45	13,00	14,08	15,16	17,35	19,40	21,60

Формы зубьевъ у вышеприведенныхъ цилиндрическихъ колесъ представляютъ эвольвенты, и по начальной окружности не имѣютъ зазора. **Толщина зубца**$= {}^1/_2 t$. **Высота головки** имѣетъ $m = t : \pi$ въ mm. **Діаметръ начальной окружности** $2r = z\,m$ mm (стр. 449). **Наружній діаметръ** $= (2 + z)\,m$ въ mm. **Разстояніе между центрами** двухъ колесъ $r_1 + r_2 = {}^1/_2 (z_1 + z_2)\,m$ въ mm.

Вѣсъ зубчатыхъ колесъ *).

По даннымъ О. Грузонъ и К°, въ Магдебургѣ.

Вѣсъ $G = z(\alpha + \beta\, b) - \gamma$ kg.

z = число зубьевъ; b = длина зуба въ mm.

Шагъ t (дѣленіе) mm	4 спицы.			6 спицъ.			8 спицъ.			10 спицъ.		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
15	0,03	—	0,3	0,04	—	0,5	0,05	—	1,1	0,07	—	1,3
20	0,08	—	0,8	0,10	—	1,3	0,13	—	2,3	0,15	—	3,4
25	0,15	0,01	1,5	0,20	0,01	3,2	0,25	0,01	4,9	0,30	0,01	6,5
30	0,25	0,01	2,7	0,34	0,01	5,2	0,43	0,01	8,5	0,51	0,01	11,1
35	0,40	0,01	4,3	0,54	0,01	8,0	0,68	0,01	12,6	0,81	0,01	17,2
40	0,60	0,01	5,5	0,81	0,01	12,7	1,01	0,02	19,9	1,21	0,02	26,2
45	0,86	0,02	8,1	1.15	0,02	17,5	1,44	0,02	28,0	1,73	0,02	37,3
50	1,18	0,02	11,5	1,58	0,02	24,7	1,98	0,03	38,0	2,38	0,03	51,2
55	1,56	0,02	15,6	2,10	0,03	33,3	2,63	0,03	51,0	3,16	0,03	67,4
60	2,03	0,03	20,5	2,72	0,03	42,0	3,41	0,04	65,5	4,10	0,04	88,8
65	2,58	0,03	24,8	3,46	0,04	54,1	4,34	0,04	83,4	5,22	0,05	112,7
70	3,22	0,04	31,4	4,32	0,05	68,1	5,42	0,05	104,1	6,52	0,05	141,4
75	3,97	0,05	39,3	5,32	0,05	83,7	6,67	0.06	128,3	8,02	0,06	172,7
80	4,81	0,05	46,2	6,42	0,06	102,0	8,09	0,07	155,8	9,73	0,07	209,6
85	5,77	0,06	56,2	7,74	0,07	122,2	9,70	0,07	186,1	11,67	0,08	252,0
90	6,85	0,07	67,6	9,19	0,07	144,9	11,52	0,08	222,3	13,85	0,09	299,7
95	8,06	0,07	77,8	10,80	0,08	170,4	13,55	0,09	260,6	16,29	0,10	353,2
100	9,40	0,08	92,0	12,60	0,09	198,0	15,80	0,10	304,0	19,00	0,11	410,0

*) О вѣсѣ составныхъ (изъ отдѣльныхъ частей составленныхъ) зубчатыхъ колесъ см. у Баха, Turbinen und vertikale Wasserräder, 1886, стр. 150, 176 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Таблица эта даетъ возможность опредѣлять приблизительный вѣсъ **чугунныхъ цилиндрическихъ колесъ** нормальной конструкціи съ прямыми зубьями.

Колеса съ деревянными зубьями, винтовыя колеса и цилиндрическія колеса съ угловыми зубьями имѣютъ вѣсъ почти такой же, какъ и цилиндрическія такой же ширины, съ тѣмъ же числомъ зубцовъ и тѣмъ же t.

Вѣсъ **коническихъ колесъ составляетъ** около 0,9 вѣса цилиндрическихъ.

Вѣсъ колесъ изъ **литой стали** приблизительно на 13% больше вѣса чугунныхъ колесъ тѣхъ же размѣровъ.

Примѣръ. Коническое стальное колесо средняго діаметра 1,53 m, съ числомъ зубцовъ $z = 96$ и длиною зуба $b = 150$ mm имѣетъ по табл. стр. 448 дѣленіе

$$765 : 15{,}279 = \text{около } 50 \text{ mm}$$

и (по стр. 465) 6 спицъ. Вѣсъ его:

$$G = [96\ (1{,}58 + 0{,}02 \cdot 150) - 24{,}7] \,.\, 0{,}9 \,.\, 1{,}13 = 415 \,.\, 0{,}9 \,.\, 1{,}13 = 422 \text{ kg}.$$

B. Фрикціонныя колеса (колеса тренія) *).

1. Пусть:

Q давленіе (въ kg), которымъ оба цилиндрическіе диска (колеса) прижимаются другъ къ другу,

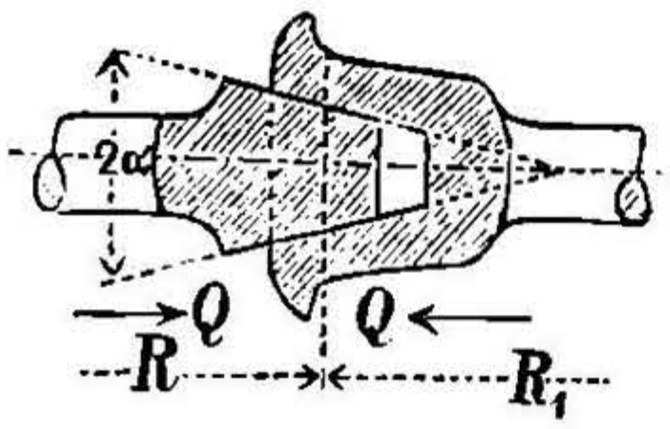
P сила на окружности (въ kg), передаваемая черезъ пару фрикціонныхъ колесъ,

$\mu = \operatorname{tg} \varrho$ коэффиціентъ тренія (см. стр. 216), равный:

$\mu = 0{,}1$	до 0,15	при работѣ чугуна по	чугуну,
$\mu = 0{,}15$	0,2	„ „ „ „	бумагѣ,
$\mu = 0{,}2$	0,3	„ „	кожѣ,
$\mu = 0{,}2$	0,5	„ „ „ „	дереву.

Имѣемъ: $P \leqq Q\,\mu$.

Черт. 311.



2. Если поверхность тренія колесъ имѣетъ форму желоба **клинообразнаго** сѣченія съ угломъ клина 2α,

то: $$P \leqq Q \frac{\mu}{\sin\alpha + \mu\cos\alpha} = Q\,\mu',$$

откуда, напр., для $\alpha = 15^0$ и $\mu = 0{,}1$ (чугунъ по чугуну) слѣдуетъ:

$\mu' = 0{,}28$, $Q \sim 3{,}5\,P$; $\mu'\ \mu = 1 : 0{,}36$.

Величина Q, необходимая для передачи силы P, въ клиновидныхъ колесахъ получается меньшая, чѣмъ въ цилиндрическихъ фрикціонныхъ.

Причиной сильнаго изнашиванія клиновидныхъ колесъ служитъ то обстоятельство, что чистое катаніе имѣетъ мѣсто только въ одномъ цилиндрическомъ сѣченіи каждаго обода. Этотъ недостатокъ становится тѣмъ меньше, чѣмъ меньше длина клина относительно R_1 и R_2.

---

*) Относительно коэффиціента полезнаго дѣйствія фрикціонной передачи Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 1362.

НТБ ДНУЗТ

Если выбрать $\alpha = 15^0$, то, полагая, что колеса касаются на длинѣ 1 cm, при z (= 1 до 6) клиновидныхъ желобкахъ и при работѣ чугуна по чугуну, получимъ:

$$P \leqq 20\, z.$$

C. Ременная и веревочная передачи *).

Потерю работы и **потерю скорости** отъ тренія ремней или канатовъ по блокамъ и шкивамъ см. стр. 234.

Такъ какъ форма сѣченія ремня въ разсчетъ не принимается, то приведенныя тамъ величины $\mathfrak{P}$ нужно умножить: для кожаныхъ ремней на 2,0, для пеньковыхъ канатовъ на 1,25 и для проволочныхъ канатовъ на 1,5.

a. Общія данныя.

Пусть на черт. 312, гдѣ A представляетъ ведущій шкивъ, а, слѣд., $a\,b$ — ведущую часть каната, а $c\,d$ — ведомую, означаютъ:

S_1 натяженіе ведущаго каната, въ kg,

S_2 „ ведомаго „ „ „

S_0 „ , необходимое для надѣванія каната, въ kg,

α меньшій изъ двухъ центральныхъ угловъ, соотвѣтствующихъ частямъ дугъ, обхватываемыхъ канатомъ,

μ коэффиціентъ тренія между канатомъ и поверхностью шкива,

r_1 радіусъ ведущаго шкива въ cm,

r_2 радіусъ ведомаго шкива въ cm,

P усиліе, которое требуется передать канатомъ на окружности шкива $= S_1 - S_2$ въ kg,

f сѣченіе каната въ qcm,

v скорость каната въ m/sec.,

q вѣсъ 1 пог. метра каната въ kg,

$q_1 = q : f$ вѣсъ призматической нити каната, сѣченіемъ 1 qcm и длиной 1 метръ,

σ_z напряженіе въ канатѣ въ kg/qcm отъ усилія S_1, равное $S_1 : f$, въ предположеніи равномѣрнаго распредѣленія силы по сѣченію каната,

k_z допускаемое общее напряженіе для каната, въ kg/qcm,

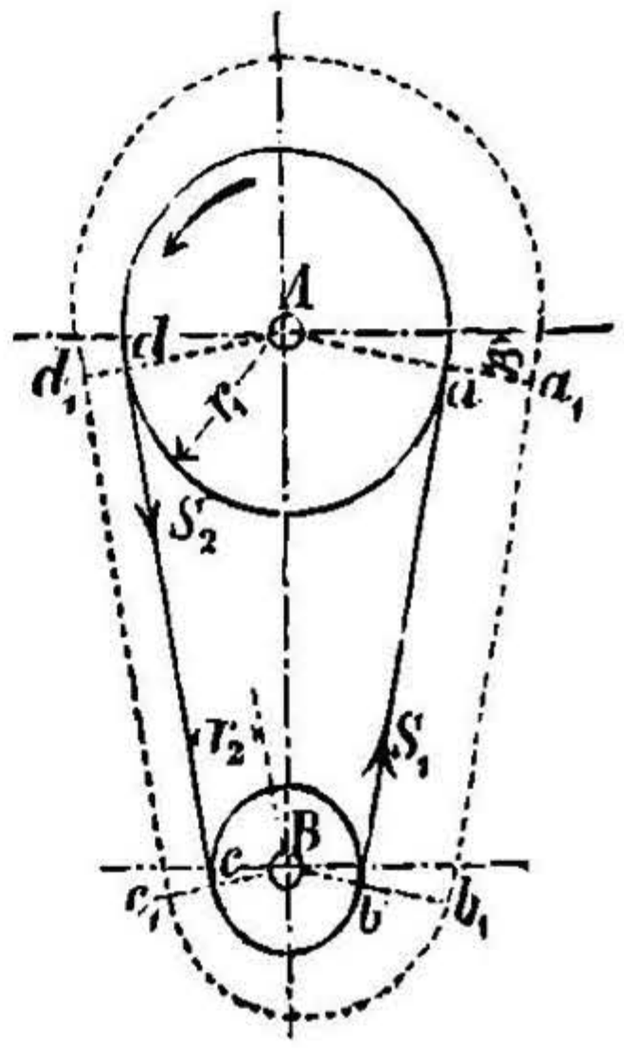
c (въ kg/qcm) нѣкоторый коэффиціентъ,

e основаніе натуральныхъ логарифмовъ $= 2{,}71828$ (см. стр. 40 и 235),

g ускореніе силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec.^{2};

тогда:

Черт. 312.



$$S_1 = P \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} + q \frac{v^2}{g};$$

*) См. Бахъ, Die Machinen-Elemente, 6 изд. 1897, стр. 271 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

$$S_2 = P\frac{1}{e^{\mu\alpha}-1} + q\frac{v^2}{g};$$

$$P = \left(S_1 - q\frac{v^2}{g}\right)\frac{e^{\mu\alpha}-1}{e^{\mu\alpha}} = \left(\sigma_z - q_1\frac{v^2}{g}\right)\frac{e^{\mu\alpha}-1}{e^{\mu\alpha}}f$$

Полагая: $$\left(\sigma_z - q_1\frac{v^2}{g}\right)\frac{e^{\mu\alpha}-1}{e^{\mu\alpha}} = c,$$

имѣемъ для **передаваемаго усилія** величину:

$$P = c\,f.$$

Работа $P\,v$, которая можетъ быть передаваема данным канатомъ, будетъ **наибольшая** $(P\,v)_{max}$ при скорости каната:

$$v' = \sqrt{\frac{\sigma_z g}{3\,q_1}} = \sqrt{\frac{S_1 g}{3\,q}};$$

$$(P\,v)_{max} = \frac{2}{3}\sigma_z\frac{e^{\mu\alpha}-1}{e^{\mu\alpha}}f\sqrt{\frac{\sigma_z g}{3\,q_1}}.$$

Если канатъ провисаетъ не очень сильно, то можно принимать:

$$S_0 = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{P}{2}\frac{e^{\mu\alpha}+1}{e^{\mu\alpha}-1} + q\frac{v^2}{g}.$$

При **работѣ** передачи членъ $q\frac{v^2}{g}$ пропадаетъ и **давленія на ось** не производитъ, такъ что при параллелизмѣ канатовъ давленіе на ось будетъ:

$$2\,S_0' = P\frac{e^{\mu\alpha}+1}{e^{\mu\alpha}-1}$$ (см. также стр. 474).

Въ дѣйствительности канатъ, предполагаемый вполнѣ гибкимъ, образуетъ **цѣпную линію** $A_1 M B_1$ (черт. 313). A и B поддерживающіе шкивы. (См. стр. 118 и слѣд.).

Если эту цѣпную линію отнести къ прямоугольной системѣ координатъ, причемъ за ось x-овъ принять направляющую, а за ось y-овъ ось симметріи кривой, и если:

x и y координаты любой точки P цѣпной линіи въ m,

l длина дуги цѣпной линіи MP въ m,

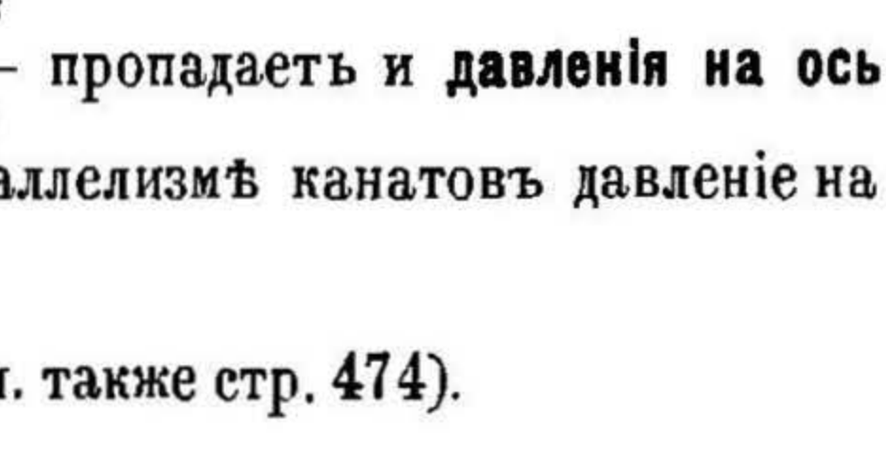
H горизонтальная сила въ вершинѣ M, въ kg,

S натяженіе въ точкѣ P въ kg,

$V = q\,l$ вѣсъ отрѣзка каната $\overset{\frown}{MP}$

$MO = h$ параметръ цѣпной линіи, то:

Черт. 313.



НТБ ДНУЗТ

$$H = \text{постоян.} = h\,q = S\cos\tau = \frac{V}{\operatorname{tg}\tau}; \quad S = y\,q = \frac{q\,h}{\cos\tau}.$$

Кромѣ того, имѣютъ мѣсто соотношенія между x, y, l (соотв. s) и τ, приведенныя на стр. 118 и 119.

При проектированіи подобной канатной передачи поступаютъ слѣдующимъ образомъ.

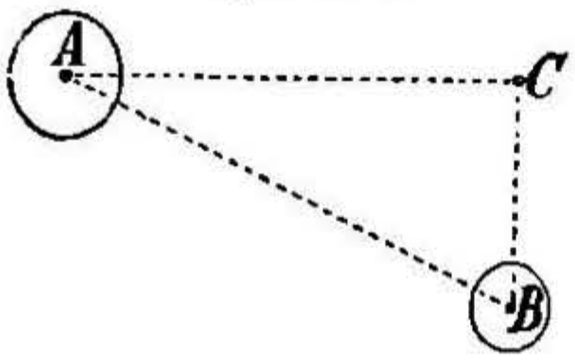
Въ большинствѣ случаевъ на практикѣ величина натяженія каната $S = y\,q$ мало отличается отъ своей горизонтальной составляющей H; вслѣдствіе чего послѣдняя можетъ быть принята за натяженіе каната, т.-е.

для ведущей части каната $S_1 \sim H_1 = h_1 q = P\dfrac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha}-1} + q\dfrac{v^2}{g}$;

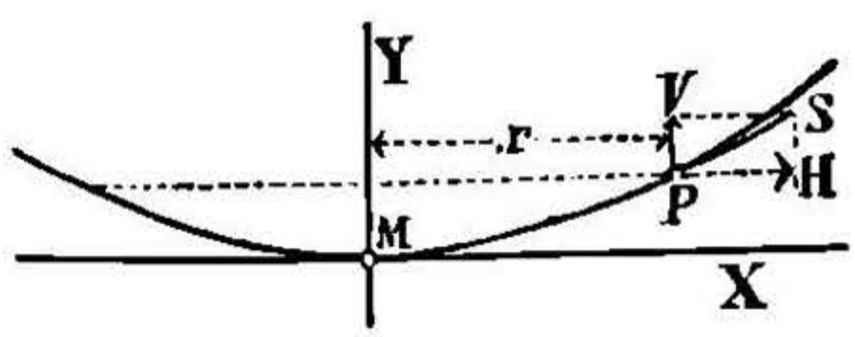
для ведомой части каната $S_2 \sim H_2 = h_2 q = P\dfrac{1}{e^{\mu\alpha}-1} + q\dfrac{v^2}{g}$;

Этимъ опредѣляются параметры h_1 и h_2 для обѣихъ цѣпныхъ линій, а слѣдовательно опредѣляются и сами линіи. Сначала строится первая цѣпная линія, и на чертежъ наносится фиг. 314, гдѣ $B\,C$ разность высотъ обоихъ шкивовъ, $A\,C$ горизонтальное разстояніе между ихъ центрами, и линія $B\,A$—центровая линія шкивовъ. Черт. 314 передвигаютъ по построенной цѣпной линіи до тѣхъ поръ, пока оба шкива будутъ касательны къ цѣпной линіи, а прямая $A\,C$ будетъ горизонтальна. Затѣмъ строятъ вторую цѣпную линію для ведомой части каната и располагаютъ ее такъ, чтобы она была касательной къ шкивамъ съ другой (верхней) ихъ стороны, а направляющая ея была горизонтальна.

Черт. 314.



Черт. 315.



При сравнительно малой разности высоть $C\,B$ центровъ обоихъ шкивовъ, можно вмѣсто цѣпной линіи принимать **параболу** (черт. 315).

$$y = \frac{q}{2H}x^2.$$

При $q = q_1 f$ и $S_1 \sim H = \sigma_z f$ имѣемъ: $y = \dfrac{q_1}{2\sigma_z}x^2$.

Приблизительно длина дуги параболы (см. стр. 110):

$$l = x\left(1 + \frac{2}{3}\frac{y^2}{x^2}\right).$$

Если принять во вниманіе потерю скорости $\mathfrak{V}$ (см. стр. 236 и замѣчаніе на стр. 469), то **передаточное число** φ будетъ:

$$\varphi \sim \frac{r_1 + {}^1/_3\,s}{r_2 + {}^2/_3\,s}(1-\mathfrak{V}),$$

гдѣ s толщина ремня или каната въ cm.

НТБ ДНУЗТ

b. Ременная передача.

Ременная передача должна быть проектирована такъ, чтобы у каждаго шкива средняя линія набѣгающей на шкивъ части ремня совпадала со средней линіей шкива. Если оба вала параллельны и шкивы лежатъ въ одной плоскости, то они вращаются въ одну и ту же сторону при открытомъ ремнѣ (см. черт. 312) и въ разныя стороны при перекрестномъ ремнѣ. Если валы не параллельны и не пересѣкаются и если среднія плоскости шкивовъ перпендикулярны одна къ другой, то имѣемъ ремень полуперекрестный. Если же направленія осей валовъ пересѣкаются, т.-е. при угловой передачѣ, то, кромѣ двухъ шкивовъ, нужны еще два направляющихъ ролика для направленія ремня.

1. Ремни.

Подробности о кожаныхъ приводныхъ ремняхъ см. VIII отдѣлъ, матеріалы.

Пусть (см. также стр. 469):

b ширина ремня въ cm,
s толщина „ „ „
} $f = b\,s$ площадь сѣченія ремня въ qcm,

(для одиночныхъ ремней, $s = 0{,}4$ до $0{,}8$ cm,
для двойныхъ ремней $s =$ до $1{,}6$ cm),

D діаметръ ведущаго шкива въ cm,
n число оборотовъ ведущаго шкива въ 1 минуту,
N число передаваемыхъ лош. силъ.

Для **передаваемой открытымъ ремнемъ силы** P имѣемъ, по К. Баху, на основаніи уравненія $P = c\,f$ (стр. 470) при $c = 10$ до $12{,}5$ kg/qcm при нормальныхъ условіяхъ:

$$P = 10\ b\,s \text{ до } P = 12{,}5\ b\,s,$$

смотря по качеству кожи; при этомъ принято (см. стр. 469): $\alpha \sim 2{,}8$ (слѣд. $\alpha : 2\pi \sim 0{,}45$), $v \sim 15$ m, $\mu = 0{,}25$, $q_1 = 0{,}11$, $\sigma_z = 22{,}5$ до $27{,}5$; кромѣ того, принято, что $D \geqq 100\,s$ и что ремень изъ хорошей кожи работаетъ на чугунныхъ шкивахъ.

(Въ особыхъ случаяхъ необходимо пользоваться уравненіемъ для P, даннымъ на стр. 470).

Для разсчета перекрестныхъ ремней принимаются нѣсколько меньшіе коэффиціенты для c, если разстояніе между осями шкивовъ недостаточно велико. При скрещивающихся ремняхъ увеличивается длина обхватываемой части обода и получается, особенно при малыхъ скоростяхъ, лучшее полезное дѣйствіе; при значительномъ натяженіи ремня треніе въ крестѣ весьма неблагопріятно. При большихъ скоростяхъ и широкихъ ремняхъ скрещеніе ихъ не допускается.

При сильно неравномѣрной передачѣ (ударные молоты, лѣсопильныя рамы) необходимо принимать среднее P и величину c соотвѣтственно неравномѣрности выбирать на 30% ниже.

НТБ ДНУЗТ

Значеніе $c = 6{,}5$, опредѣленное для $\alpha = 1{,}6$, можно принимать для круглыхъ пилъ, вентиляторовъ и т. п. Для

$$2{,}8 > \alpha > 1{,}6$$

необходимо принимать промежуточныя значенія для c.

Ремни, направляемые при движеніи своемъ вилками, или часто передвигаемые, равно какъ ремни, работающіе на шкивахъ малаго діаметра и, вообще, при невыгодныхъ условіяхъ (вертикально или съ сильнымъ наклономъ), нагружаются соотвѣтственно менѣе.

Ремни резиновые, балата, верблюжьей шерсти и хлопчатобумажные нагружаются въ обыкновенныхъ случаяхъ $P = 8\ b\,s$ до $10\ b\,s$.

Величина **работы, передаваемой ремнемъ**, въ лош. силахъ, если D діаметръ шкива въ **m**:

$$N = \frac{P\,v}{75} = \frac{c\,b\,s\,\pi\,D\,n}{60.75}\ ;\quad \text{откуда:}$$

$$b\,D = \frac{4500}{\pi\,c\,s}\,\frac{N}{n} = \frac{1432{,}4}{c\,s}\,\frac{N}{n}.$$

Отсюда получается, для среднихъ отношеній, легко запоминаемая приблизительная формула:

$$N = b\,R\,n,$$

гдѣ ширина ремня b и радіусъ шкива R выражены въ **m**.

Скорость ремня v выбирается $v = 3$ до 25 m/sec. Выше $v_{max} = 35$ m рѣдко идутъ; въ этомъ случаѣ необходимъ ремень изъ наилучшаго матеріала.

Для большихъ скоростей v (опредѣленная на основаніи опытовъ Морена, въ 1834 г., для $v \sim 3$ m/sec., см. стр. 234 и слѣд.) величина приведеннаго коэффиціента тренія μ не вѣрна; въ дѣйствительности, при $v = 15$ до 20 m, будемъ имѣть не $S_1 \sim 2\,S_2$, а $S_1 \sim 50\,S_2$ и больше.

Въ наиболѣе часто встрѣчающихся случаяхъ толщина ремня s значенія не имѣетъ. Такъ, напр., лучшіе хребтовые ремни толщиною около 0,5 cm (шириною 20 до 30 cm) при большой скорости могутъ быть такъ же напряжены, какъ и ремни менѣе равномѣрные (изъ боковыхъ частей кожи), толщиною 0,8 до 0,9 cm. Для послѣднихъ ремней полосы кожи должны быть шириной 1,2 m и длиной 1,5 m.

Толщина ремня и разрывающій грузъ не служатъ указаніями для качествъ кожи, весьма важно сохраненіе упругости (эластичности) ремня при его работѣ, что достигается правильнымъ уходомъ за ремнемъ. То обстоятельство, что наружнія волокна ремня, работающаго на шкивѣ, проходятъ путь большій, чѣмъ внутреннія волокна того же ремня, составляетъ весьма важный недостатокъ ременной передачи; уменьшеніе этого неудобства достигается для толстыхъ ремней выборомъ шкивовъ возможно большаго діаметра. При незначительной скорости ($v \sim 3$ m въ сек.) болѣе толстому ремню слѣдуетъ отдавать предпочтеніе, ибо напряженія внутреннихъ и наружнихъ волоконъ при этомъ успѣваютъ сравняться, и ведомая часть ремня болѣе натянута, чѣмъ при большой скорости ($v \geqq 10$ m въ сек.).

НТБ ДНУЗТ

По изложеннымъ причинамъ и въ предположеніи, что для извѣстныхъ діаметра шкива и скорости ремня выбрана подходящая кожа, Геркенсъ *) рекомендуетъ, на основаніи долголѣтнихъ наблюденій, принимать:

$$N = \frac{p\,b\,v}{75}, \qquad \text{или} \qquad b = \frac{75\,N}{p\,v},$$

гдѣ ширина ремня b выражена въ cm и скорость ремня v въ m въ сек.; p означаетъ силу въ kg, передаваемую 1 cm ширины ремня и зависящую отъ діаметра ведущаго шкива D и v. Значенія p въ kg на cm ширины ремня для различныхъ D и v помѣщены въ таблицѣ. Значенія p, напечатанныя жирнымъ шрифтомъ, служатъ для двойныхъ ремней, остальныя—для одинарныхъ.

Значенія p въ kg на 1 cm ширины ремня.

D m	v въ m/sec.: 3		5		10		15		20		25	
0,100	2		2,5		3		3		3,5		3,5	
0,200	3		4		5		5,5		6		6,5	
0,500	5	**8**	7	**9**	8	**10**	9	**11**	10	**12**	11	**13**
1,000	6	**10**	8,5	**12**	10	**14**	11	**16**	12	**17**	13	**18**
2,000	7	**12**	10	**15**	12	**20**	13	**22**	14	**24**	15	**25**

Одинарные ремни употребляются шириною до $b = 50$ cm; въ случаѣ болѣе широкихъ ремней, двойные заслуживаютъ предпочтенія. Наиболѣе прочныя волокна кожи находятся на $^1/_3$ толщины, считая отъ нижней (мясной) стороны, поэтому въ одинарномъ ремнѣ эта сторона должна прилегать къ шкиву; въ двойныхъ ремняхъ слѣдуетъ складывать оба ремня нижними сторонами кожи. Двойные ремни при небольшихъ шкивахъ даютъ производительность немного большую, чѣмъ одинарные той же ширины; наоборотъ, при большихъ шкивахъ ($R > 1$ m) они могутъ передавать силу большую на 70% и болѣе. Для двойныхъ ремней также должно быть $D \geqq 100\,s$, если s общая толщина ремня.

Примѣры. I. На шкивѣ діаметромъ 2 m одинарный ремень шириною $b = 20$ cm, при скорости $v = 25$ m, можетъ передавать (по вышеприведенной таблицѣ $p = 15$ kg/cm):

$$N = 15 \,.\, 20 \,.\, 25 : 75 = 100 \text{ лош. силъ.}$$

II. Для передачи 80 лош. силъ двойной ремень на шкивѣ діаметромъ 1 m, при скорости $v = 15$ m (слѣд., по таблицѣ $p = 16$ kg/cm) долженъ имѣть толщину

$$b = (75 \,.\, 80) : (16 \,.\, 15) = 25 \text{ cm}.$$

Давленіе на ось. Сила, которую передаетъ натянутый ремень на валъ ременной передачи при ея дѣйствіи, можетъ быть принята по стр. 470, если принять $\mu = 0{,}25$, $\alpha = 2{,}8$, равной

$$2\,S'_0 = 3\,P.$$

---

*) См. C. Otto Gehrckens, Die Leistung von Treibriemen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1893, стр. 15.

НТБ ДНУЗТ

Сила эта производитъ изгибъ вала и вызываетъ треніе въ его цапфахъ. Для большей осторожности необходимо, при разсчетахъ на прочность вала, а равно и при опредѣленіи его прогиба, еще нѣсколько увеличить приведенное значеніе этой силы, такъ какъ вновь сшитый и надѣтый ремень обыкновенно напряженъ нѣсколько сильнѣе, чѣмъ это требуется для передачи P kg.

Условія, **благопріятныя** для хорошей работы ременной передачи при открытыхъ ремняхъ, слѣдующія: передача отъ меньшаго числа оборотовъ къ большему; наивысшія точки обоихъ шкивовъ на одной горизонтальной линіи (или на линіи, составляющей съ горизонталью уголъ maximum въ 45°); нижній ремень—ведущій (верхній — ведомый, провѣсной); отношеніе діаметровъ шкивовъ 1 : 1 до 2 : 1 (maximum 5 : 1); разстояніе между валами для узкихъ ремней (при $b =$ до 10 cm) $e = 5$ m; для болѣе широкихъ $e = 10$ m, такъ чтобы узкіе ремни при горизонтальной передачѣ провисали на 50—100 mm, болѣе широкіе на 100—200 mm ($e > 15$ до 18 m не допускается); шкивы (въ особенности при большой скорости) точно центрированы, ⊥ къ валу, тщательно обточены и балансированы; ремни должны быть равномѣрной толщины и обладать одинаковой гибкостью на всемъ протяженіи.

При неблагопріятныхъ соотношеніяхъ: при работѣ съ ударами, перекрестныхъ ремняхъ, при небольшомъ разстояніи между валами слѣдуетъ p выбирать меньшимъ, нежели даетъ вышеприведенная таблица, или же слѣдуетъ выбирать особенно хорошій сортъ кожи. При передачѣ отъ большаго числа оборотовъ къ меньшему діаметръ ведущаго шкива слѣдуетъ выбирать не меньше 0,5 m или даже 1,0 m; ремни можно нагружать силою $= {}^1/_2\ p$ до ${}^1/_3\ p$. На это слѣдуетъ обращать вниманіе особеннно при передачѣ отъ электромотора.

Ремни, составленные по длинѣ изъ отдѣльныхъ кусковъ, слѣдуетъ, передъ постановкой, растягивать въ теченіе 1—3 дней при помощи подвѣшенныхъ къ нимъ грузовъ или при помощи натяжныхъ аппаратовъ соотвѣтственно нагрузкѣ 3 S_1 kg (см. стр. 469); въ случаѣ широкихъ ремней слѣдуетъ предварительно растянуть отдѣльные куски ремня (до сшивки). При этомъ получается остающееся удлиненіе въ 4—5%.

Ремни шириною болѣе 100 mm надо надѣвать на шкивы при помощи натяжного аппарата. При надѣваніи болѣе узкихъ ремней послѣдніе привязываются наплоско къ ободу шкива, такъ, чтобы край шкива не могъ разрѣзать ремня,

Если ремень былъ слабо сшитъ или вытянулся въ работѣ, онъ начинаетъ скользить по шкиву. Для устраненія этого лучше всего смазать рабочую поверхность ремня саломъ. Въ первый моментъ послѣ этого ремень начинаетъ скользить по шкиву; но затѣмъ впитываетъ въ себя сало, дѣлается короче почти на 2% и начинаетъ тянуть лучше. Канифоль и другія смолистыя вещества (вмѣсто сала) дѣлаютъ ремень жесткимъ и ломкимъ и уменьшаютъ продолжительность его службы.

Наилучшее **соединеніе** для ремня, съ цѣлью сдѣлать его безконечнымъ, состоитъ въ томъ, чтобы клееный ремень склеить, а сшитый ремень—сшить въ мѣстахъ соединенія. Для обыкновенной передачи открытымъ и перекрестнымъ ремнемъ это желательно; наоборотъ, это обязательно для угловой передачи и передачи при помощи коническихъ барабановъ, а также при большихъ скоростяхъ.

Большія утолщенія ремня въ мѣстѣ сшивки приносятъ вредъ вслѣдствіе ударовъ по шкивамъ, увеличенія вѣса ремня, главнымъ же образомъ потому, что ремень

НТБ ДНУЗТ

сильно растягивается, когда длинное мѣсто сшивки вступаетъ на меньшій шкивъ. Если ведущая часть ремня внезапно растянется и укоротится на 5—6 mm, то происходитъ въ передачѣ ударъ, который, напр., замѣтенъ въ электрическомъ освѣщеніи и при частыхъ повтореніяхъ ведетъ къ разрыву ремня.

Главное условіе соединенія ремней состоитъ въ томъ, чтобы мѣсто сшивки не было толще самаго ремня; поэтому, при соединеніяхъ ремней въ нахлестку, слѣдуетъ оба конца срѣзать по толщинѣ наискось.

При **полускрещенной** передачѣ разстояніе между валами, по Фелькеру: $e \geqq 10\sqrt{b\,D}$,
гдѣ e, b и D въ метрахъ; e должно быть, по крайней мѣрѣ, вдвое больше діаметра большого шкива.

Въ передачѣ **подъ угломъ** шкивъ, направляющій ведущую часть ремня, долженъ имѣть діаметръ, по меньшей мѣрѣ, равный діаметру, и ширину = 1,5 ширины ведущаго шкива; шкивъ, направляющій ведомую часть ремня, долженъ имѣть діаметръ, по меньшей мѣрѣ, равный діаметру и ширину = 2,0 до 2,5 ширины ведомаго шкива.

Передача открытымъ ремнемъ при помощи **коническихъ барабановъ** требуетъ опредѣленной скорости ремня, наименьшая величина которой находится въ зависимости отъ уклона конуса ($\leqq 1:10$); набѣгающую часть ремня слѣдуетъ направлять. Передаточное число въ этой передачѣ непрерывно измѣняется.

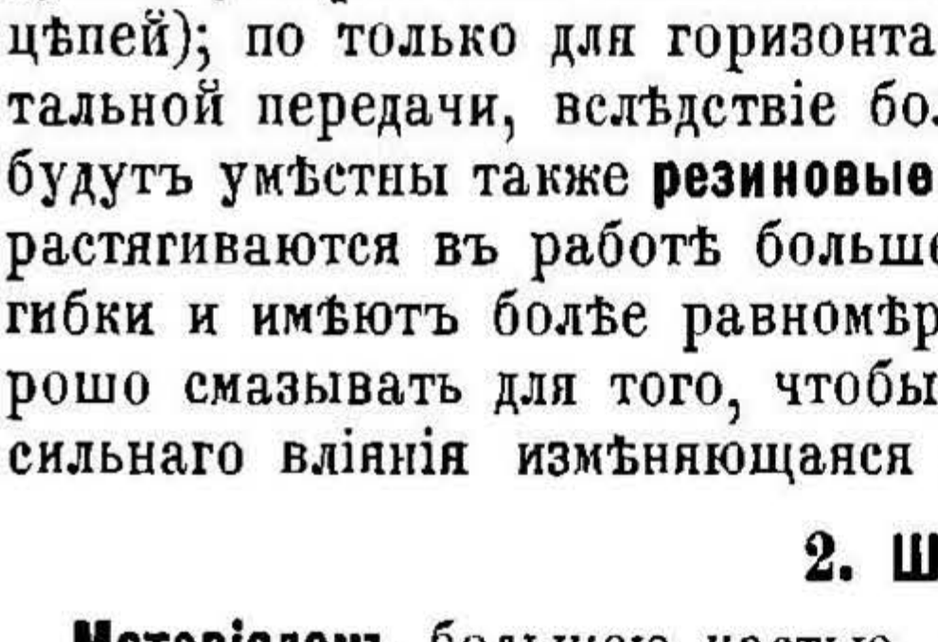
Натяжные ролики. Натяженію подвергается всегда ведомая часть ремня. Натяжной роликъ слѣдуетъ помѣщать возможно ближе къ ведомому шкиву.

Въ сырыхъ помѣщеніяхъ, вмѣсто гладкихъ ремней, рекомендуется употребленіе **металлическихъ составныхъ ремней** (въ родѣ цѣпей); но только для горизонтальной или близкой къ горизонтальной передачи, вслѣдствіе большого вѣса этихъ ремней. Здѣсь будутъ умѣстны также **резиновые ремни.—Хлопчатобумажные** ремни растягиваются въ работѣ больше, чѣмъ кожаные; но они болѣе гибки и имѣютъ болѣе равномѣрную толщину. Ихъ слѣдуетъ хорошо смазывать для того, чтобы на длину ремня не оказывала сильнаго вліянія измѣняющаяся степень влажности воздуха.

2. Шкивы.

Матеріаломъ большею частью служитъ чугунъ; для временной работы и второстепенныхъ цѣлей также и дерево. Желѣзные шкивы (ступица изъ чугуна или литой стали, спицы изъ круглаго желѣза, ободъ изъ листового желѣза) мало употребляются. Приводимыя ниже данныя относятся къ чугуннымъ шкивамъ:

Черт. 316.



Ширина обода для открытаго ремня при спокойномъ ходѣ:
$B = 1{,}1\,b + 1{,}0$ cm;
для перекрестнаго ремня приблизительно на 3 cm больше.

Толщина края обода:
$s_1 = 0{,}01\,R + 0{,}3$ cm.

Стрѣлка w обода шкива, если w и B въ mm:
$w = {}^1/_4\sqrt{B}$ до ${}^1/_3\sqrt{B}$.

НТБ ДНУЗТ

Выпуклость обода имѣетъ цѣлью исправить небольшія, неизбѣжныя ошибки въ установкѣ передачи.

Всѣ ведущіе шкивы, оба шкива при передачѣ перекрестнымъ ремнемъ и подъ угломъ (въ послѣднемъ случаѣ и направляющіе ролики), а также шкивы, по которымъ ремень долженъ передвигаться или на которыхъ работаютъ нѣсколько ремней, не должны имѣть выпуклаго обода, а обточены **цилиндрическими** *).

Горизонтальные шкивы дѣлаются **съ закраиной**; въ другихъ случаяхъ слѣдуетъ избѣгать закраинъ, потому что онѣ не только не приносятъ пользы, но даже портятъ ремень, разъ онъ касается закраины.

Слѣдуетъ употреблять **точеные** шкивы, потому что ремень, благодаря своей эластичности, скользитъ по шкиву, т. е. опережаетъ шкивъ (удлиняется) или отстаетъ отъ него (укорачивается), смотря по тому, переходитъ ли онъ изъ ведомой части въ ведущую, или наоборотъ, далѣе, потому что изнашиваніе ремня, происходящее вслѣдствіе его скольженія, меньше при точеныхъ шкивахъ, чѣмъ при неточеныхъ.

Если D діаметръ шкива въ **mm**, то **число спицъ** приблизительно:

$$i = {}^1/_7\sqrt{D}.$$

Спицы (при достаточно тонкомъ ободѣ) дѣлаются прямыми; кривыя же спицы употребляются рѣдко, такъ какъ онѣ, увеличивая вѣсъ шкива, не крѣпче прямыхъ и не устраняютъ напряженій въ матеріалѣ, появляющихся при отливкѣ.

Сѣченіе спицъ, уменьшающееся отъ ступицы къ ободу въ отношеніи 5 : 4, большею частью эллиптическое (съ отношеніемъ осей отъ 1 : 2 до 1 : 2,5). Если вообразить спицу продолженной до оси шкива и если большая ось полученнаго эллипса h, а меньшая $0{,}4\,h$, то, принимая, что работаетъ ${}^1/_3\,i$ спицъ, найдемъ:

$$h = \sqrt[3]{\frac{2{,}5}{i}\,b\,s\,R},$$

гдѣ b, s и R выражены въ cm, а для $b\,s$ надо положить не менѣе 3 qcm.

Ступица шкива можетъ имѣть: ту же толщину, какъ въ зубчатыхъ колесахъ (стр. 464), и длину $= B$, если только $B \geqq 1{,}2\,d$ до $1{,}5\,d$ (d = діаметръ вала). Болѣе широкіе шкивы имѣютъ длину ступицы меньшую B. Въ двойныхъ шкивахъ достаточно имѣть длину ступицы $= {}^1/_2\,B$, если ${}^1/_2\,B \geqq {}^5/_4\,d$ до ${}^7/_4\,d$. Если $B > 30$ cm, то шкивы дѣлаются съ двойнымъ рядомъ спицъ.

Шкивы укрѣпляются на валу помощью шпонокъ (см. стр. 465) или, для болѣе удобнаго передвиженія шкива по валу, по-

(Продолженіе на стр. 479).

*) См. C. Otto Gehrckens, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1889, стр. 113.

НТБ ДНУЗТ

Вѣсъ чугунныхъ шкивовъ въ kg.

По даннымъ B.-A. M.-A.-G. Dessau.

Верхнія цифры даютъ вѣсъ цѣлыхъ, **нижнія**—сверткыхъ шкивовъ. Шкивы имѣютъ ободъ съ прамолинейнымъ профилемъ. Отверстіе ступицы $< 0{,}1\ D + 20$ mm.

D въ mm	Ширина B шкива въ mm.											D въ mm
	75	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	
200	6 7	7 8	9 10	11 12	14 16	17 19	26 29	30 33	34 37			200
300	8 9	10 11	13 14	16 17	19 21	23 25	33 36	40 43	45 48			300
400	11 12	14 16	17 19	22 24	24 26	30 33	44 48	52 56	60 64			400
500	15 17	18 20	23 25	28 31	31 34	40 44	56 61	68 73	78 83	89 94	100 105	**500**
600	19 22	23 26	29 32	35 39	38 42	51 56	72 78	85 91	98 104	110 116	125 131	600
700	24 27	29 32	36 39	43 47	47 51	62 67	89 95	105 111	121 127	135 141	152 158	700
800	29 34	36 42	44 50	51 60	57 66	75 86	108 122	126 140	145 159	165 181	181 197	800
900	36 42	44 51	52 59	60 69	69 78	88 101	128 143	149 164	170 185	193 211	213 231	900
1000		52 59	61 68	70 79	81 91	104 118	148 164	175 191	197 213	224 245	247 268	**1000**
1100		60 68	70 78	80 90	95 105	122 138	170 189	202 221	227 246	259 281	287 309	1100
1200		69 77	80 88	92 103	110 121	140 158	194 218	230 254	260 285	296 329	330 364	1200
1300		78 88	91 101	105 117	128 141	159 181	220 256	259 295	298 335	340 389	377 426	1300
1400		88 99	102 114	119 132	146 160	179 201	247 285	290 330	336 381	383 438	425 480	1400
1500				133 149	165 181	201 225	275 315	323 365	376 422	430 487	477 534	**1500**
1600				147 166	185 205	224 250	304 346	358 402	418 466	477 537	530 591	1600
1700				162 182	206 230	248 278	335 379	395 440	460 509	530 593	585 649	1700
1800				178 198	228 254	274 308	367 413	434 481	503 554	575 640	640 706	1800
1900				195 218	251 281	300 338	400 450	474 526	547 603	625 695	689 761	1900
2000					275 307	327 371	434 494	516 576	592 652	675 758	756 839	**2000**
2500					410 450	482 532	622 702	753 837	841 925	963 1063	1075 1185	2500
3000					572 622	672 740	859 959	1052 1154	1154 1258	1300 1430	1450 1590	3000
3500					762 819	910 985	1120 1232	1388 1504	1534 1654	1720 1865	1915 2075	3500
4000					975 1040	1175 1260	1415 1540	1752 1882	1980 2120	2200 2365	2450 2630	4000

НТБ ДНУЗТ

мощью трущихся призмъ, которыя прижимаются къ валу нажимными винтами, или же помошью кольцевого клипа (изъ трехъ частей), если валъ имѣетъ выступы, которые требуютъ большаго отверстія во втулкѣ. Если шкивъ состоитъ изъ двухъ половинъ, то онъ можетъ быть прижатъ къ валу помощью болтовъ, соединяющихъ обѣ половины.

Холостые шкивы имѣютъ длину ступицы $= 2\,d$ и больше. Слѣдуетъ заботиться о невозможности передвиженія шкива по валу и о хорошей смазкѣ. Передвигается набѣгающая часть ремня.

3. Ступенчатые шкивы *).

Условіе: Длина ремня $L = \text{const}$. Ступенчатые шкивы часто устраиваются такъ, что числа оборотовъ **ведомаго** вала составляютъ геометрическую прогрессію.

Вообще дается: разстояніе между осями e, число ступеней, числа оборотовъ ведомаго вала въ минуту n_{max} и n_{min}, постоянное число оборотовъ въ минуту ведущаго вала n и наибольшій радіусъ шкива на немъ r_1, которому соотвѣтствуетъ на ведомомъ валу наименьшій радіусъ ступенчатаго шкива:

$$r_2 = r_1\,(n : n_{max}).$$

Теоретическая длина ремня:

$$L = \pi\,(r_1 + r_2) + 2\,\beta\,\frac{\pi}{180}\,(r_1 \mp r_2) + 2\,e\sqrt{1 - \left(\frac{r_1 \mp r_2}{e}\right)^2} \qquad \text{I.}$$

$$L \backsim \pi\,(r_1 + r_2) + 2\,e + \left(\frac{r_1 \mp r_2}{e}\right)^2 \qquad \text{II.}$$

Здѣсь знакъ — для открытаго и знакъ + для перекрестнаго ремней. Уголъ β (см. черт. 312, стр. 469) въ градусахъ опредѣляется изъ:

$$\sin\beta = (r_1 \mp r_2) : e.$$

Если ремень длиною L долженъ служить для двухъ другихъ радіусовъ шкивовъ R_1 и R_2, то въ случаѣ **перекрестнаго ремня** достаточно выполненіе условія:

$$R_1 + R_2 = r_1 + r_2,$$

т. е. сумма двухъ соотвѣтствующихъ радіусовъ ступенчатыхъ шкивовъ должна быть постоянной.

Поэтому также, въ случаѣ перекрестнаго ремня, коноидальные барабаны должны имѣть одинаковые углы.—Въ нѣкоторыхъ случаяхъ оба ступенчатыхъ шкива (соотв. коническіе барабана) могутъ быть отлиты совершенно одинаковыми, по одной модели.

Если при **открытомъ** ремнѣ имѣемъ $e \geqq 20\,(r_1 - r_2)$, то достаточно также выполненіе условія $R_1 + R_2 = r_1 + r_1 = \text{const}$. Если же e меньше и принимается во вниманіе, напр., передаточное чи-

*) См. J. Bartl, Civilingenieur, томъ XXVI, вып. 1; далѣе Kohn, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1886, стр. 1004.

НТБ ДНУЗТ

сло $\varphi = R_1 \; R_2$ (точнѣе величина φ выражается по стр. 471), то R_2 опредѣляется (пользуясь значеніемъ L изъ ур. II) изъ:

$$R_2^2(\varphi - 1)^2 + \pi(\varphi + 1)\,e\,R_2 + 2e^2 = e\,L;$$

$$R_1 = \varphi\,R_2;\ \text{и т. д.}$$

Затѣмъ можно опредѣлить точную величину L по ур. I. Найдя L для различныхъ паръ радіусовъ шкивовъ, можно провѣрить вычисленіе. При небольшомъ e и открытомъ ремнѣ нельзя получить, если разсчитывать точно, двухъ одинаковыхъ ступенчатыхъ шкивовъ; точно такъ же, при передачѣ коноидальными барабанами, приходится одинъ изъ барабановъ изготовлять нѣсколько выпуклымъ.

c. Передача проволочными канатами.

1. Проволочные канаты. Проволоки, расположенныя по винтовой поверхности вокругъ сердцевины изъ пеньки, образуютъ стренгу; канатъ состоитъ изъ извѣстнаго числа стренгъ, расположенныхъ винтообразно вокругъ общей сердцевины изъ пеньки (см. табл. I и II, стр. 481). Вмѣсто послѣдней въ качествѣ сердцевины можно брать мягкую, отожженную желѣзную проволоку; эти канаты (см. табл. III, стр. 482) менѣе гибки, чѣмъ канаты съ пеньковой сердцевиной, но не такъ легко растягиваются и примѣняются поэтому при значительныхъ разстояніяхъ между шкивами.

Проволока для канатовъ приготовляется изъ шведскаго желѣза на древесномъ углѣ или тигельной стали, оцинкованная или неоцинкованная. Если передача расположена на открытомъ мѣстѣ и разстояніе между осями велико, то слѣдуетъ брать стальные проволочные канаты изъ оцинкованной проволоки (для устраненія ржавчины). Для соединенія концовъ каната требуется лишнихъ 3 до 5 метровъ длины каната. Замки для соединенія концовъ каната съ теченіемъ времени портятъ канатный шкивъ. Для предохраненія канатовъ отъ ржавчины слѣдуетъ каждыя 3—6 недѣль **смазывать** ихъ варенымъ льнянымъ масломъ или варенымъ саломъ съ графитомъ.

Модуль упругости для проволочныхъ канатовъ см. стр. 236 и 339; онъ равенъ приблизительно одной трети модуля упругости для проволоки и увеличивается съ увеличеніемъ натяженія *).

2. Шкивы для проволочныхъ канатовъ (цѣлые или изъ двухъ половинъ) отливаются обыкновенно изъ чугуна съ 6 или 8 прямыми спицами эллиптическаго сѣченія (см. стр. 477); при діаметрѣ > 1 m также съ двойной желѣзной звѣздой спицъ и большимъ числомъ спицъ. Въ свертныхъ шкивахъ плоскость стыка ихъ можетъ быть или по спицѣ, или посрединѣ между двумя спицами. Вѣса чугунныхъ канатныхъ шкивовъ см. ниже въ таблицѣ. Шкивы должны быть хорошо балансированы; лучше ихъ укрѣплять на валу не на шпонкѣ, а при помощи разрѣзной втулки и нажимныхъ болтовъ.

Желоба канатнаго шкива имѣютъ глубину = двойной толщинѣ каната, такъ что канатъ легко вложить въ желобъ шкива или снять со шкива.

---

*) О квадратныхъ проволочныхъ канатахъ см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 374 до 377.

НТБ ДНУЗТ

Въ желобъ **шкива проволочной передачи** обыкновенно прокладывается дерево или кожа. Прокладка загоняется туго и обтачивается. Продолжительность службы кожаной прокладки 3 года и больше. Шкивы эти могуть изготовляться и безъ прокладовъ, но тогда профиль желоба должна вполнѣ соотвѣтствовать данному діаметру каната и притомъ такъ, чтобы канатъ одною третью своей окружности прилегалъ къ желобу.

При заказѣ передаточныхъ канатовъ и шкивовъ къ нимъ необходимо указывать число лошад. силъ, діаметръ шкива, діаметръ ступицы внутренній; цѣльный или свертный шкивъ, разстояніе между осями, числа оборотовъ шкиловъ, профиль желоба и имѣется ли въ желобѣ прокладка.

Вѣса канатныхъ шкивовъ (съ чугунными спицами).

6 спицъ. Шкивъ разрѣзанъ по спицамъ.		Шкивы **цѣльные.**								Шкивы **изъ двухъ частей.**			
Діаметръ каната шкива.	mm	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3600
Вѣсъ каната шкива съ **одною канавкою.**	kg	106	135	160	215	270	330	400	575	1015	1200	1410	1600
Вѣсъ каната шкива съ **двумя канавками.**	kg	170	210	255	315	395	510	645	825	1270	1580	1950	2300

Приводные проволочные канаты Фельтенъ и Гильомъ.

I.
Нормальные діаметры шкивовъ:
$D = 150\,d$ до $175\,d$.

Діаметръ каната mm	Число проволокъ въ канатѣ. Штукъ.	Толщина проволокъ въ канатѣ. mm	Приблизительный вѣсъ 1 пог. мет. каната. kg
9	36	1,0	0,26
10	42	1,0	0,31
11	36	1,2	0,38
12	42	1,2	0,45
13	36	1,4	0,51
14	42	1,4	0,61
15	48	1,4	0,70
16	42	1,6	0,79
18	48	1,6	0,91
20	48	1,8	1,15
22	54	1,8	1,30
24	60	1,8	1,46
26	60	2,0	1,80
28	66	2,0	2,00
30	72	2,0	2,20

II.
Малые діаметры шкивовъ:
$D = 120\,d$ до $150\,d$.

Діаметръ каната. mm	Число проволокъ въ канатѣ. Штукъ.	Толщина проволокъ въ канатѣ. mm	Приблизительный вѣсъ 1 пог. мет. каната. kg
11	48	1,0	0,36
12	54	1,0	0,40
13	60	1,0	0,45
14	64	1,0	0,48
15	72	1,0	0,55
16	64	1,2	0,69
18	72	1,2	0,79
20	80	1,2	0,88
22	80	1,4	1,20
24	88	1,4	1,33
26	80	1,6	1,56
28	88	1,6	1,73
30	80	1,8	1,98
32	88	1,8	2,19
34	96	1,8	2,41
37	96	2,0	2,97

НТБ ДНУЗТ

III.

Приводные проволочные канаты съ желѣзною проволокою вмѣсто пеньки въ отдѣльныхъ прядяхъ

(только для большихъ разстояній между шкивами и для большихъ діаметровъ шкивовъ).

Наимен. допуск. діаметръ канатн. шкивовъ mm	Толщина проволоки. mm	Діаметръ каната. mm	Число проволокъ.	Приблизительн. вѣсъ 1 пог. мет. каната*). kg	Наимен. допуск. діаметръ канатн. шкивовъ. mm	Толщина проволоки. mm	Діаметръ каната. mm	Число проволокъ.	Приблизительн. вѣсъ 1 пог. мет. каната*). kg
1000	1,0	7	24	0,18	1500	1,5	10,5	24	0,41
		9	42	0,32			14	42	0,71
		12	56	0,42			18	56	0,95
1100	1,1	7,5	24	0,22	1600	1,6	11	24	0,46
		10	42	0,38			15	42	0,81
		13	56	0,51			19	56	1,08
1200	1,2	8,5	24	0,26	1700	1,7	12	24	0,52
		11	42	0,46			16	42	0,92
		14	56	0,60			20	56	1,21
1300	1,3	9	24	0,30	1800	1,8	13	24	0,58
		12	42	0,54			17	42	1,03
		15	56	0,71			21	56	1,36
1400	1,4	10	24	0,35	2000	2,0	14	24	0,72
		13	42	0,62			19	42	1,27
		17	56	0,82			23	56	1,68

3. Установка передачи. Передача проволочными канатами цѣлесообразна при большихъ разстояніяхъ между валами; большею частью вся работа передается однимъ безконечнымъ канатомъ; для большей безопасности устраиваютъ два отдѣльныхъ приводныхъ каната.

Требуемыя натяженія канатовъ S_1 и S_2 (ср. стр. 469 и сл.) достигаются собственнымъ ихъ вѣсомъ; натяжныхъ шкивовъ и сильнаго натягиванія канатовъ при надѣваніи здѣсь не требуется. Наименьшее разстояніе между осями 15 до 20 m, наибольшее 80 до 125 m; незначительныя усилія можно передавать, впрочемъ, на разстояніи между осями до 13 m, при относительно большихъ діаметрахъ шкивовъ.

Если разстояніе между осями болѣе 125 m, то слѣдуетъ поддержать канатъ,—главнымъ образомъ, ведомую часть его,—при помощи поддерживающихъ роликовъ (при наибольшемъ разстояніи между ними 80 до 125 m), или же, лучше, раздѣлить все разстояніе между осями (доходящее до 2000 m) на нѣсколько частей ($\leqq$ 100 m) и

*) Переходъ къ русскимъ мѣрамъ достигается умноженіемъ цифръ таблицы на:
0,744 для полученія вѣса 1 пог. фут. въ рус. фунтахъ.
5,210 „ „ „ 1 „ саж. „ „ „
1,730 „ „ „ 1 „ арш. „ „ „

НТБ ДНУЗТ

расположить въ мѣстахъ дѣленія (станціяхъ) промежуточные шкивы съ двумя канавками; разстоянія между станціями должны быть, по возможности, равны между собой, чтобы тѣмъ уменьшить число готовыхъ запасныхъ канатовъ.

Измѣненіе направленія канатовъ достигается при помощи направляющихъ шкивовъ или, лучше, при помощи пары коническихъ колесъ или же угловой ременной передачи. Устройство поддерживающихъ и направляющихъ роликовъ, вообще, не цѣлесообразно.

Среднія плоскости ведущаго и ведомаго шкивовъ должны находиться, по возможности, въ одной горизонтальной и непремѣнно въ одной вертикальной плоскости; ведущій, ведомый и промежуточный шкивы должны имѣть, по возможности, одинаковый діаметръ. Если желательно имѣть на ведомомъ валу число оборотовъ нѣсколько большее или меньшее, то слѣдуетъ устроить ременную передачу отъ источника силы къ ведущему валу канатной передачи. Безусловно слѣдуетъ избѣгать въ передачѣ ударовъ, способствующихъ преждевременному разрыву каната. Нижній канатъ долженъ быть тянущимъ (ведущимъ).

Провѣсъ каната (на 100 m длины) составляетъ приблизительно 1,5 m для ведущаго и 3 m для ведомаго каната. По провѣсу каната выбирается высота устоевъ для подшипниковъ. Измѣненіе длины каната вслѣдствіе измѣненія температуры (составляющее $\pm$ 25 mm на 100 m каната при разницѣ температуръ въ 40^0) выравнивается собственнымъ провѣсомъ каната.

Вертикальная или приблизительно вертикальная передача, при употребленіи обыкновенныхъ проволочныхъ канатовъ, безъ натяжныхъ или направляющихъ шкивовъ, не допускается. Слѣдуетъ устраивать предохранительныя приспособленія (сѣтки и т. д.) на случай соскакиванія или разрыва каната.

4. Разсчетъ проволочныхъ канатовъ. Обозначенія:

d діаметръ каната въ cm,
δ толщина проволоки въ cm,
i число проволокъ въ канатѣ,
D діаметръ ведущаго шкива въ cm,
n число оборотовъ его въ минуту,
v скорость каната въ m/sec.,
P сила, передаваемая канатомъ, въ kg,
N число лошадиныхъ силъ,
E модуль упругости матеріала проволоки въ kg/qcm (см. стр. 339),
c_1 (въ kg/qcm) нѣкоторый коэффиціентъ.

Остальныя обозначенія S_1, S_2, S_0, k_z, σ_z, q, α, μ, e, g см. стр. 469.

Чѣмъ больше D, тѣмъ дольше служитъ канатъ и тѣмъ лучше онъ работаетъ. Слѣдуетъ выбирать (также и для ведомаго и промежуточныхъ шкивовъ):

$$D \geqq 150\,d \text{ до } 175\,d.$$

НТБ ДНУЗТ

Діаметръ поддерживающаго шкива $= 0{,}8\ D$. Число оборотовъ n ($= 100$ до 130) и D слѣдуетъ выбирать такъ, чтобы при передачѣ небольшихъ силъ $v = 6$ до 10 m/sec., при передачѣ большихъ силъ $v = 20$ до 30 m/sec.

Если σ_b обозначаетъ напряженіе отъ изгиба въ канатѣ, вызываемое огибаніемъ шкива, и если допустить для желѣзо-проволочныхъ канатовъ общее напряженіе $k_z = 1050$ kg/qcm, то для средняго значенія $D = 2000\,\delta$ и $E = 2\,000\,000$ kg/qcm, изъ

$$\sigma_b = \left(\frac{3}{8}E\right)\frac{\delta}{D} \text{ и } k_z = \sigma_z + \sigma_b$$

слѣдуетъ, что среднее нормальное напряженіе, вызываемое въ канатѣ натяженіемъ S_1: $\sigma_z = 675$ kg/qcm.

Для среднихъ отношеній имѣемъ сѣченіе каната:

$$f = i\,.\,{}^1/_4\,\pi\,\delta^2 = 0{,}42\,.\,{}^1/_4\,\pi\,d^2.$$

$$S_1 = \sigma_z\,f = 223\,d^2 = c_1\,d^2, \text{ такъ что } c_1 = S_1 : d^2.$$

Далѣе, въ среднемъ имѣемъ: $q = 0{,}35\,d^2$, $\mu = 0{,}25$ (для шкивовъ съ выложенными кожей канавками), $\alpha = 2{,}8$, слѣд. $e^{\mu\alpha} \backsim 2$, такъ что изъ общей формулы для P (стр. 470) слѣдуетъ:

$$P = 0{,}5\left(c_1 - 0{,}35\,\frac{v^2}{g}\right)d^2.$$

Для $v = 25$ m/sec., $g = 9{,}81$ m/sec^2., $c_1 = 223$ kg/qcm:

$$P \leqq 100\,d^2.$$

Это значеніе P годится только при вышеприведенныхъ условіяхъ. Для небольшихъ діаметровъ шкивовъ, при малыхъ разстояніяхъ между валами, а также при шкивахъ, канавки которыхъ не выложены кожей, слѣдуетъ выбирать P меньше.

Если извѣстны N, v и n, то, полагая $D = 200\,d$, изъ $P\,v = 75\,N$ имѣемъ:

$$d^2 \geqq \frac{3}{4}\,\frac{N}{v} \text{ и } d \geqq \sqrt[3]{\frac{45}{2\,\pi}\,\frac{N}{n}} = 1{,}93\sqrt[3]{\frac{N}{n}}.$$

Для ведомой части каната (при вышесказанныхъ условіяхъ) $S_2 = 123\,d^2$, такъ что канатъ долженъ быть надѣтъ на шкивы съ натяженіемъ $S_0 = {}^1/_2\,(S_1 + S_2) = 173\,d^2$.

Наибольшая величина передаваемой работы $(P\,v)_{\max}$, при $S_1 = 223\,d^2$ и $q = 0{,}35\,d^2$, получается при $v' = 45{,}6$ m/sec.; однако, обыкновенно выбираютъ $v = 25$ m/sec., какъ принято выше.

Относительно провѣса каната см. стр. 470 и 471. Потеря скорости $\mathfrak{V}$ очень мала, поэтому можно ее не принимать во вниманіе при опредѣленіи передаточнаго числа. Потеря работы составляетъ отъ 1 до $1{,}5\%$ на каждые 100 m разстоянія между валами.

d. Передача пеньковыми и хлопчатобумажными канатами.

1. Канаты. Канатъ состоитъ большею частью изъ 3 стренгъ или прядей, изъ которыхъ каждая свивается изъ большого числа пи-

НТБ ДНУЗТ

тей. Если d діаметръ каната и δ діаметръ стренги, то $d \sim 2{,}2\ \delta$; общая же площадь сѣченія стренгъ составляетъ приблизительно только $0{,}62 . {}^1/_4 \pi d^2$. Ходъ винтовой линіи стренги въ среднемъ около $5\,\delta$. Менѣе гибкіе канаты изъ пеньки Манилья требуютъ діаметра шкива отъ 2 m и больше; для хлопчатобумажныхъ канатовъ годятся и шкивы діаметромъ, меньшимъ 1 m.

Для соединенія концовъ каната требуется отъ 3 до 4 m длины каната. Новое сращиваніе растянувшихся въ работѣ канатовъ стоитъ дорого и отнимаетъ много времени; поэтому передъ употребленіемъ слѣдуетъ обязательно канаты хорошо растянуть и высушить.

Модуль упругости E для пеньковыхъ канатовъ (для суммы сѣченій отдѣльныхъ прядей) см. стр. 236 и 339. Продолжительность службы канатовъ при умѣломъ уходѣ до 6 лѣтъ и больше *). Хлопчатобумажные канаты для телѣжекъ, катающихся балокъ и т. д. употребляются діаметромъ отъ 16 до 22 mm; они могутъ быть примѣнены и для передачи, при которой происходятъ удары (напр. въ прокатномъ дѣлѣ).

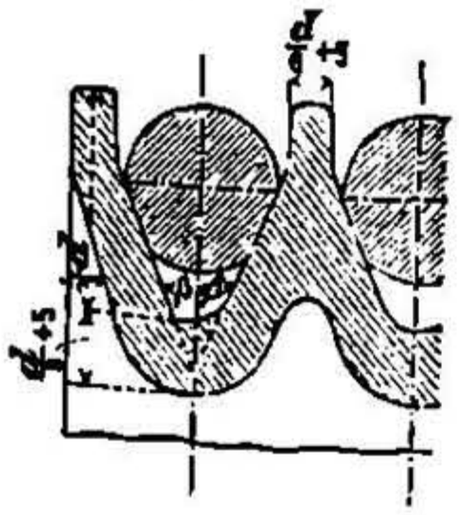
Наиболѣе употребительные передаточные канаты
Felten & Guilleaume (въ Кельнѣ).

Вѣсъ каната въ kg на 1 пог. метръ длины.

Діаметръ каната въ mm.		25	30	35	40	45	48	50	55
Баденская пенька	слабо скручен.	0,50	0,70	0,95	1,20	1,50		1,78	2,20
	сильно „	0,52	0,72	0,98	1,24	1,54		1,83	2,26
Пенька Манилья	слабо	0,45	0,62	0,82	1,06	1,35		1,60	1,90
	сильно	0,47	0,64	0,85	1,09	1,39		1,65	1,96
Хлопчатая бумага	слабо	0,46	0,65	0,86	1,10	1,35	1,55	1,69	2,00
	сильно	0,47	0,67	0,89	1,13	1,40	1,59	1,74	2,06

2. Канатные шкивы отливаются обыкновенно изъ чугуна, большею частью съ 6 прямыми спицами; при ширинѣ > 300 mm дѣлается двойной рядъ спицъ; шкивы діаметромъ > 3 m имѣютъ отъ 8 до 10 спицъ. Сѣченіе спицъ эллиптическое (см. стр. 477). Шкивы изготовляются цѣльными и свертными (см. стр. 481).

Черт. 317.



Число канавокъ, по числу канатовъ, отъ 2 до 25 и больше. Канавки должны быть выточены по возможности одинаковаго діаметра и поперечнаго сѣченія. Для ведущихъ и промежуточныхъ шкивовъ форма канавки исполняется по черт. 317, гдѣ d діаметръ каната въ mm и $\operatorname{tg}\beta = {}^8/_{20}$ до ${}^9/_{20}$, или $2\beta \sim 45^0$; для направляющихъ шкивовъ канавка имѣетъ внизу круглое сѣченіе по діаметру каната.

*) О квадратныхъ пеньковыхъ канатахъ J. H. Bek въ Шафгаузенѣ см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 374 до 377.

НТБ ДНУЗТ

Вѣса чугунныхъ канатныхъ шкивовъ въ kg.

Eisenwerk Wülfel (Hannover).

Верхнія цифры для цѣльныхъ шкивовъ, нижнія—для свертныхъ.

Діаметръ шкива. mm	Число канавокъ для канатовъ діаметромъ 45 mm.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1350	180 205	255 290	330 380	410 475	490 565	565 660	700 795	780 885	860 970	950 1070
1500	205 230	295 335	375 430	460 530	550 635	635 740	790 895	880 995	970 1090	1065 1200
2000	305 335	420 470	535 605	655 740	770 870	885 1010	1125 1250	1255 1395	1370 1515	1495 1655
2500	420 460	575 640	730 820	885 995	1040 1170	1200 1355	1545 1700	1705 1875	1865 2045	2015 2215
3000	570 620	770 845	970 1070	1175 1300	1380 1530	1585 1760	2055 2230	2260 2450	2465 2670	2670 2895

3. Установка передачи. Передача пеньковыми или хлопчатобумажными канатами цѣлесообразна въ томъ случаѣ, если ремни, вслѣдствіе большой длины и ширины, оказываются слишкомъ дорогими; въ ременной передачѣ имѣется только одинъ движущій органъ, здѣсь же сила распредѣляется между извѣстнымъ числомъ канатовъ (діаметромъ не больше 50 до 55 mm), которые могутъ, смотря по надобности, передавать опять всю силу цѣликомъ. Отдѣльныя группы канатовъ отъ ведущаго вала приводятъ во вращеніе различные приводные валы. Требуемыя натяженія канатовъ S_1 и S_2 (см. стр. 469 и слѣд.) получаются отъ собственнаго вѣса ихъ и отъ сильнаго натягиванія при надѣваніи; для этой цѣли канатъ, предварительно высушенный, сращивается такъ, чтобы длина его была на 3 до 5% меньше той, которая требуется при данныхъ разстояніяхъ между валами и діаметрахъ шкивовъ. Давленіе на ось $2S_0'$ въ kg (см. стр. 470) при вновь натянутомъ канатѣ доходитъ до 40 d^2 (d въ cm) и болѣе; вслѣдствіе этого шкивы, валы, цапфы и подшипники должны быть разсчитаны на это наибольшее давленіе. Провѣсъ каната противодѣйствуетъ укорачиванію его вслѣдствіе сырости воздуха. Нижній канатъ долженъ быть ведущимъ (тянущимъ). Передача вертикальная или почти вертикальная возможна только при сильномъ предварительномъ натягиваніи каната и при большомъ разстояніи между валами; впрочемъ, такія передачи рѣдко примѣняются.

Если сила передается на нѣсколько приводныхъ валовъ, то можно безконечный канатъ вести по различнымъ шкивамъ или, лучше всего, вести канатъ, послѣ каждаго огибанія имъ рабочаго шкива, назадъ на ведущій шкивъ, съ цѣлью разгрузить каждый разъ канатъ, прежде чѣмъ онъ начнетъ опять передавать силу. Измѣненія длины канатовъ, происходящія отъ продолжительной ихъ службы, отъ измѣненія температуры и влажности воздуха, уравниваются помощью

НТБ ДНУЗТ

натяжныхъ блоковъ, такъ что постоянно имѣется одно и то же натяженіе канатовъ. Для большей надежности можно устраивать эту **круговую** передачу съ двумя или большимъ числомъ канатовъ. Въ такомъ случаѣ устройство вертикальной передачи не представляетъ особенныхъ трудностей.

Для передачи силы на большія разстоянія пользуются промежуточными или направляющими шкивами, какъ при передачѣ проволочными канатами (см. стр. 482). Передача перекрестнымъ канатомъ не рекомендуется; иногда ее употребляютъ съ цѣлью возможно уменьшить провѣсъ каната.

Отношеніе діаметровъ ведущаго и рабочаго шкивовъ выбирается отъ 1 : 1 до 2 : 1. Разстояніе между валами отъ 6—8 до 20—25 m; при хлопчатобумажныхъ канатахъ разстояніе между валами можно принимать не меньше 1,5 суммы діаметровъ обоихъ шкивовъ. Среднія плоскости ведущаго и ведомаго шкивовъ должны находиться по возможности въ одной вертикальной плоскости; однако, допускаютъ отклоненіе до $6^1/_2^0$.

4. Разсчетъ канатовъ. Обозначенія см. стр. 483.

Для пеньковыхъ канатовъ выбираютъ $D = 30\,d$ до $50\,d$. Скорость канатовъ $v = 15$ до 20 m въ сек.; выше $v = 20$ m идти не слѣдуетъ.

Сила P (въ kg), передаваемая однимъ **пеньковымъ** канатомъ, если d діаметръ каната въ **cm**:

$$P = 3\,d^2 \text{ до } 4\,d^2, \text{ если } D \geqq 30\,d \text{ и } \alpha \geqq 2{,}5;$$

$$P = 5\,d^2 \text{ до } 6\,d^2, \text{ если } D \geqq 50\,d \text{ и } \alpha \geqq 3{,}0.$$

Большія величины P допустимы только въ тѣхъ случаяхъ, если передача горизонтальна или слегка наклонна, разстояніе между осями достаточно велико, измѣненія величины P колеблются въ небольшихъ предѣлахъ, діаметры шкивовъ выбраны достаточно большими и скорость канатовъ не превосходитъ 20 m; при этомъ предполагается, что канаты изготовлены изъ лучшей баденской пеньки и сращиваніе ихъ исполнено тщательно.

Если имѣется z канатовъ, то, изъ $Pzv = 75\ N$ и $P = 6\,d^2$ до $3\,d^2$, слѣдуетъ:

$$z\,d^2 = 12{,}5\,\frac{N}{v} \text{ до } 25\,\frac{N}{v}.$$

Для $P = 6\,d^2$, $q = 0{,}075\,d^2$, $v = 20$ m/sec, $e^{\mu\alpha} \backsim 2$ (канавка клиновидной формы по черт. 317, стр. 485) имѣемъ по стр. 469 и слѣд.:

$$S_1 \backsim 15\,d^2; \quad S_2 \backsim 9\,d^2; \quad S_0 \backsim 12\,d^2;$$

$$v' = 25{,}6 \text{ m/sec.} \quad \text{и} \quad (Pv)_{\max} = 128\,d^2.$$

Напр., одинъ канатъ съ $d = 5$ cm можетъ передавать $N_{\max} = 42{,}7$ лош. силы.

Для шкива съ $D = 60\,d$, при $P = 6\,d^2$ и числѣ канатовъ z будемъ имѣть:

$$75\,N = P\,z\,\frac{\pi\,D\,n}{100\,60} = 6\,d^2\,z.0{,}6\,\pi\,d\,\frac{n}{60},$$

слѣд.:

$$z = \frac{5000\,N}{4\,\pi\,n\,d^3} \backsim 400\,\frac{N}{n\,d^3}.$$

НТБ ДНУЗТ

Хлопчатобумажные передаточные канаты слѣдуетъ разсчитывать такъ же, какъ и пеньковые. Для катающихся балокъ, при разсчетѣ которыхъ полагается въ основу наибольшій поднимаемый грузъ Q, можно принимать P значительно большимъ, потому что наибольшій грузъ Q поднимается рѣдко, и кранъ находится въ дѣйствіи въ теченіе небольшихъ промежутковъ времени. Обыкновенно принимаютъ до

$$P_{max} = 9\,d^2 \qquad \text{при} \qquad D \geqq 30\,d,$$

такъ что при употребительномъ $v_{max} = 25$ m/sec. и діаметрѣ каната $d = 16$ mm можно передавать $^1/_{75}$ 9 $1{,}6^2$ 25 $= \sim 8$ лош. силъ.

Для передвижныхъ телѣжекъ, катающихся балокъ и т. п. пользуются хлопчатобумажными канатами діам. 16 до 22 mm. Тѣ же канаты рекомендуются и при передачѣ ударной (напр. прокатные станы). Они обладаютъ меньшимъ E, чѣмъ пеньковые канаты (стр. 485), но зато даютъ значительно большее $\mathfrak{V}$ (стр. 236, 469). Принимаютъ $D = 20\,d$ до $30\,d$. Разстояніе между осями см. стр. 487.

D. Цапфы (шипы) *).

Относительно тренія цапфъ см. стр. 224 и слѣд.; коэффиціентъ тренія μ_1 см. стр. 225 и слѣд. При разсчетѣ цапфы слѣдуетъ принимать во вниманіе: 1) условіе прочности цапфы и равномѣрное соприкасаніе ея съ подшипникомъ по всей длинѣ; 2) устраненіе большого тренія и изнашиванія соприкасающихся поверхностей; 3) устраненіе возможности сильнаго повышенія температуры цапфы и подшипника, т. е. грѣнія ихъ со всѣми послѣдствіями. Въ дальнѣйшемъ приняты слѣдующія обозначенія:

P наибольшее давленіе на цапфу въ kg,
d діаметръ цапфы и l длина цапфы въ cm,
k_b допускаемое напряженіе на изгибъ въ kg/qcm,
k допускаемое давленіе на единицу поверхности въ kg/qcm,
W моментъ сопротивленія сѣченія цапфы въ ccm.

a. Цапфы поддерживающія.

1. Цилиндрическія поддерживающія цапфы.

1. Въ этихъ цапфахъ сила P дѣйствуетъ перпендикулярно оси вращенія. Уравненіе прочности сплошной цапфы:

$$P\ 0{,}5\,l = W\,k_b \sim 0{,}1\,d^3\,k_b \text{ (см. стр. 365)}, \qquad \text{I.}$$

а для полой цилиндрической цапфы внутренняго діаметра d_1 и наружняго d_2:

$$P\,.0{,}5\,l = W\,k_b \sim 0{,}1\,\frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}\,k_b \text{ (см. стр. 365)}.$$

*) См. К. Бахъ, Die Maschinen-Elemente, 6 изд., 1897, стр. 338—377.

НТБ ДНУЗТ

Принимая во вниманіе допускаемое **давленіе на единицу поверхности цапфы**, имѣемъ:

$$P = k\,l\,d, \text{ соотв. } P = k\,l\,d_2 \,. \qquad \text{II.}$$

Разсчитывая сплошныя цапфы одновременно по требуемой прочности и допускаемому давленію на единицу поверхности, будемъ имѣть:

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\frac{0{,}2\,k_b}{k}} \qquad \text{III.}$$

Высота заплечика цапфы принимается
отъ $^1/_{16}\,d + 0{,}5$ cm до $^1/_{10}\,d + 0{,}5$ cm.

2. Въ большинствѣ случаевъ направленіе дѣйствующихъ на цапфу силъ мѣняется (способъ нагрузки III, см. таблицу стр. 341), и поэтому пользуются приведенными тамъ коэффиціентами для допускаемаго напряженія на изгибъ k_b (для чугуна слѣдуетъ принимать $k_b = 150$ до 250 kg/qcm).

Допускаемое **давленіе** на цапфу k зависитъ не только отъ матеріала цапфы и подшипника, но также и отъ совершенства смазки, способа отведенія теплоты, числа оборотовъ n (соотв. скорости v) цапфы и т. д. Давленіе k можетъ быть принято для цапфъ, безпрерывно вращающихся въ подшипникахъ, при нормальныхъ условіяхъ:

каленая сталь по каленой стали до	150	kg на qcm,
„ „ „ бронзѣ	90	„ „
некаленая сталь по бронзѣ.	60	„ „
гладкая и плотная поверхность желѣза по бронзѣ	40	„ „
не очень чистая поверхность желѣза или чугуна по бронзѣ	30	
„ „ „ „ „ по чугуну	25	
желѣзо по бакаутов. дереву, при смазкѣ водой	25	„ „ „

Въ паровозахъ обыкновенно принимаютъ значительно большія величины k (стр. 490). Если величина P также въ состояніи покоя цапфы сохраняетъ приблизительно величину и направленіе (напр. сильно нагруженные валы, тяжелыя колеса), то принимаютъ k менѣе, чѣмъ указано выше.

При цапфахъ, не безпрерывно вращающихся, а качающихся, можно для k принимать большія величины; для цапфъ къ роликамъ веревочныхъ передачъ, которыя вращаются съ перерывами и мало или совсѣмъ не изнашиваются, допускается увеличеніе вышеприведенныхъ значеній $k = 60$ до 25 kg/qcm въ два и даже три раза.

Для стальныхъ цапфъ кривошиповъ и крейцкопфовъ (крестовинъ) нормальныхъ паровыхъ машинъ принимаютъ $k = 60$ до 70, а также 75 до 80 kg/qcm; въ паровозахъ берется $k = 100$ до 150 kg; въ паровыхъ машинахъ съ большимъ числомъ оборотовъ $k = 40$ до 50 kg/qcm. Для цапфъ вала махового колеса паровыхъ машинъ допускаютъ $k = 15$ до 16 kg/qcm.

НТБ ДНУЗТ

Для цапфъ кривошиповъ дыропробивныхъ машинъ и ножницъ принимаютъ $k =$ до 200 kg/qcm и больше.

3. Для **устраненія нагрѣванія** цапфъ при работѣ должно быть:

$$l \geqq \frac{P n}{w} \quad \text{или} \quad n \leqq w \frac{l}{P} \qquad \text{IV.}$$

Здѣсь n число оборотовъ цапфы въ минуту, P среднее давленіе на цапфу въ kg и w число, опредѣленное изъ опыта; оно тѣмъ больше, чѣмъ меньше треніе и чѣмъ лучше отводится теплота.

Для цапфъ кривошиповъ со стальными или бронзовыми подшипниками, въ которыхъ обѣ половинки подшипника равномѣрно охлаждаются токомъ воздуха, $w = 35\,000$ до $70\,000$ и при очень благопріятныхъ условіяхъ (т.-е. при маломъ l и k, подшипникахъ бѣлаго металла и совершенной смазкѣ) $w = 70\,000$ до $100\,000$. Для цапфъ вала махового колеса (отведеніе теплоты только черезъ нижнюю половинку подшипника) $w = 15\,000$ до $30\,000$, соотв. $w = 30\,000$ до $45\,000$. Охлажденіемъ цапфы водой можно значительно увеличить w.

Для осей пассажирскихъ вагоновъ $w =$ до 80000; для ведущихъ осей трехосныхъ паровозовъ $w =$ до 150000; для цапфъ паровозныхъ кривошиновъ $w = 250\,000$; здѣсь допускаемое изнашиваніе больше, чѣмъ у паровыхъ машинъ; кромѣ того вмѣстѣ съ n (соотв. скорости паровоза до 90 km въ часъ) увеличивается отведеніе теплоты благодаря сильному току воздуха, а въ цапфахъ кривошиповъ охлажденіе производится черезъ торцевую поверхность цапфы и головки шатуна.

4. **Ходъ разсчета.** Изъ ур. III опредѣляется $l : d$, затѣмъ помощью ур. II величины d и l. Если l удовлетворнетъ уравненію IV, то d и l могутъ быть приняты за окончательныя величины; въ противномъ случаѣ, слѣдуетъ l опредѣлить изъ ур. IV, а затѣмъ изъ ур. I опредѣлить по найденному l величину d.

2. Цапфа шарообразной формы.

Примѣняется большею частью только какъ **цапфа кривошипа.** Если d_1 діаметръ шара въ cm, то при стальной цапфѣ, работающей по бронзѣ, имѣемъ:

$$P = 40\, d_1^2;$$

для устраненія нагрѣванія цапфы, въ предположеніи, что послѣдняя имѣетъ форму правильнаго шара, должно быть (см. ур. IV):

$$d_1 \geqq \frac{P n}{30\,000}.$$

b. Цапфы вертикальныхъ валовъ.

Здѣсь давленіе на цапфу дѣйствуетъ по направленію оси вращенія.

1. Плоская пята.

Если P обозначаетъ наибольшее давленіе на цапфу въ kg, d діаметръ цапфы въ cm и k допускаемое давленіе на поверхность цап-

НТБ ДНУЗТ

фы въ kg/qcm, то, пренебрегая бороздками для смазки, уменьшающими опорную поверхность цапфы на 10 до 20%, имѣемъ:

$$P = {}^1/_4 \pi d^2 k \sim 0{,}8\, d^2 k.$$

k здѣсь надо выбрать по стр. 489, принимая во вниманіе способъ вращенія цапфы. Для каленой стали по твердому чугуну (цапфы турбинныхъ валовъ) можно принимать k какъ для бронзы.

Для устраненія нагрѣванія должно быть:

$$d \geqq \frac{Pn}{w} \text{ или } n \leqq w \frac{d}{P},$$

гдѣ n число оборотовъ цапфы въ минуту, P среднее давленіе на царфу въ kg и w число, опредѣляемое изъ опыта и равное отъ 40 000 до 60 000, если нѣтъ тренія на боковой поверхности пяты. Для цапфъ турбинныхъ валовъ, при хорошемъ исполненіи и старательной смазкѣ, $w =$ до 125000.

2. Кольцевая пята.

Если d_2 наружній и d_1 внутренній діаметръ пяты въ cm, то:

$$P = {}^1/_4 \pi (d_2^2 - d_1^2) k \sim 0{,}8 (d_2^2 - d_1^2) k;$$

$$d_2 - d_1 \geqq \frac{Pn}{w}.$$

Относительно k и w см. сказанное въ **1.**

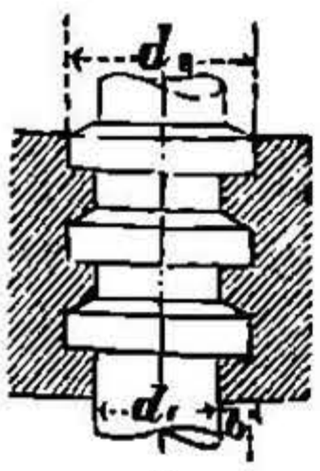
3. Гребенчатая (кольчатая) пята (черт. 318).

Полагая $d_m = {}^1/_2 (d_1 + d_2)$ и $b = {}^1/_2 (d_2 - d_1) \sim 0{,}1\, d_1$ до $0{,}15\, d_1$, получимъ, если z число гребней:

$$P = \pi d_m b z k; \quad \text{слѣд.:} \quad bz = \frac{P}{\pi k d_m}.$$

Гребенчатыя пяты имѣютъ то неудобство, что весьма трудно достигнуть одновременнаго соприкосновенія всѣхъ колецъ пяты съ подшипникомъ; вслѣдствіе этого для величинъ k и w должны быть приняты меньшія значенія, составляющія 0,5 до 0,3 отъ указанныхъ для плоской пяты. Относительно w слѣдуетъ замѣтить, что подшипники гребенчатыхъ пятъ плохо передаютъ теплоту. По этой причинѣ въ турбинахъ возвратились къ плоскимъ и кольцевымъ пятамъ, причемъ діаметръ пяты выбираютъ до 160 mm и больше.

Черт. 318.



Если принять во вниманіе вышесказанное, то въ гребенчатой пятѣ, при охлажденіи воздухомъ, должно быть:

$$bz \geqq \frac{Pn}{20\,000}.$$

Гребенчатые подшипники для валовъ винтовыхъ судовъ см. ч. II, судостроеніе.

НТБ ДНУЗТ

c. Острія вѣсовъ (ножи вѣсовыхъ рычаговъ).

Изготовляются изъ сильно закаленной стали безъ отпуска.

Уголъ острія при значительномъ давленіи и маломъ качаніи $\alpha = 120^0$ и доходитъ до $\alpha = 45^0$ (въ болѣе чувствительныхъ вѣсахъ). Въ первомъ случаѣ подшипникъ представляетъ плоскость, а во второмъ двугранный уголъ около 105^0.

Давленіе, допускаемое на 1 mm длины ножа, при небольшихъ колебаніяхъ 50 до 100 kg, а при большихъ колебаніяхъ рычага 5 до 20 kg.

Вмѣстѣ съ увеличеніемъ давленія увеличивается необходимое закругленіе грани, вслѣдствіе чего уменьшается чувствительность вѣсовъ.

Давленіе на 1 mm длины острія въ 300 kg, какъ это часто встрѣчается въ разрывныхъ машинахъ (при условіи закругленія грани діаметромъ въ 0,75 mm), не рекомендуется *).

E. Оси и валы **).

Пусть:

M_b изгибающій моментъ, M_d скручивающій моментъ въ cmkg,
k_b допускаемое напряженіе на изгибъ въ kg/qcm,
k_d допускаемое напряженіе на крученіе въ kg/qcm,
d діаметръ сплошного вала (оси) въ cm,
d_1 внутренній діаметръ полаго вала (оси) въ cm,
d_2 наружній діаметръ полаго вала (оси) въ cm,
$d_m = {}^1/_2(d_2 + d_1)$ и $s = {}^1/_2(d_2 - d_1)$,
W моментъ сопротивленія сѣченія оси (вала) въ ccm (см. стр. 365 и слѣд.),
N число передаваемыхъ лошадиныхъ силъ,
n число оборотовъ вала (оси) въ минуту.

a. Оси.

Для разсчета оси на **сопротивленіе изгибу** имѣемъ:

для **полнаго круглаго** сѣченія (W см. стр. 367).

$$M_b = W k_b \backsim 0{,}1\, d^3 k_b,$$

для **кругового кольца** (W см. стр. 368):

$$M_b = W k_b \backsim 0{,}1\, \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}\, k_b.$$

Если толщина стѣнки мала (см. стр. 365), то:

$$M_b \backsim 0{,}8\, d_m^2\, s\, k_b.$$

Въ большинствѣ случаевъ направленіе дѣйствія силъ у осей мѣняется, такъ что для **допускаемаго напряженія на изгибъ** k_b надо принимать значенія III таблицы стр. 341; для чугуна (принимая во

*) См. К. Бахъ, Die Maschinen-Elemente, 6 изд., 1897, стр. 461.
**) См. тамъ-же, стр. 377—410.

НТБ ДНУЗТ

вниманіе примѣчаніе на стр. 341) слѣдуетъ выбирать $k_b = 130$ до 250 kg/qcm; для дубовыхъ осей водяныхъ колесъ $k_b = 60$ kg/qcm.

Если направленіе дѣйствія силъ не вполнѣ мѣняется или совсѣмъ не мѣняется, то слѣдуетъ для k_b принимать значенія II или соотв. I таблицы стр. 341.

b. Валы.

При разсчетѣ вала только на **скручиваніе** (см. стр. 398), имѣемъ:

для **полнаго круглаго** сѣченія (W см. стр. 367):

$$M_d = 2W k_d = \frac{\pi}{16} d^3 k_d \backsim 1/5\, d^3 k_d,$$

для **кругового кольца** (W см. стр. 368).

$$M_d = 2W k_d \backsim 1/5\, \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} k_d \backsim 1{,}6\, d_m^3\, s k_d.$$

Относительно выбора допускаемаго **напряженія на крученіе** k_d по таблицѣ стр. 341 слѣдуетъ замѣтить:

I. Въ (очень рѣдкихъ) случаяхъ, когда скручивающій моментъ остается постояннымъ и дѣйствуетъ спокойно, для k_d можно принимать значенія I.

II. Если M_d колеблется попеременно между 0 и наибольшимъ своимъ значеніемъ, при отсутствіи ударовъ, то для k_d можно принимать значенія II.

III. Если M_d мѣняется въ предѣлахъ $+ M_d$ и $- M_d$, при отсутствіи ударовъ, то для k_d принимаются значенія III.

Способъ нагрузки I въ обыкновенныхъ валахъ встрѣчается очень рѣдко. Больше всего къ нему приближаются, напр., валы **турбинъ и водяныхъ колесъ** въ случаѣ, если работа, потребляемая рабочими машинами, не сильно мѣняется; въ такихъ валахъ для k_d надо брать значеніе промежуточное между приведенными въ I и II. Для **дубовыхъ** валовъ водяныхъ колесъ $k_d = 50$ до 60 kg/qcm.

Для большинства валовъ k_d имѣетъ значенія, приведенныя во II и III.

Для **чугуна** допускаемое напряженіе на крученіе (см. примѣчаніе [4]) на стр. 342) при способѣ нагрузки I: $k_d = 240$ до 300 kg/qcm, при способѣ нагрузки II: $k_d = 160$ до 200 kg/qcm и при III: $k_d = 80$ до 100 kg/qcm. Впрочемъ, при способѣ нагрузки III чугунъ вовсе не употребляется.

По стр. 210 имѣемъ: $M_d = 71\,620 \frac{N}{n}$ въ cmkg;

слѣд.: $$d \backsim \sqrt[3]{\frac{360\,000}{k_d} \frac{N}{n}}.$$

По этой формулѣ можно опредѣлить діаметръ вала (въ cm) изъ различныхъ матеріаловъ, подставляя соотвѣтствующую величину для k_d (въ kg/qcm).

Принимая во вниманіе отчасти и изгибъ подъ вліяніемъ момента M_b и полагая поэтому $k_d = 120$ kg/qcm, для **нормальныхъ**

НТБ ДНУЗТ

приводныхъ валовъ изъ обыкновеннаго прокатнаго желѣза имѣемъ:

$$d = \sqrt[3]{3000\,\frac{N}{n}}\text{, соотв. } M_d = 24\,d^3 = 3.(2\,d)^3,$$

причемъ **разстояніе между подшипниками** $l \gtrless 100\sqrt{d}$ (l и d въ cm).

Таблица для нормальныхъ приводныхъ валовъ.

d cm	M_d cmkg	$\frac{N}{n}$	d cm	M_d cmkg	$\frac{N}{n}$	d cm	M_d cmkg	$\frac{N}{n}$	d cm	M_d cmkg	$\frac{N}{n}$
3,0	648	0,009	6,0	5184	0,072	9,0	17496	0,243	14	65856	0,915
3,5	1029	0,014	6,5	6591	0,092	9,5	20577	0,286	15	81000	1,125
4,0	1536	0,021	7,0	8232	0,114	10,0	24000	0,333	16	98304	1,365
4,5	2187	0,030	7,5	10125	0,141	11,0	31944	0,444	17	117912	1,638
5,0	3000	0,042	8,0	12288	0,171	12,0	41472	0,576	18	139968	1,944
5,5	3993	0,055	8,5	14739	0,205	13,0	52728	0,732	20	192000	2,666

Объ **углѣ кручения** $\psi = l\,\vartheta$ см. стр. 399 и слѣд. Для достиженія **возможно меньшей деформаціи** валовъ отъ дѣйствія момента M_d примѣняютъ при разсчетѣ діаметра валовъ формулу:

$$d = 12\sqrt[4]{\frac{N}{n}} \text{ или } d = 0{,}734\,\sqrt[4]{M_d};$$

при этомъ $\psi \leqq {}^1/_4{}^0$ на пог. метръ.

Оба приведенныя уравненія даютъ слишкомъ малые размѣры для валовъ, передающихъ большіе крутящіе моменты.

Обыкновенно выбираютъ разстояніе между подшипниками по слѣдующей таблицѣ:

Для $d =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13,5	15 cm,
$l =$	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	285	300 cm.

Число оборотовъ въ минуту. Для главнаго приводнаго вала можно принимать $n = 100$ до 200. Для приведенія въ дѣйствіе быстроходныхъ машинъ (напр., машинъ для обработки дерева) $n \sim 250$, однако можно принимать $n =$ до 400.

При разсчетѣ валовъ, на которыхъ насажены тяжелыя колеса или которые вообще подвергаются сильному **изгибающему** дѣйствію, напр., валы паровыхъ машинъ, первый (главный) приводный валъ необходимо, кромѣ M_d, принимать во вниманіе и изгибающій моментъ M_b, т. е. ихъ надо разсчитывать на сложное сопротивленіе (см. стр. 411). Относительно k_d и k_b см. сказанное на стр. 492 и 493.

Наибольшій допускаемый **прогибъ** вала (между двумя подшипниками) не долженъ быть больше ${}^1/_3$ mm на 1 m длины вала. При этомъ надо убѣдиться, не требуются ли для цапфъ подшипники, вкладыши которыхъ могутъ, благодаря шаровымъ шарнирамъ, автоматически устанавливаться по оси цапфы. Муфты, шкивы, ко-

НТБ ДНУЗТ

леса и т. д. слѣдуетъ помѣщать возможно ближе къ подшипникамъ.

При длинныхъ приводахъ слѣдуетъ принимать во вниманіе **удлиненіе вала отъ теплоты.**

Всякій приводный валъ долженъ имѣть, по крайней мѣрѣ, пару желѣзныхъ **установительныхъ колецъ** (съ 1 или 2 стальными нажимными винтами) для предупрежденія бокового перемѣщенія вала; при этомъ надо принимать удлиненіе вала отъ теплоты. Кольца помѣщаются или по обѣимъ сторонамъ одного подшипника или же между двумя сосѣдними подшипниками. На главномъ валу эти кольца, по возможности, слѣдуетъ помѣщать у передняго подшипника. Для $d = 3$ до 15 cm ширина установительнаго кольца $= 3{,}5$ до 5,5 cm и толщина $= 2$ до 3,5 cm. Обварки на валахъ вмѣсто колецъ не рекомендуются.

Лучшимъ **матеріаломъ** для (осей и) валовъ является литое желѣзо и тигельная сталь (вязкая литая сталь). Острыхъ заточекъ и рѣзкихъ переходовъ въ размѣрахъ поперечнаго сѣченія слѣдуетъ избѣгать. Противъ сварочнаго желѣза, какъ матеріала для сплошныхъ валовъ, говоритъ то обстоятельство, что вслѣдствіе продольныхъ напряженій на сдвиженіе, всегда имѣющихъ мѣсто при сдвиженіи въ поперечномъ сѣченіи (стр. 351), у вала замѣчаются остающіяся деформаціи отъ скручиванія.

Такъ назыв. **прессованные валы** изъ мягкой Мартеновской стали имѣютъ противъ прокатанныхъ и точеныхъ валовъ то преимущество, что обладаютъ большею прочностью и большею равномѣрностью діаметра (точность до $^1/_{20}$ mm), почему выходятъ дешевле при пріобрѣтеніи и выгоднѣе въ эксплоатаціи. Прессованные валы изготовляются Gebr. Reimbold въ Kalk діаметрами $d = 1{,}2$ до 7,5 cm ($d = ^1/_2$ до $3''$), съ промежуточными размѣрами и длиной до 7 m (23 фута).

Сѣченіе осей и валовъ изъ прокатаннаго или кованнаго матеріала дѣлается сплошное круговое. Полые валы изготовляются изъ сплошныхъ валовъ высверливаніемъ по всей длинѣ; они примѣняются для уменьшенія вѣса, для испытанія матеріала, для смазки и охлажденія. Полые валы изъ катанныхъ трубъ или клепанныхъ цилиндровъ рѣдки.

Чугунъ употребляется только для полыхъ осей и валовъ, передающихъ большую силу; крестообразное и звѣздообразное сѣченія (напр. № 26, стр. 366) въ данномъ случаѣ не цѣлесообразны.

Если приводъ состоитъ изъ отдѣльныхъ отрѣзковъ уменьшающагося діаметра (вслѣдствіе уменьшенія передаваемой силы), то одна половина соединительной муфты разсверливается по большему діаметру, другая—по меньшему діаметру вала; или же конецъ болѣе толстаго вала обтачивается по діаметру слѣдующаго отрѣзка вала такъ, чтобы можно было насадить обыкновенную соединительную муфту.

Длина валовъ. При $d = 3$ до 5 cm длину отрѣзка вала L слѣдуетъ выбирать между 4 и 6 m; при большихъ діаметрахъ вала $L \leqq 7$ m для удобства пересылки по желѣзной дорогѣ и удобства установки. При $L > 7$ m и $L < 2$ m цѣна погоннаго метра вала увеличивается.

НТБ ДНУЗТ

F. Соединенія валовъ. *).

Для составленія валовъ значительной длины отдѣльные валы соединяются между собой такимъ образомъ, чтобы ихъ геометрическія оси совпадали (исключеніе см. 2., стр. 498).

Приводимые ниже размѣры готовыхъ соединеній взяты по нормалямъ завода **Berlin-Anhaltische Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft**, въ **Dessau**.

a. Глухія соединенія.

1. Соединеніе втулками.

Двѣ половинки втулки, ограниченной съ наружней стороны двойнымъ конусомъ (увеличивающимся въ срединѣ), плотно обхватываютъ валъ въ мѣстѣ соединенія; обѣ половинки схватываются двумя соотвѣтственно расточенными желѣзными кольцами; соединеніе на шпонкѣ. Легкая сборка, отсутствіе выступающихъ частей, легкая разборка въ случаѣ отдѣленія какой-либо части приводнаго вала. Діаметры d соединяемыхъ концовъ вала должны быть въ точности одинаковы.

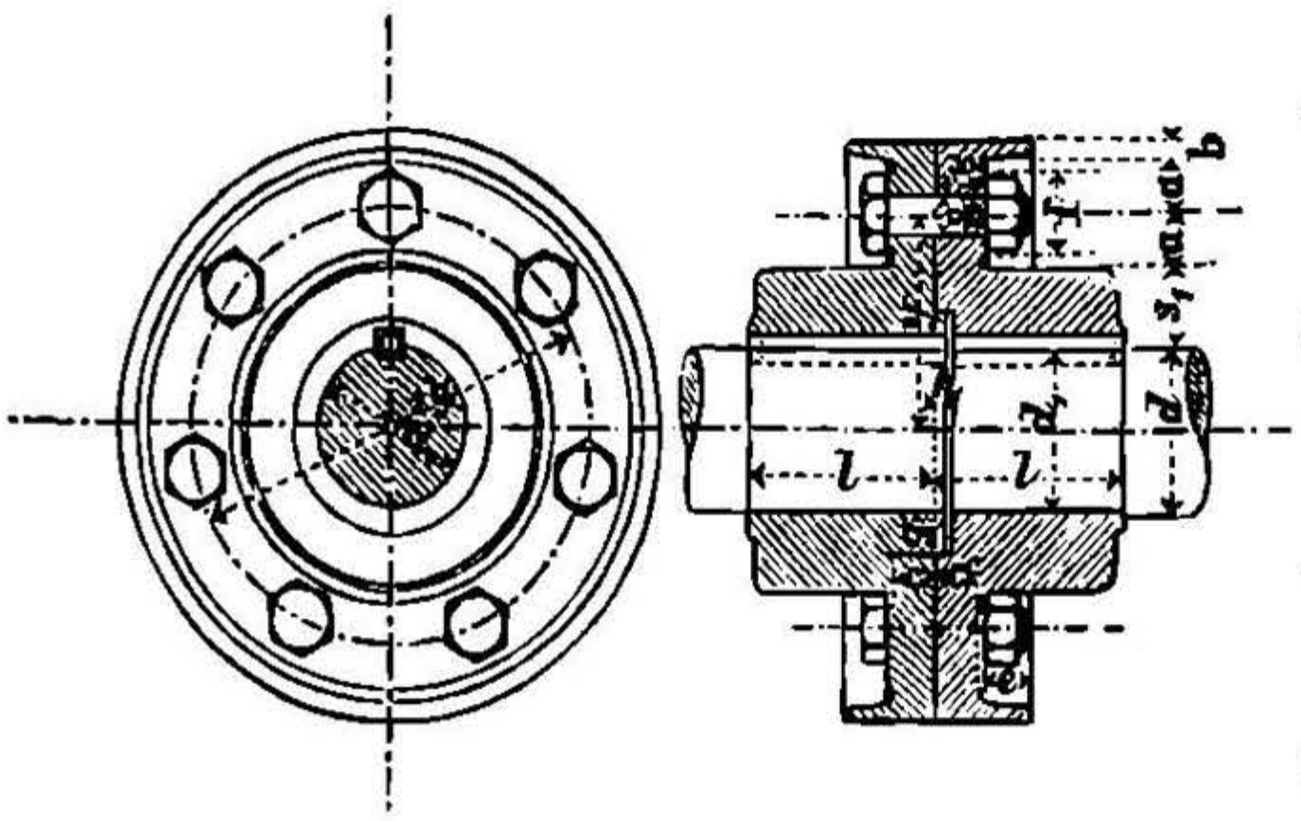
Средняя толщина стѣнокъ втулки $= 0{,}3\,d + 1$ cm, подъемъ производящей снаружи $= {}^1/_{25}$ до ${}^1/_{20}$, длина втулки $= 3\,d + 2$ cm до $4\,d$, сѣченіе кольца $= {}^1/_6\,d^2$ до ${}^1/_4\,d^2$.

2. Соединеніе дисками (черт. 319).

Имѣетъ примѣненіе только для валовъ большаго діаметра ($d \geqq 10$ cm). При употребленіи такого соединенія валовъ необходимо всѣ укрѣпляемыя на валу части (колеса, шкивы) дѣлать изъ двухъ половинъ.

Обѣ половинки надѣваются гидравлическимъ прессомъ или въ горячемъ состояніи. Данный валъ можетъ быть выдѣленъ лишь послѣ передвиженія его по оси на величину заточки h (см. черт. 319). $d_1 = d$ или $d_1 = d - 0{,}2$ до $d - 0{,}4$ cm.

Черт. 319.



$s_1 = 0{,}4\,d + 1{,}0$ cm.

Для муфтъ, надѣтыхъ въ нагрѣтомъ состояніи или при помощи пресса (въ холодномъ):

длина $l \geqq 1{,}25\,d$.

Шионки см. стр. 465.

Діаметръ **болтовъ** $\delta = {}^1/_8\,d + 1{,}0$ cm до ${}^1/_8\,d + 1{,}5$ cm.

Число болтовъ z разсчитывается по передаваемому скручивающему моменту M_d,

*) См. К. Бахъ, Die Maschinen-Elemente, 6 изд., 1897, стр. 410—440.

НТБ ДНУЗТ

по формулѣ:

$$\frac{M_d}{y}\,\frac{x}{2} = 60\,\delta^3\,z,$$

гдѣ размѣры даны въ cm и M_d можетъ быть принято $= 36\,d^3$; x опредѣляется изъ толщины диска $c = 1{,}25\ \delta$ и величины выступа, мѣняющагося отъ 0,3 до 0,6 cm:

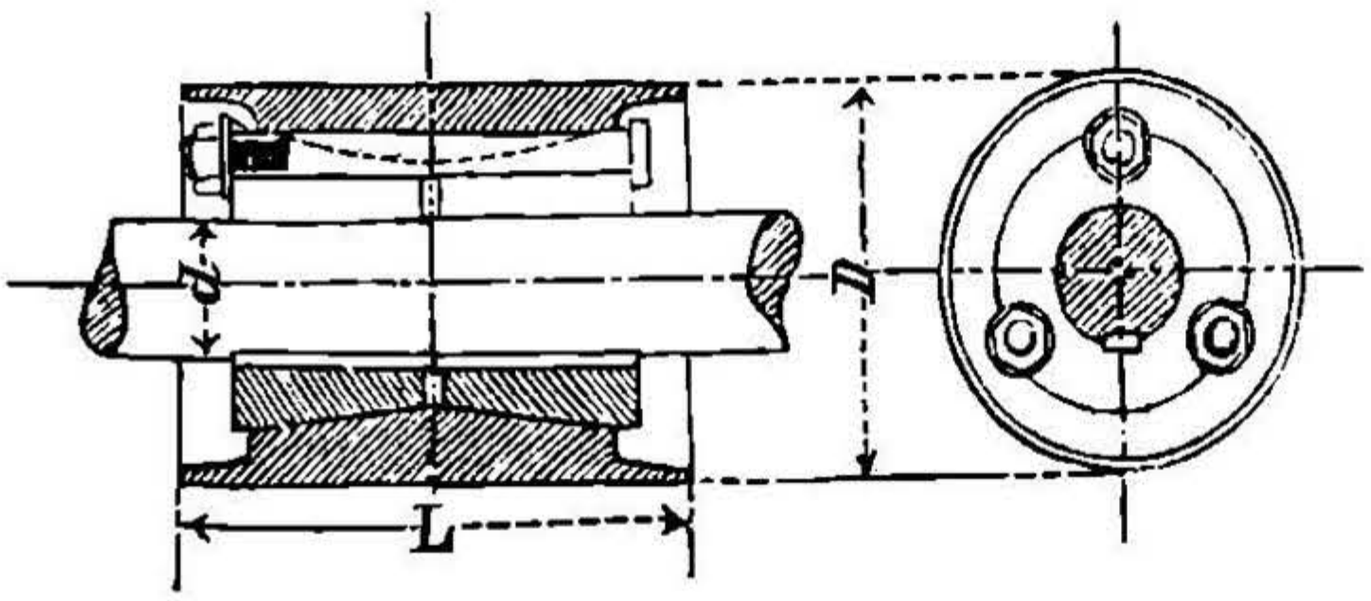
$$x = c + 0{,}4\text{ cm}; \quad a = 1{,}5\,\delta; \quad y = 0{,}5\,d_1 + s_1 + a;$$
$$b = {}^1/_4\,\delta + 0{,}5\text{ cm}; \quad e = {}^5/_4\,\delta; \quad f = 2{,}1\,\delta + 0{,}5\text{ cm}; \quad g = {}^1/_2\,s_1;$$
$$h = {}^1/_3\,\delta.$$

Расточка d	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200 mm:
Длина $2\,l$.	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550 mm,
Наибольшій діаметръ .	360	385	420	435	455	470	500	520	555	570	590 mm,
Болты . $\delta =$	26	26	29	29	29	29	33	33	36	36	36 mm,
Болты . $z =$	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	10,
Вѣсъ	90	110	130	155	180	210	242	282	326	374	432 kg.

3. Муфты Селлерса.

Наилучшее изъ всѣхъ глухихъ соединеній валовъ. Соединеніе валовъ центрально и вполнѣ надежно даже и въ томъ случаѣ, когда діаметры концовъ на обоихъ валахъ не вполнѣ одинаковы. Сборка и разборка соединенія весьма удобны.

Черт. 320.



Втулка снаружи цилиндрическая, а внутри съ двойнымъ конусомъ, обхватываетъ двѣ втулки снаружи конническія (черт. 320), а внутри цилиндрическія, со шпонками. При натяжкѣ трехъ болтовъ обѣ половинки втулокъ перемѣщаются по оси вала и, прижимаясь къ внутренности наружней втулки, сжимаютъ оба конца вала. Наклонъ производ конуса къ оси вала около $^1/_8$.

Для предохраненія отъ вращенія служатъ еще 2 шпонки. Два діаметральныхъ отверстія въ наружней втулкѣ позволяютъ наблюдать мѣсто стыка обоихъ валовъ.

Расточка d . .	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150 mm:
Длина L . . .	150	170	210	240	265	300	320	360	380	410	445	470	500 mm,
Діаметръ D.	100	120	140	165	190	212	235	260	280	300	325	350	370 mm,
Вѣсъ .	6	10	17	27,5	38	53	68	90	112	140	162	220	287 kg.

НТБ ДНУЗТ

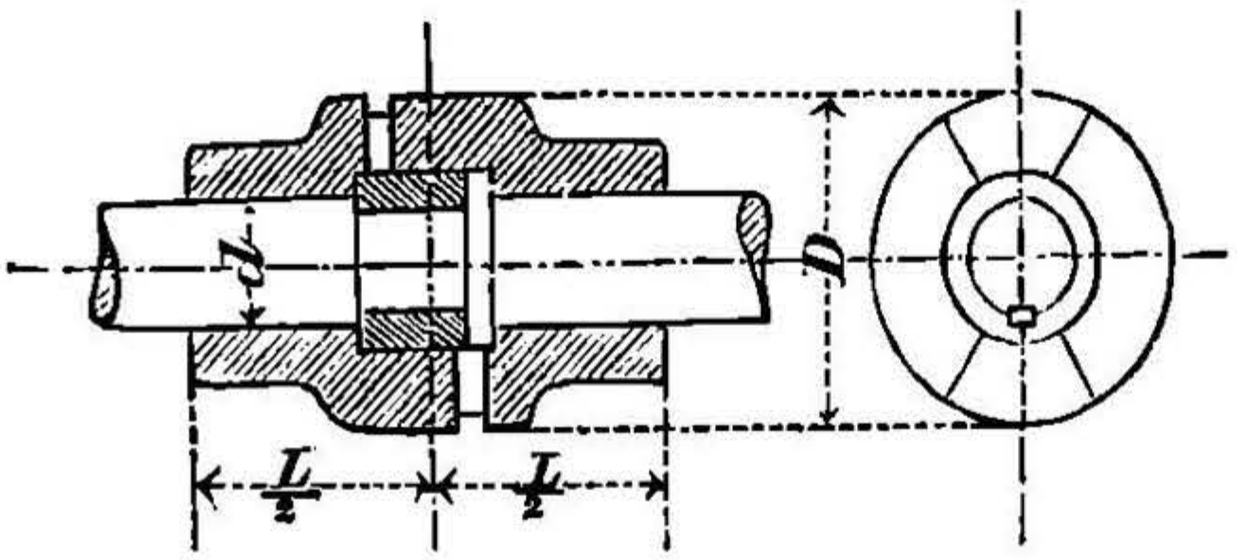
b. Подвижныя соединенія валовъ.

1. Удлиняющееся соединеніе (черт. 321).

Этими соединеніями пользуются для регулированія температурныхъ измѣненій въ длинахъ валовъ. Для того, чтобы быть увѣреннымъ въ совпаденіи осей обоихъ валовъ, внутри муфты имѣется точеное кольцо.

Каждая половинка муфты имѣетъ три кулака, захватывающихъ одинъ за другой, и закрѣплена на валахъ наглухо.

Черт. 321.



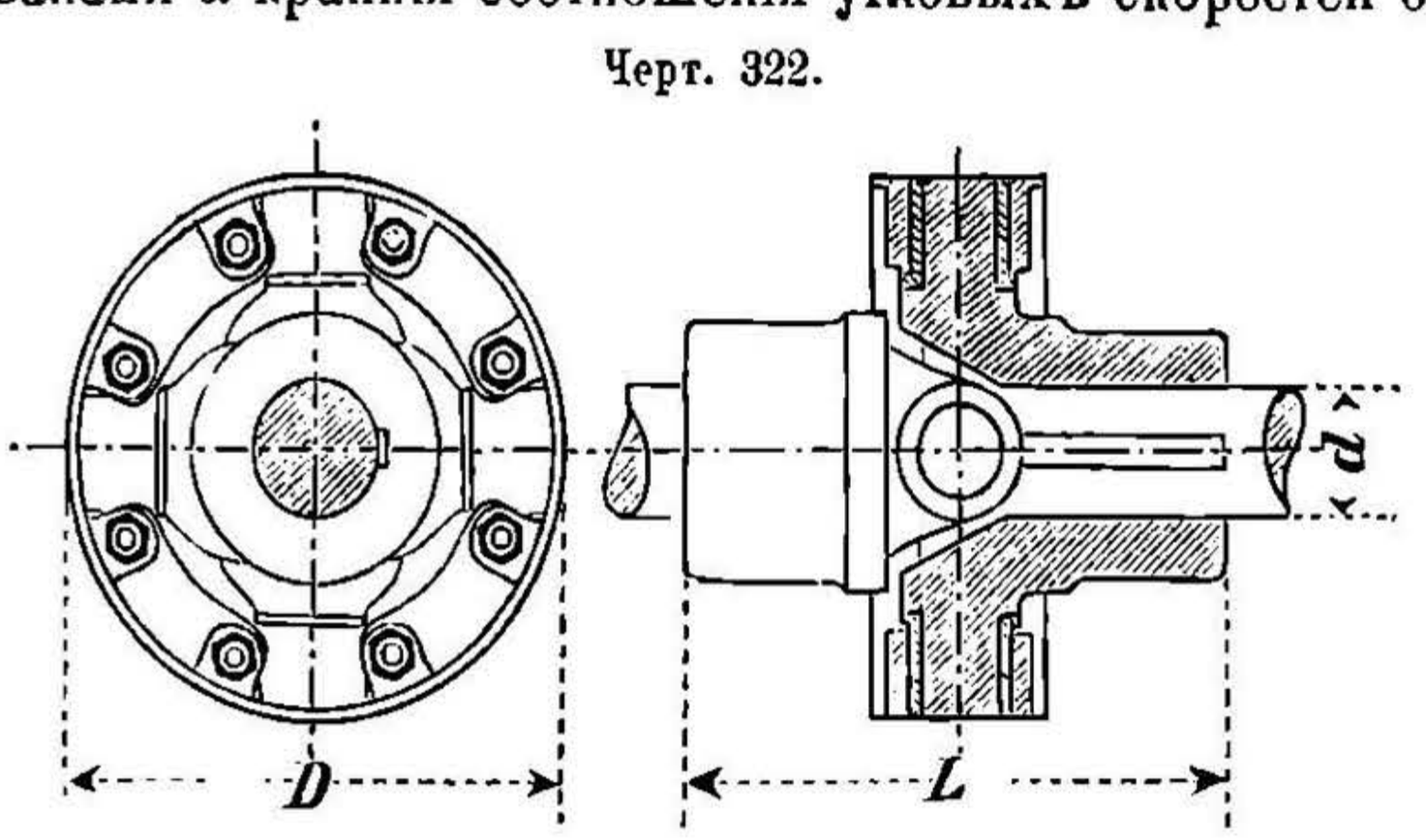
Если главный приводный валъ, на которомъ насажены коническія колеса, фрикціонныя муфты и т. д., не перемѣщающіяся (въ бокъ) по своей оси, неподвиженъ, то подобное удлиняющееся соединеніе обязательно. Этимъ соединеніемъ можно пользоваться и въ тѣхъ случаяхъ, когда при длинныхъ валахъ допускается долевое перемѣщеніе ихъ съ цѣлью по возможности сохранить на мѣстѣ и въ чистотѣ рабочія поверхности валовъ въ подшипникахъ. Наибольшее удлиненіе V колеблется между $^1/_3\,d$ и $^1/_6\,d$.

Расточка d. . .	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120 mm:
Длина $^1/_2\,L$ . .	90	100	110	120	130	140	150	170	185	205	225	250 mm,
Діаметръ D . .	100	110	125	135	150	160	175	200	225	250	275	300 mm,
Удлиненіе V .	12	12	12	12	14	14	14	16	16	20	20	20 mm,
Вѣсъ . . .	7	9	12,5	16	22	27	34	50	68	94	125	166 kg.

2. Шарнирная соединительная муфта. (Универсальный шарниръ).

Служитъ для соединенія валовъ, имѣющихъ различное направленіе. Передача движенія неравномѣрная, причемъ для угла между валами α крайнія соотношенія угловыхъ скоростей будутъ $1 : \cos\alpha$ и $\cos\alpha$.

Черт. 322.



Если оси валовъ лежатъ не строго въ одной плоскости, то шарнирныя цапфы (черт. 322) не только вращаются въ своихъ подшипникахъ, но имѣютъ и по-

НТБ ДНУЗТ

ступательное движеніе. Если три вала соединены въ двухъ мѣстахъ универсальнымъ шарниромъ, то получается равномѣрная передача движенія съ перваго вала на третій, если оба крайніе вала расположены симметрично относительно средняго.

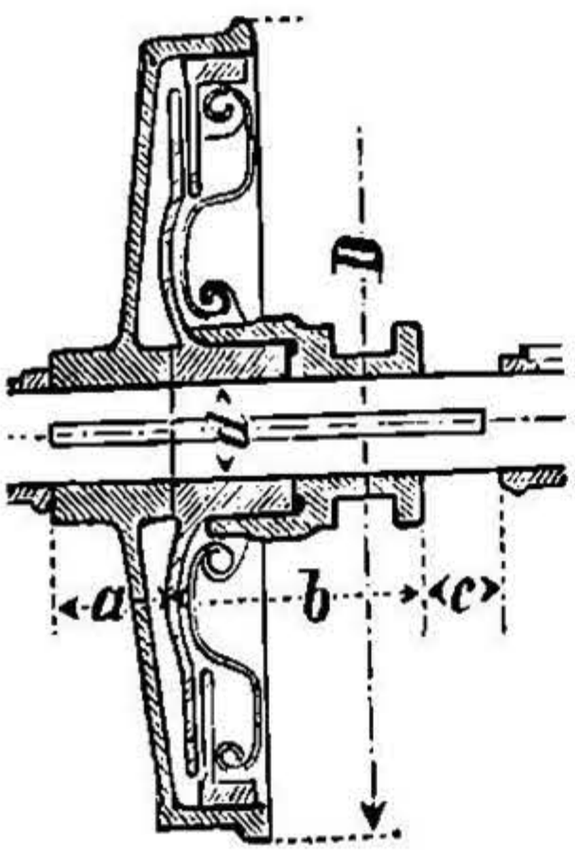
Расточка d . .	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160	170 mm:
Длина L . . .	130	160	200	230	270	310	350	390	430	475	530	600	600 mm,
Діаметръ D. .	135	160	200	240	280	305	350	390	430	480	600	800	800 mm,
Вѣсъ .	5	7	15	24	36	52	79	98	146	215	450	720	740 kg.

c. Муфты для сцѣпленія и расцѣпленія валовъ *).

1. Фрикціонныя соединительныя муфты Доменъ-Леблань.

Изготовляются 5 системъ, въ зависимости отъ назначенія: 1) для сцѣпленія и расцѣпленія двухъ валовъ на ходу (черт. 323), 2) для приведенія во вращеніе или для останова отрѣзка вала, на которомъ насажено постоянно вращающееся зубчатое колесо или шкивъ, 3) для сцѣпленія и расцѣпленія зубчатаго колеса или шкива, насаженныхъ на постоянно вращающемся валу, 4) для сцѣпленія и расцѣпленія на ходу двухъ валовъ, изъ которыхъ то одинъ валъ, то другой—являются движущими, и 5) для соединенія шкива, отдѣльно насаженнаго на поломъ валу, съ другимъ валомъ, постоянно вращающимся внутри полаго вала.

Черт. 323.



На черт. 323 показано устройство (для случ. 1). На лѣвомъ, ведущемъ концѣ вала насаженъ на шпонкѣ шкивъ. Перемѣщеніемъ втулки на ведомомъ концѣ вала справа налѣво въ положеніе, указанное на чертежѣ, достигается, при помощи четырехъ крючкообразныхъ колѣнчатыхъ рычаговъ, нажатіе четырехъ ползуновъ (двигающихся въ особомъ крестѣ, надѣтомъ на ведомую часть вала) на полую цилиндрическую поверхность самой муфты; проявляющимся при этомъ треніемъ достигается сцѣпленіе и расцѣпленіе вала. При перемѣщеніи втулки слѣва направо происходитъ расцѣпленіе.

Расточка d . . .	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	150 mm:
Длина a . . .	70	80	90	135	150	165	195	200	230	260	260 mm,
Длина $b + c$.	160	210	235	305	315	350	425	458	520	585	585 mm,
Діаметръ D. .	350	450	550	660	670	880	1040	1290	1490	1700	1700 mm,
Вѣсъ. . .	34	68	90	200	220	310	500	670	1000	1550	1600 kg.

Число сплъ для даннаго d опредѣляется по послѣдней формулѣ стр. 494.

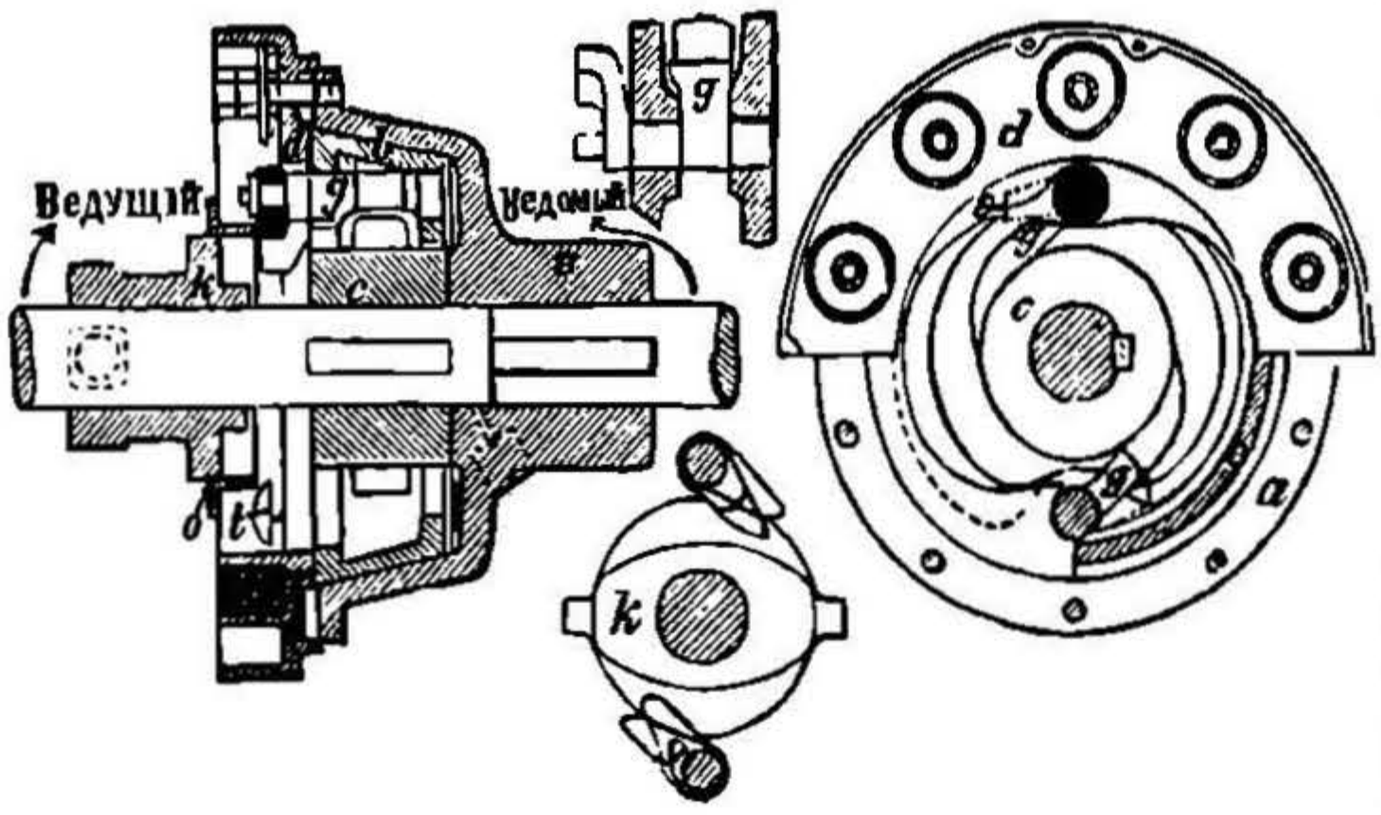
*) См. Ad. Ernst, Ausrückbare Kupplungen; Berlin 1890.

НТБ ДНУЗТ

2. Фрикціонныя муфты Ломанъ и Штольтерфотъ.

На ведущемъ валу (черт. 324) укрѣплена часть *c* съ зубцами, на ведомомъ валу укрѣпленъ полый конусъ *a* посредствомъ шпонки. Къ внутренней поверхности полаго конуса прижимается фрикціонный конусъ *b*, посредствомъ кольца *d* и болтовъ, настолько сильно, что являющееся на поверхности конусовъ треніе (между *a* и *b*) достаточно для преодолѣнія передаваемаго крутящаго момента. Къ конусу *b* прикрѣплены вращающіеся кулачки *g*, которые въ прижатомъ состояніи всего соединенія прилегаютъ къ зубцамъ части *c*. Для разобщенія соединенія необходимо втулку *k*, сообщающуюся посредствомъ рычаговъ съ кулачками *g*, передвинуть по направленію къ *b*, отчего кулачки поворачиваются наружу. Соединеніе валовъ достигается оттягиваніемъ гильзы *k* назадъ.

Черт. 324.



Соединенія этого рода изготовляются изобрѣтателями по различнымъ типамъ, причемъ изображенное на черт. 324 соединеніе наиболѣе употребительно. При выборѣ размѣровъ соединенія необходимо руководствоваться не только величиной передаваемаго момента, но и тѣмъ, какъ часто соединеніе будетъ въ употребленіи, равно какъ и величиною массъ, приводимыхъ въ движеніе при соединеніи валовъ.

Соединеніе это можетъ быть весьма легко сцѣпляемо и расцѣпляемо посредствомъ каната діам. въ 10 до 13 mm на довольно значительномъ разстояніи, почему съ удобствомъ можетъ быть примѣняемо во многихъ случаяхъ.

Діаметръ вала.	50			100			150			175	200 mm:
N для $n = 100$.	3	4	6	10	20	50	70	150	200	300	450 лош. силъ,
Наибольшій діам.	310	340	390	470	505	625	745	850	900	1040	1200 mm,
Вся длина	305	330	370	490	535	625	735	820	870	1000	1050 mm,
Вѣсъ	43	52	70	125	165	305	480	735	890	1400	1950 kg.

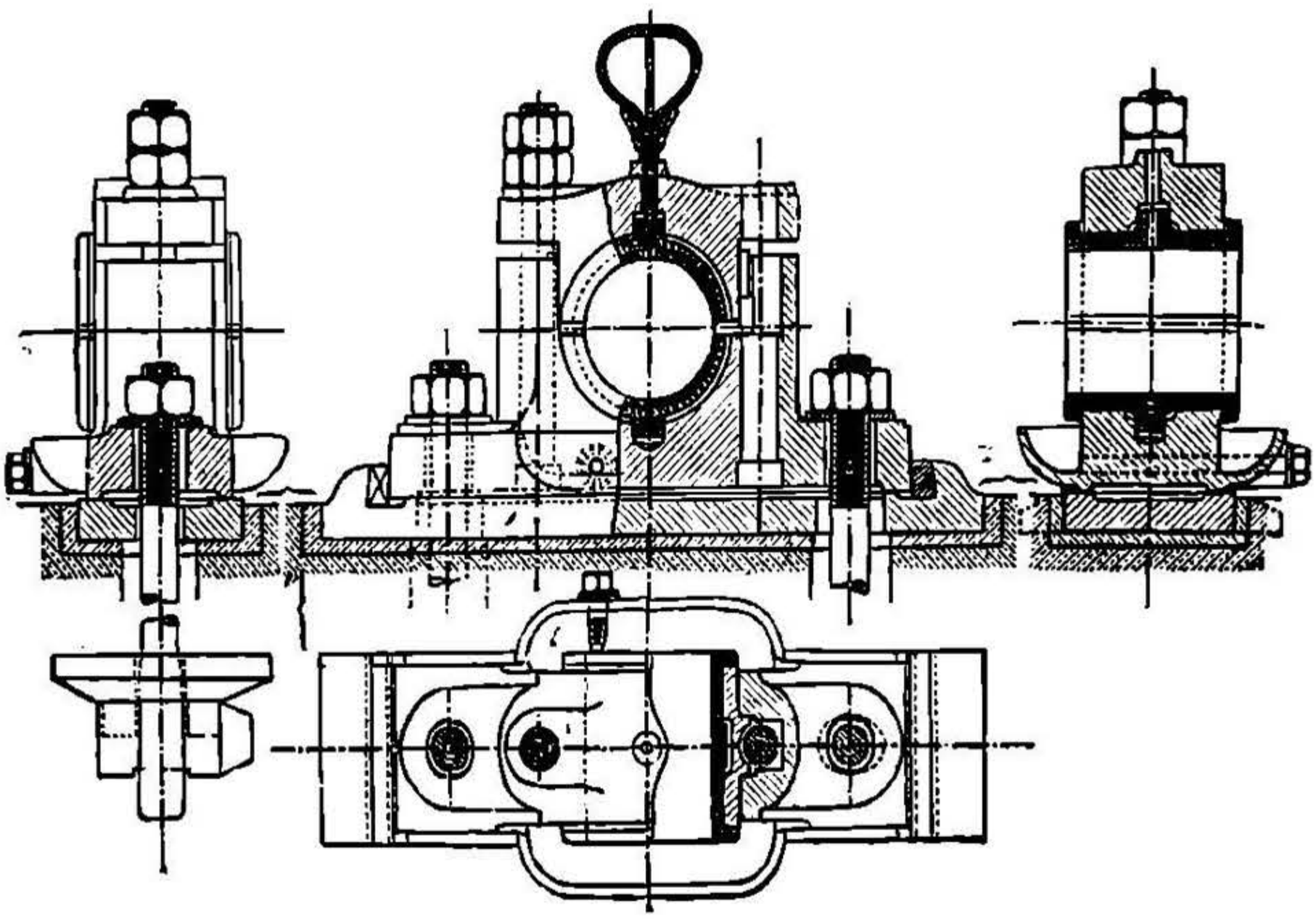
G. Подшипники.

Приведенныя ниже данныя для подшипниковъ взяты по каталогу **Berlin-Anhaltische Maschinenbau-Aktiengesellschaft, Dessau.** Данныя для вѣса подшипника не содер-

НТБ ДНУЗТ

жатъ вѣса основной плиты. Вѣсъ послѣдней для различныхъ подшипниковъ отъ наименьшаго до наибольшаго мѣняется отъ 100% до 75% вѣса подшипника.

Черт. 325.



1. Черт. 325 представляетъ **нормальный подшипникъ** (по К. Баху) и состоитъ изъ подшипника, вкладыша, крышки, болтовъ для крышки, фундаментныхъ болтовъ и основной плиты. Примѣненіемъ фундаментныхъ болтовъ устраняется необходимость въ болтахъ для скрѣпленія тѣла подшипника съ основной плитой и является возможность непосредственной передачи на фундаментъ давленій на подшипникъ, направленныхъ не книзу.

Длина l и внутренній діаметръ d вкладышей опредѣляются по размѣрамъ данной цапфы. Размѣры отдѣльныхъ частей опредѣляются по давленію на подшипникъ $P = k\,l\,d$ (см. стр. 489)*). Въ зависимости отъ величины k—давленія на единицу площади (стр. 489), различаютъ тяжелые или легкіе подшипники. Для подшипниковъ обыкновенныхъ трансмиссій, гдѣ $l = 1{,}5\ d$, достаточно принимать $k = 20$ до 25 kg/qcm. Для напряженія на изгибъ чугуна въ подшипникахъ допускаютъ до $k_b = 360$ kg/qcm. Если величина P измѣняется по величинѣ и направленію, то k_b выбирается соотвѣтственно меньшимъ.

Среднее давленіе на цементную подливку основной плиты не должно превосходить 10 kg/qcm (стр. 343) для песчаника или лучшей кирпичной кладки. Если подшипникъ устанавливается на деревянномъ брусѣ или на чугунныхъ консоляхъ, подвѣскѣ, стѣнной коробкѣ, прокатной балкѣ и т. д., то основной плиты не дѣлаютъ.

Въ случаѣ недостатка мѣста, болты для крышки могутъ замѣнить и фундаментные болты.

---

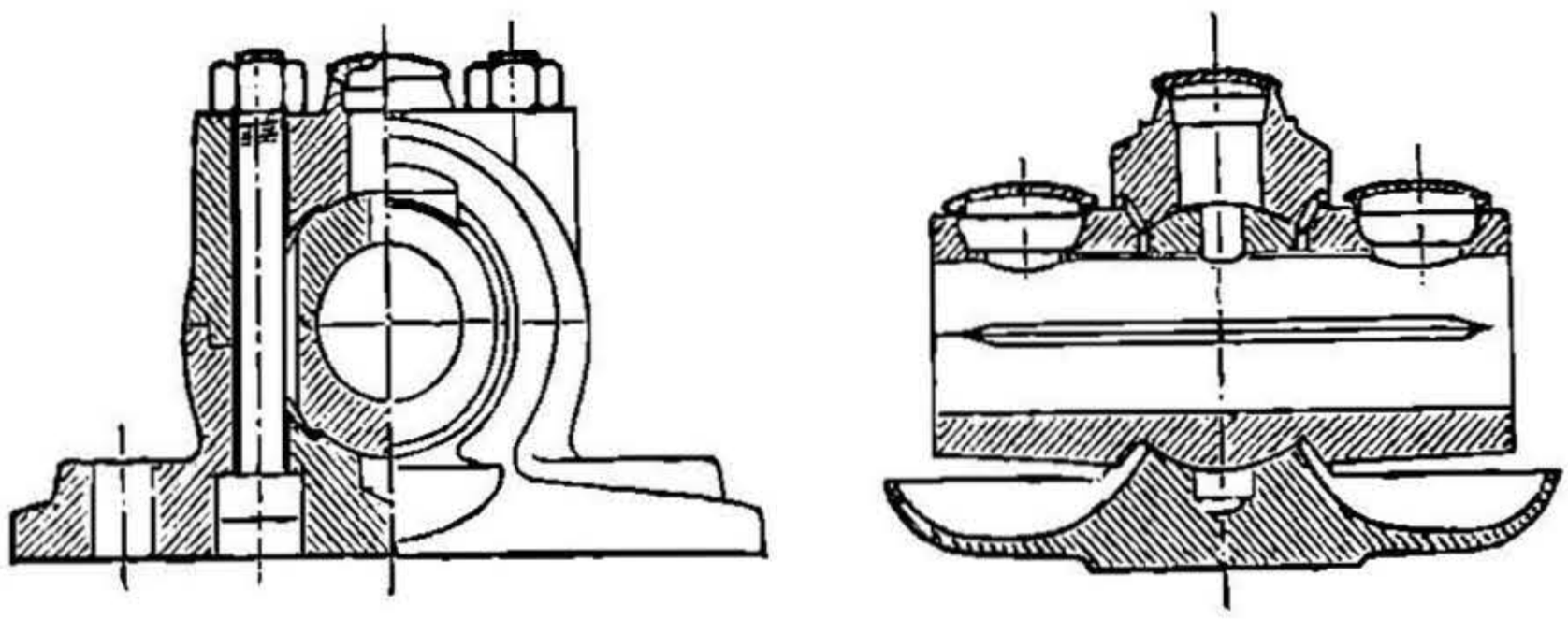
*) Подробно см. C. Bach, Die Maschinen-Elemente, 6 изд., 1897, стр. 441 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Если давленіе на подшипникъ направлено исключительно книзу, можно вмѣсто верхней половины вкладыша изъ бронзы или бѣлаго металла ставить чугунный вкладышъ, а чугунную крышку замѣнить лишь защитой отъ пыли.

2. На черт. 326 показанъ **подшипникъ Селлерса.** Оба чугунные вкладыша снабжены шаровыми чашками (цапфами), имѣющими общій центръ вращенія въ срединѣ подшипника и образующими, такимъ образомъ, въ тѣлѣ подшипника шаровой шарниръ.

Черт. 326.



Вкладыши автоматически устанавливаются по направленію оси вала, большая длина вкладышей ($l = 4\,d$) и, слѣд., незначительное давленіе на единицу поверхности, хорошая и дешевая смазка, незначительный износъ, хорошее удаленіе теплоты. Чашка у основанія подшипника собираетъ излишнее, стекающее масло. Средина подшипника можетъ перемѣщаться только въ горизонтальной плоскости перемѣщеніемъ подшипника по его опорѣ.

3. То же достигается подшипникомъ B.-A. M.-A.-G. (черт. 327), который изготовляется слѣдующихъ размѣровъ:

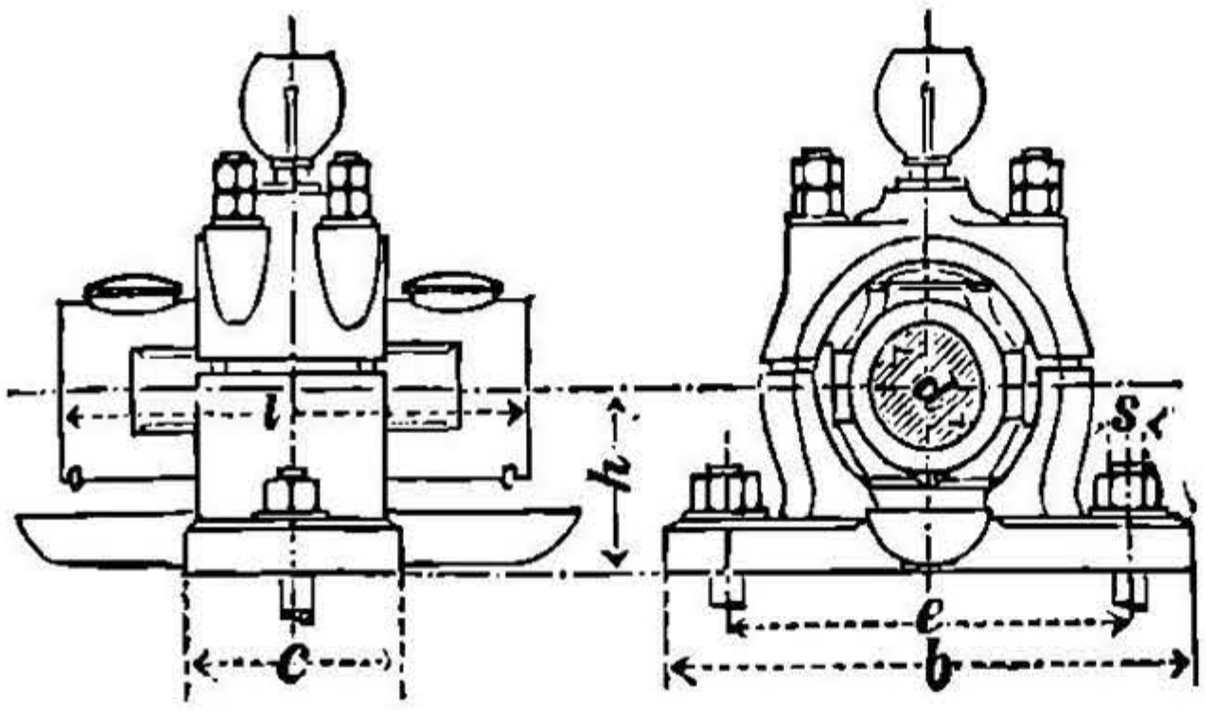
Діаметръ вала.	Длина вкладыша.	Высота подшипника.	Основаніе.		Болты.		Основная плита.		Вѣсъ подшипника.
d	*l*	*h*	*b*	*c*	*e*	*s*	Длина.	Ширина	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
30	120	55	190	75	140	13	350	85	6
40	160	70	220	90	166	13	380	100	9
50	200	82	260	105	200	16	445	115	14
60	240	95	310	125	230	20	535	135	22
70	280	110	350	140	260	23	610	155	36
80	320	110	350	140	260	23	610	155	39
90	360	125	400	165	300	26	690	180	59
100	400	140	450	190	340	29	760	205	85
110	440	140	450	190	340	29	760	205	91
120	480	160	516	220	396	33	850	235	115
130	520	160	516	220	396	33	850	235	124
140	560	180	580	250	460	36	950	270	150
150	600	180	580	250	460	36	950	270	160

Заводъ B.-A. M.-A.-G. Dessau изготовляетъ, кромѣ подшипниковъ (черт. 327—331), еще т. н. **экономическіе подшипники,** т.-е. самоуплотняющіе подшипники о двухъ

НТБ ДНУЗТ

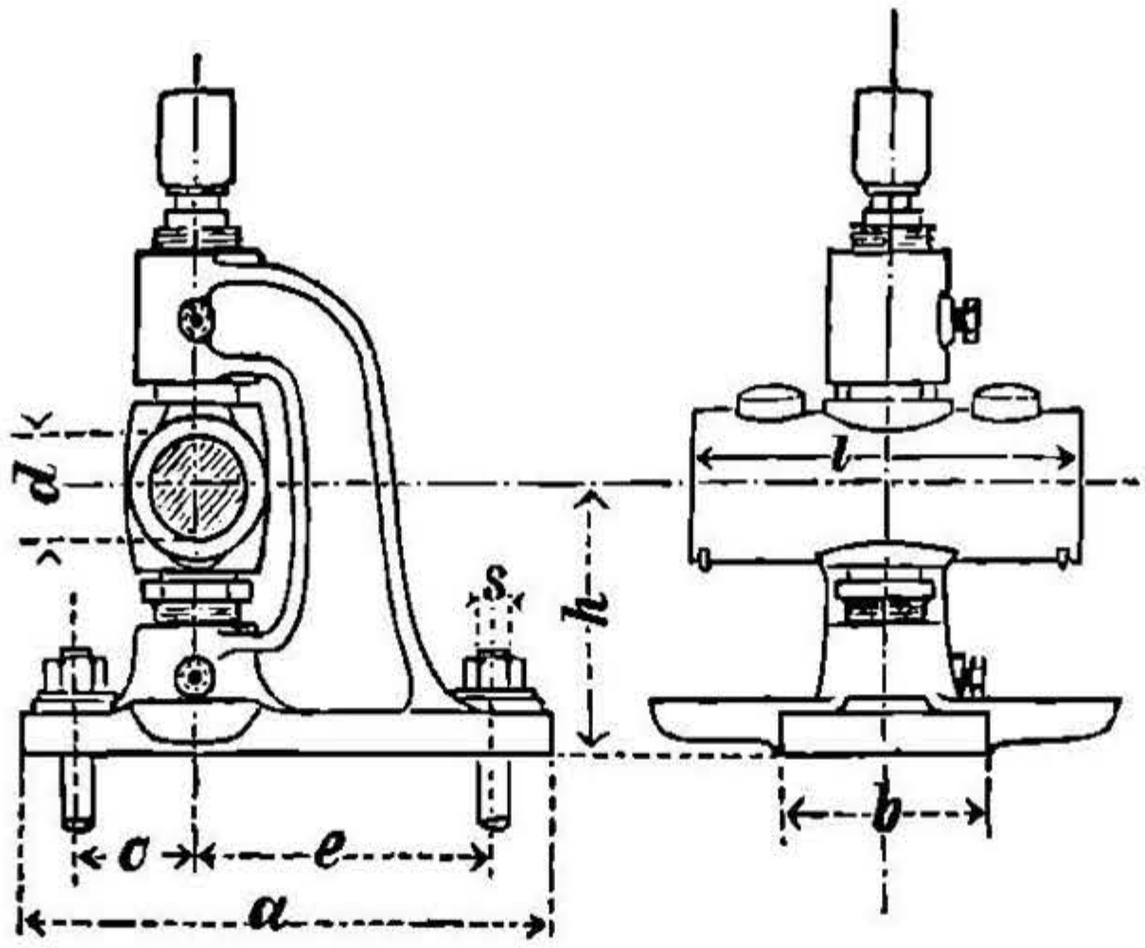
вкладышахъ съ шаровымъ движеніемъ, у которыхъ нижній вкладышъ находится въ закрытомъ со всѣхъ сторонъ резервуарѣ для масла. Одно или два кольца, насаженныя на валу и находящіяся въ подшипникѣ, всегда погружены въ масло и при вращеніи вала производятъ смазку подшипника; смазка дешева, равномѣрна и не загрязняетъ подшипника. Масленокъ и чашекъ для собиранія масла не требуется. Подшипники эти весьма удобны для валовъ съ большимъ чнеломъ оборотовъ.

Черт. 327.



4. На черт. 328 представленъ **открытый подшипникъ** съ шаровымъ движеніемъ; здѣсь средина вкладышей имѣетъ возможность перемѣщаться не только въ горизонтальной плоскости (посредствомъ передвиженія подшипника по его основанію), но и въ вертикальномъ направленіи.

Черт. 328.

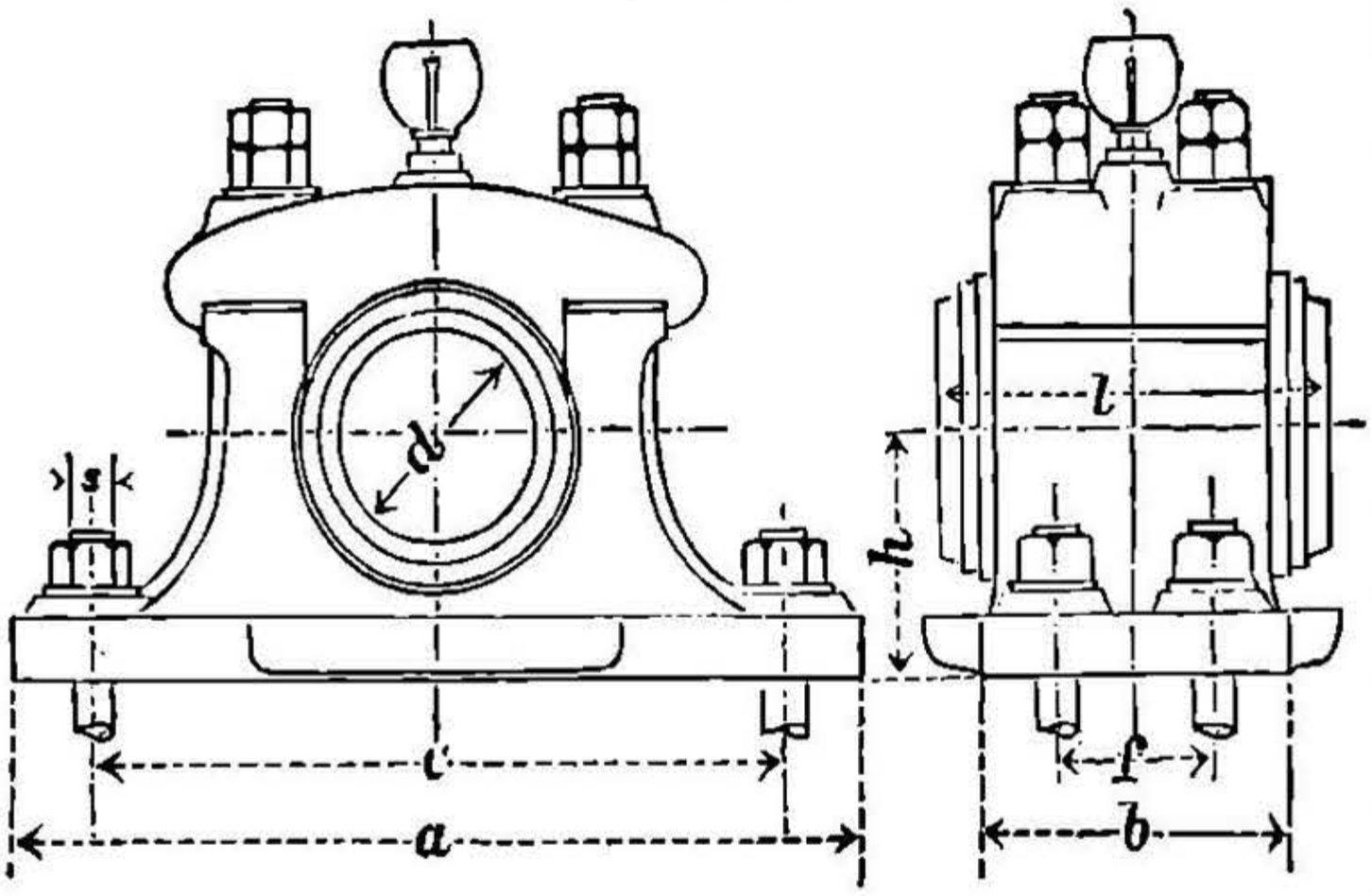


Діаметръ вала.	Длина вкладыша.	Высота подшипника.	Основаніе.		Болты.			Основная плита.		Вѣсъ подшипника.
d	l	h	a	b	c	e	s	Длина.	Ширина.	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
40	160	130	270	90	60	150	13	430	100	14
50	200	145	315	105	70	175	16	500	115	19
60	240	175	380	125	85	215	20	605	135	30
70	280	210	445	140	100	255	23	705	155	46
80	320	210	445	140	100	255	23	705	155	52
90	360	240	510	165	115	295	26	800	180	74
100	400	270	570	190	130	340	29	890	205	102
110	440	270	570	190	130	340	29	890	205	114

НТБ ДНУЗТ

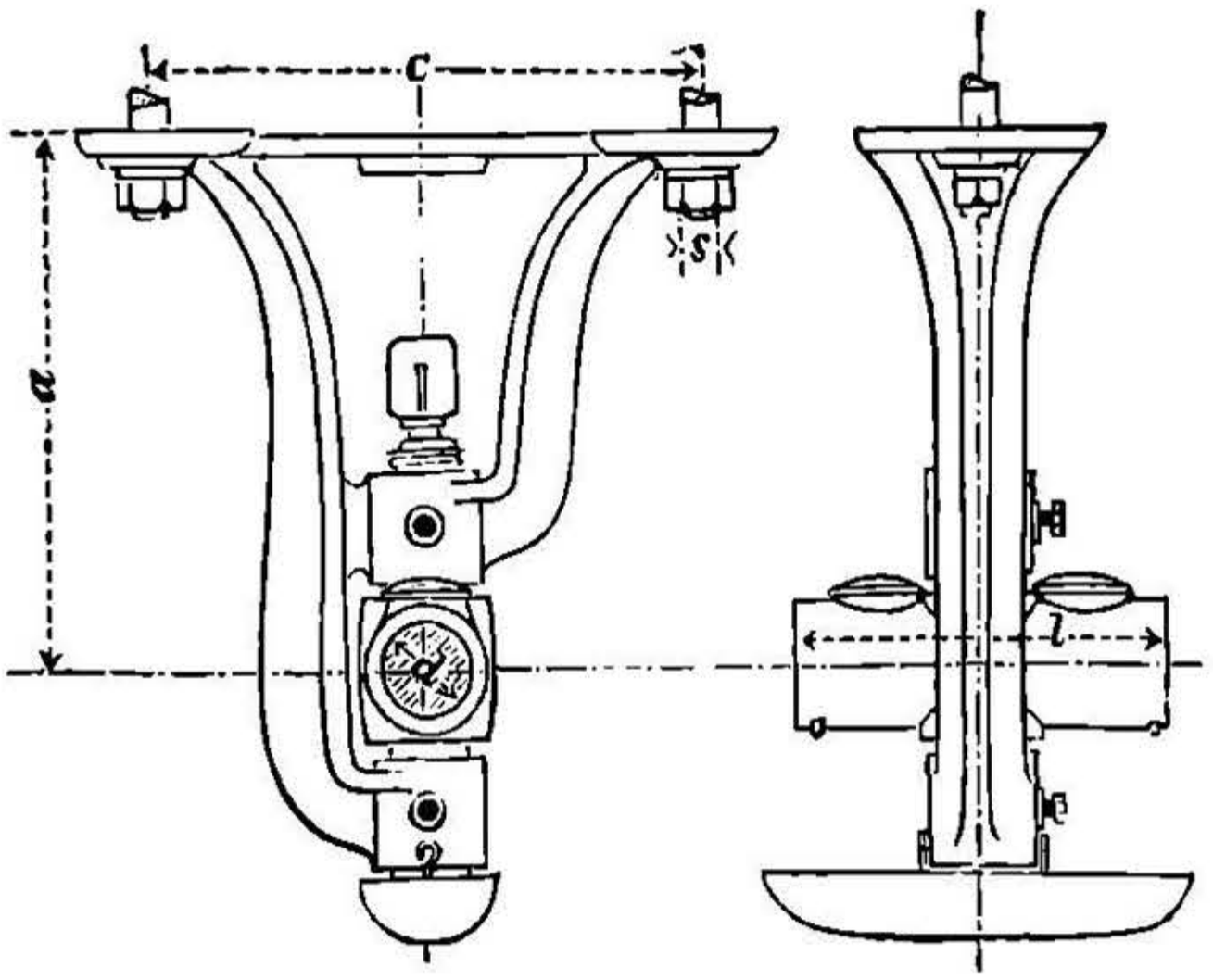
5. Подшипники съ вкладышами изъ бронзы или изъ бѣлаго металла (черт. 329). Вкладыши могутъ быть вынуты. Удобны для тяжелыхъ передаточныхъ валовъ. По обѣ стороны основной плиты прилиты чашки для собиранія стекающаго масла и защиты, такимъ образомъ, фундамента.

Черт. 329.



Діаметръ вала.	Длина вкладыша.	Высота подшипника.	Основаніе.		Болты.			Основная плита.		Вѣсъ подшипника.
d	*l*	*h*	*a*	*b*	*c*	*f*	*s*	Длина.	Ширина.	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
100	200	130	450	170	360	90	23	710	185	75
110	220	130	450	170	360	90	23	710	185	80
120	240	150	540	190	430	100	26	840	205	105
130	260	150	540	190	430	100	26	840	205	110
140	280	180	650	240	530	120	33	1000	265	190
150	300	180	650	240	530	120	33	1000	265	195
160	320	180	650	240	530	120	33	1000	265	200
170	340	210	780	280	640	150	39	1230	310	330
180	360	210	780	280	640	150	39	1230	310	340
190	380	240	890	320	720	170	43	1400	350	470
200	400	240	890	320	720	170	43	1400	350	480
240	480	320	1120	400	900	230	53	1600	440	900

Черт. 330.

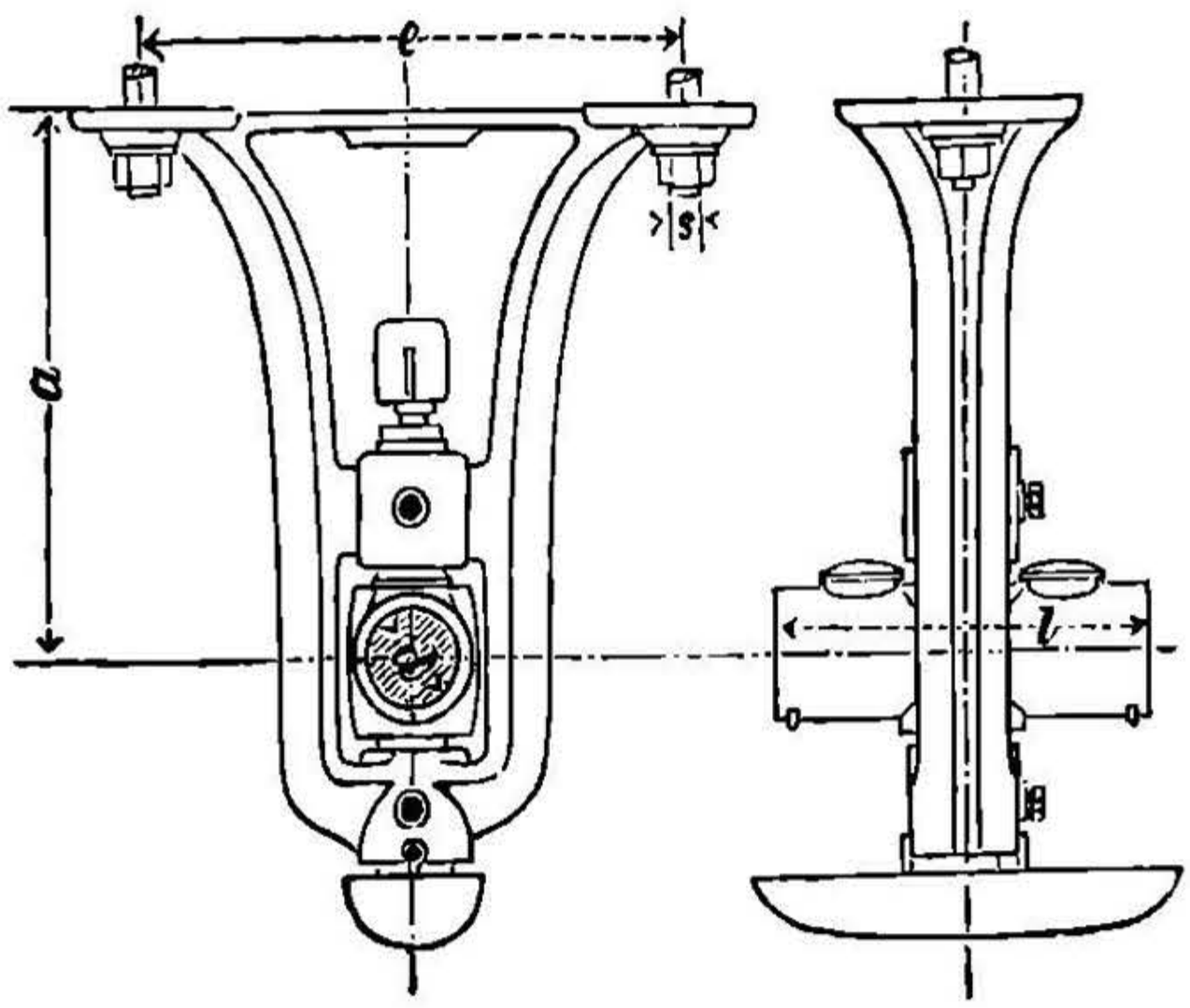


НТБ ДНУЗТ

6. Открытый подвѣсной подшипникъ (черт. 330) и **сомкнутый подвѣсной подшипникъ** (черт. 331). Вкладыши имѣютъ шаровой шарниръ и по высотѣ могуть переставляться.

Приведенные въ нижеслѣдующей таблицѣ открытые и сомкнутые подвѣсные подшипники завода B.-A. M.-A.-G. имѣютъ одинаковые главные размѣры.

Черт. 331.



Діаметръ вала. d mm	Длина вкладыша. l mm	Вылетъ. a mm	Закрѣпляющіе болты. c mm	s mm	Число.	Вѣсъ подшипника въ kg открытаго.	сомкнутаго.
40	160	250	300	20	2	15	15
		300	325	20	2	16	16
		350	350	20	2	17	17
		400	360	20	2	18	18
		500	400	23	2	21	20
50	200	300	340	20	2	26	25
		350	360	20	2	29	27
		400	380	23	2	32	30
		500	420	23	2	36	32
		600	480	23	2	38	42
60	240	300	370	23	2	40	38
		350	390	26	2	42	40
		400	410	26	2	45	42
		500	440	29	2	50	47
		600	500	29	2	61	53
		700	540	29	2	72	60
70	280	350	420	26	2	56	53
		400	440	26	2	60	57
		500	490	29	2	70	67
		600	540	29	2	78	73
		700	580	23	4	86	79
		800	620	20	4	—	87

НТБ ДНУЗТ

Діаметръ вала. d mm	Длина вкладыша. l mm	Вылетъ. a mm	Закрѣпляющіе болты. c mm	s mm	Число.	Вѣсъ подшипника въ kg открытаго.	сомкнутаго.
80	320	350	420	26	2	61	59
		400	440	26	2	66	63
		500	490	29	2	75	73
		600	540	29	2	83	79
		700	580	23	4	92	85
		800	620	26	4	—	93
90	360	400	440	23	4	82	79
		500	500	23	4	87	85
		600	560	26	4	94	91
		700	600	26	4	102	99
		800	675	29	4	—	108
	400	500	550	26	4	—	130
		600	575	26	4	—	142
		700	625	29	4	—	151
		800	650	33	4	—	160
	440	500	550	26	4	—	139
		600	575	26	4	—	148
		700	625	29	4	—	158
		800	650	33	4	—	168
	480	600	600	29	4	—	250
		700	700	33	4	—	280
		800	800	33	4	—	310
	520	600	600	29	4	—	265
		700	700	33	4	—	295
		800	800	33	4	—	325

7. Шаровые подшипники *).

Если P передаваемое усиліе въ kg, i число катковъ или шаровъ, участвующихъ въ передачѣ усилія P, d ихъ діаметръ въ cm, l длина каткозъ въ cm, то, въ предположеніи достаточной твердости матеріала катковъ и при такой конструкціи, которая даетъ основаніе принимать равномѣрное распредѣленіе груза P по i каткамъ ($l : d < 5$) или шарамъ, будемъ имѣть:

для катковъ:	для шаровъ:
$P = c\,i\,l\,d.$	$P = c\,i\,d^2.$

Для избѣжанія значительной деформаціи **коэффиціентъ** c (въ kg/qcm) принимаютъ:

1) c до 25 для чугун. катковъ и до 2,5 для чугун. шаровъ между чугунными гладкими плоскими плитами,
2) c до 60 для стальныхъ катковъ и до 6 для стальн. шаровъ между стальными (литыми) плитами,
3) c до 125 для чугунныхъ шаровъ въ чугунныхъ желобахъ и
4) c до 300 для стальныхъ шаровъ въ стальныхъ желобахъ; въ послѣднихъ двухъ случаяхъ поверхность желобозъ должна

*) См. C. Bach, Maschin.-Elem., 6 изд. 1897, стр. 458 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

быть сглажена и уплотнена катаніемъ шаровъ **подъ наибольшимъ**, допускаемымъ для даннаго случая, давленіемъ, и сѣченіе желобовъ должно быть составлено изъ двухъ равныхъ круговыхъ сегментовъ радіусомъ $r \sim {}^{9}/_{16}\, d$.

При большой длинѣ катковъ необходимо принимать c менѣе указаннаго въ 1) и 2); то же относится до 1) до 4), если нельзя предположить, что всѣ катки или шары несутъ одинаковый грузъ.

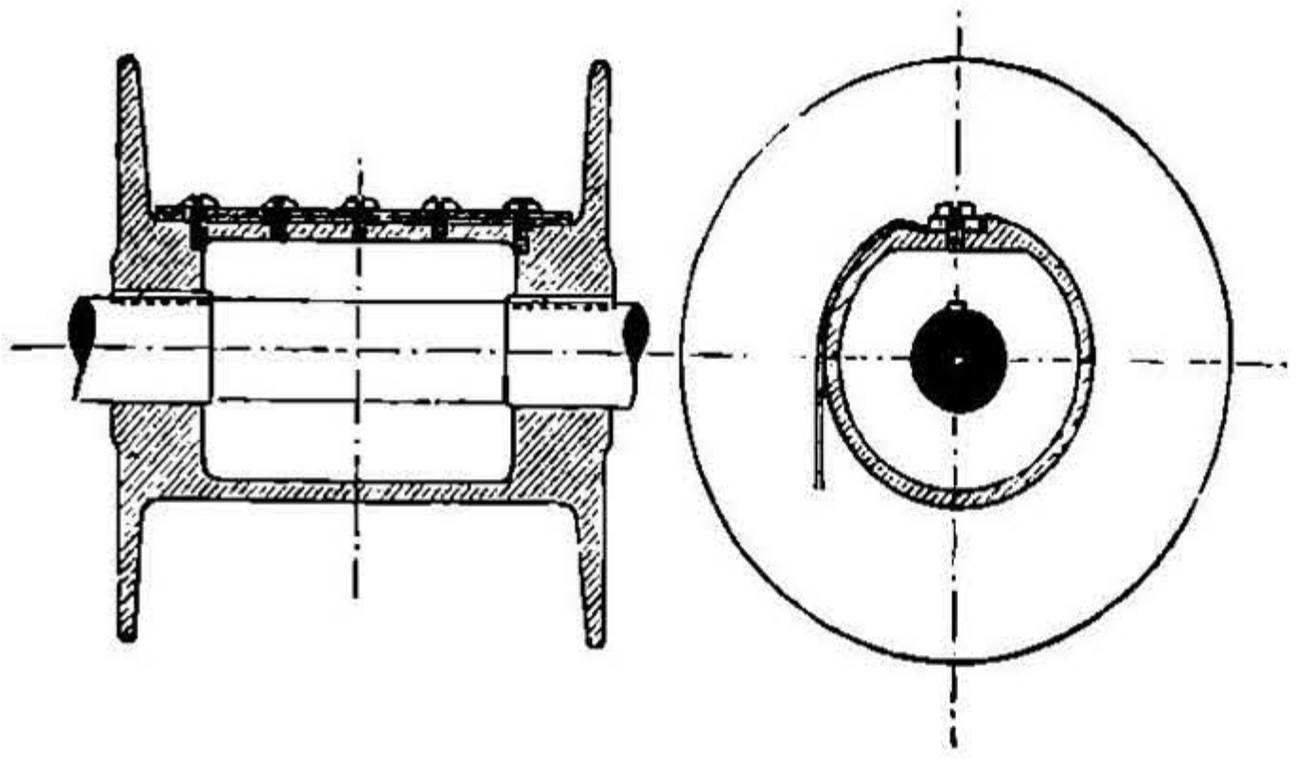
H. Meyer въ Дюссельдорфѣ изготовляетъ фрезированные, вполнѣ твердые, шлифованные и полированные шары изъ особо прессованной инструментальной стали для подшипниковъ къ кранамъ, станкамъ и молотилкамъ, осямъ и т. п. Діаметръ d шаровъ ${}^{1}/_{8}$ до 2 дюймовъ, съ точностью до 0,01 mm. Допускаемымъ по указанію этой фирмы нагрузкамъ соотвѣтствуетъ въ послѣдней формулѣ $c \sim 700$ kg/qcm; эта величина слишкомъ велика даже и для весьма твердыхъ поверхностей подшипника.

III. ДЕТАЛИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХЪ МАЩИНЪ.

A. Ремни, пояса и барабаны къ нимъ.

Ремни изъ хорошей кожи, употребляемые для подъемныхъ машинъ, могутъ быть напрягаемы до 30—40 kg/qcm.

Черт. 332.



Для **пеньковыхъ ремней** (поясовъ) двойныхъ, толщиною 4 mm, сотканныхъ изъ хорошей русской пеньки, допускается 70 до 80 kg/qcm; для четверныхъ поясовъ, 6 до 8 mm толщиною, допускается 60 до 70 kg/qcm; для шестерныхъ—55 до 60 kg/qcm. Пояса изготовляются (ткутся) до 60 cm шириною.

Діаметръ барабана принимается не менѣе 30 до 40 разъ больше толщины ремня или пояса. Прикрѣпленіе ремня или пояса къ барабану производится посредствомъ прижимной планки, прикрѣпляемой къ барабану винтами съ плоскими головками (черт. 332). Для сохраненія въ исправности мѣста укрѣпленія ремня къ барабану необходимо, чтобы при наинизшемъ положеніи груза прижимная планка всегда обхватывалась однимъ или двумя оборотами ремня или пояса.

Отверстія для закрѣпляющихъ болтовъ продѣлываются въ ремняхъ при помощи особой круглой стамески, а въ пеньковыхъ поясахъ при помощи шила, которое продѣвается въ промежутки ткани.

НТБ ДНУЗТ

B. Канаты, канатные шкивы и барабаны.

a. Пеньковые канаты.

1. Канаты. Общія данныя о пеньковыхъ канатахъ см. стр. 484. Таблица для наиболѣе употребительныхъ канатовъ круглаго и плоскаго сѣченія для подъема грузовъ приведена на стр. 509.

Таблица показываетъ, что несмоленые канаты обладаютъ нѣсколько большимъ сопротивленіемъ, чѣмъ смоленые, также баденскіе сученые пеньковые канаты лучше сопротивляются разрыву, чѣмъ русскіе, которые на 30% дешевле. Плоскіе канаты сшиваются изъ 4 до 6 обыкновенныхъ круглыхъ канатовъ; употребляются преимущественно для грузоподъемныхъ машинъ въ шахтахъ.

Пусть:

P допускаемая нагрузка (рабочая) на канатъ въ kg,

D діаметръ шкива (или барабана), считая между срединами каната, въ cm,

d діаметръ каната въ cm,

q вѣсъ одного пог. m каната въ kg.

При обхватываніи канатныхъ шкивовъ или при навиваніи на барабаны канаты напрягаются тѣмъ болѣе, чѣмъ менѣе отношеніе $D : d$.

Для лебедокъ и блоковъ выбираютъ:

при новыхъ, слабо свитыхъ и легко гнущихся, смоленыхъ канатахъ (круглыхъ):

$$\text{для } D \geqq 7\,d: \qquad P \leqq 60\,d^2,$$

при новыхъ туго свитыхъ и несмоленыхъ канатахъ (круглыхъ):

$$\text{для } D \geqq 10\,d: \qquad P \leqq 80\,d^2.$$

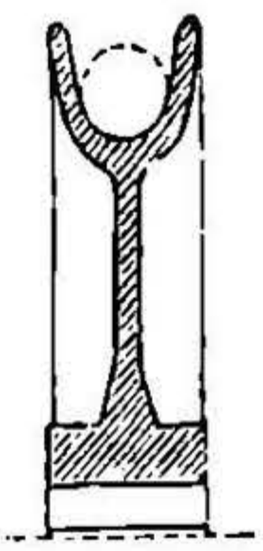
Для круглыхъ пеньковыхъ канатовъ грузоподъемныхъ машинъ въ шахтахъ принимаютъ:

$$P = 60\,d^2 \text{ до } 80\,d^2, \text{ причемъ } D \geqq 50\,d \text{ до } 80\,d.$$

Отношеніе силы въ ведущей части каната къ сопротивленію въ набѣгающей на колесо части каната зависитъ отъ жесткости каната и тренія цапфъ. См. подъемныя машины; на стр. 234 и слѣд., принята во вниманіе только жесткость каната.

2. Канатные блоки и барабаны для пеньковыхъ канатовъ. О наименьшемъ соотношеніи $D : d$ см. выше. На черт. 333 представленъ канатный шкивъ, сидящій плотно на валу. Если шкивъ вращается свободно на валу, то длина ступицы должна быть увеличена. Желобъ гладко обточенъ, и канатъ свободно въ него ложится. Допускаемое давленіе на единицу поверхности ступицы или цапфы $\leqq 70$ kg/qcm, при работѣ чугуна по желѣзу.

Черт. 333.



Канатные шкивы для подъемниковъ, у которыхъ одинъ конецъ каната прикрѣпленъ къ платформѣ (вѣсомъ G_1 kg и наибольшимъ грузомъ Q kg), а другой конецъ несетъ противовѣсъ G_2 kg, должны имѣть (при конструкціи обода черт. 333) по меньшей мѣрѣ $D = 32\,d$ до $40\,d$ для того, чтобы треніе было достаточно для передачи силы. При пенькѣ превосходнаго качества можно доходить до $P = 100\,d^2$.

Для того, чтобы не происходило скольженія каната по шкиву, необходимо (стр. 234), чтобы:

НТБ ДНУЗТ

$$G_2 \leqq G_1 e^{\mu\pi}; \qquad G_1 + Q \leqq G_2 e^{\mu\pi}, \text{ или}$$

$$\frac{Q}{G_1} \leqq e^{2\mu\pi} - 1, \text{ т. е. при } \mu = 0{,}2$$

$$Q \leqq 2{,}5\, G_1; \quad \text{и} \quad G_2 \leqq 1{,}87\, G_1.$$

Большею частію Q находится между $1{,}5\ G_1$ и $2\ G_1$.

Канатнымъ шкивамъ придается также клинообразная форма сѣченія, какъ указано на черт. 317, стр. 485. Если при этомъ принять $2\beta = 30^0$, то предыдущія условія даютъ:

$$Q \leqq 15\, G_1; \qquad G_2 \leqq 4\, G_1.$$

Подъемные канаты

завода Фельтенъ и Гильомъ въ Кельнѣ.

Діаметръ каната d mm	Круглые канаты несмоленые. Баден. сучен. пенька. Вѣсъ q kg/m	Допуск. нагрузка P *). kg	Русская чистая пенька. Вѣсъ q kg/m	Допуск. нагрузка P *). kg	Круглые канаты смоленые. Баденск. сучен. пенька. Вѣсъ q. kg/m	Допуск. нагрузка P *). kg	Русская чистая пенька. Вѣсъ q. kg/m	Допуск. нагрузка P *). kg
16	0,21	230	0,20	200	0,23	200	0,22	176
20	0,32	350	0,31	314	0,36	314	0,35	275
23	0,37	470	0,36	416	0,43	416	0,42	363
26	0,53	600	0,51	531	0,58	531	0,56	464
29	0,64	740	0,62	660	0,70	660	0,70	578
33	0,80	960	0,78	855	0,90	855	0,87	748
36	0,96	1145	0,93	1017	1,07	1017	1,04	890
39	1,06	1340	1,03	1194	1,18	1194	1,15	1044
46	1,55	1870	1,50	1661	1,73	1661	1,68	1453
52	2,03	2390	1,97	2122	2,24	2122	2,18	1857

Смоленые кабельные канаты изъ баденской сученой пеньки. Діаметръ каната d. mm	Вѣсъ q. kg/m	Допускаемая нагрузка P **). kg
59	2,67	4550
65	3,70	5530
72	4,00	6780
78	4,80	7960
85	5,60	9450
92	6,40	11070
98	7,46	12575
105	8,53	14420

Смоленые плоскіе канаты изъ баденской сученой пеньки. Ширина b. mm	Толщина s. mm	Вѣсъ q. kg/m	Разрывающій грузъ. kg.
92	23	2,35	14812
105	26	3,04	19110
118	26	3,36	21476
130	29	4,26	26390
130	33	4,80	30030
144	33	5,28	33264
157	33	5,60	36267
157	36	6,24	39564
183	36	7,20	46116
183	39	7,84	49959
200	44	9,25	61600
250	46	12,10	80500
310	47	15,00	101600

*) По заводскимъ даннымъ эта величина P соотвѣтствуетъ одной восьмой части разрывающаго груза.

**) По заводскимъ даннымъ величина P здѣсь равна одной шестой части разрывающаго груза.

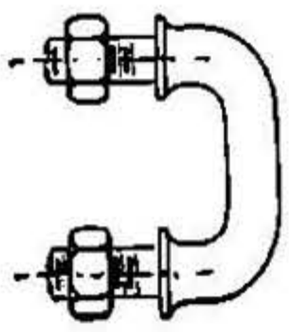
Вѣсъ одного пог. фута, аршина и сажени въ русскихъ фунтахъ получается умноженіемъ цифръ таблицы соотвѣтственно на 0,744, 1,73 и 5,21.

Нагрузка въ пудахъ получается умноженіемъ цифръ таблицы на 0,0006.

НТБ ДНУЗТ

Канатные барабаны имѣютъ гладкую поверхность и на концахъ борты (фланцы). Обыкновенно придаютъ стѣнкамъ барабана толщину $\geqq 1{,}0$ cm до 1,2 cm, если только, при большой длинѣ барабана, изгибающія или скручивающія усилія не требуютъ увеличенія этого размѣра. Длина барабана должна быть достаточною для того, чтобы на барабанѣ всегда находилось нѣсколько оборотовъ каната, и тѣмъ было бы сохранено приспособленіе, служащее для прикрѣпленія каната къ барабану. Укрѣпленіе въ видѣ скобы по чертежу 334.

Черт. 334.



Чтобы валъ барабана не подвергался крученію, соединяютъ непосредственно со сплошной лобовой стѣнкой барабана цилиндрическое зубчатое колесо помощью болтовъ. Другая лобовая стѣнка имѣетъ отверстіе для выниманія стержня при отливкѣ.

Для достиженія правильности въ наматываніи каната на барабанъ необходимо, по возможности, избѣгать **отклоненій** каната, а въ случаѣ надобности употреблять направляющіе ролики, перемѣщающіеся по направленію оси барабана.

Барабаны для шпилей, у которыхъ канаты держатся лишь треніемъ нѣсколькихъ оборотовъ, см. отдѣлъ VI, грузоподъемныя машины.

b. Проволочные канаты и принадлежности къ нимъ.

1. Канаты. Общія данныя о проволочныхъ канатахъ см. стр. 480. Проволочные канаты для подъема грузовъ изготовляются круглаго и плоскаго сѣченія. **Круглые канаты** различаются по числу и діаметру проволокъ, числу стренгъ (прядей) и пеньковыхъ сердцевинъ, количеству завитковъ на одномъ пог. m, какъ для отдѣльныхъ проволокъ, составляющихъ канатъ, такъ и для стренгъ, и, наконецъ, по матеріалу проволоки.

Плоскіе проволочные канаты составляются изъ нѣсколькихъ расположенныхъ другъ подлѣ друга круглыхъ канатовъ, соединенныхъ сшиваніемъ. Преимущество этихъ канатовъ заключается въ большей ихъ гибкости сравнительно съ круглыми канатами такого же сѣченія. Канаты эти, однако, мало распространены въ виду ихъ непродолжительной службы, неодинаковаго растяженія въ отдѣльныхъ частяхъ и неравномѣрнаго износа.

При **выборѣ конструкціи каната** необходимо руководствоваться тѣмъ, что, при одномъ и томъ же матеріалѣ и одинаковомъ сопротивленіи его разрыву; канатъ, состоящій изъ многихъ тонкихъ проволокъ, болѣе гибокъ, нежели канатъ изъ меньшаго количества, но болѣе толстыхъ, проволокъ, что пеньковыя прокладки, не смотря на увеличеніе діаметра каната, дѣлаютъ его болѣе гибкимъ,—наконецъ, что плоскіе канаты, при одинаковомъ сопротивленіи разрыву, болѣе гибки, чѣмъ канаты круглые, и допускаютъ меньшій діаметръ барабана.

НТБ ДНУЗТ

При выборѣ рода каната для опредѣленной цѣли слѣдуетъ руководствоваться указаніями завода, спеціально занимающагося изготовленіемъ канатовъ.

Въ канатахъ, у которыхъ одинъ оборотъ навертывается на другой, для устраненія раздавливанія каната, необходимо избѣгать пеньковыхъ прокладокъ, увеличивающихъ гибкость; равнымъ образомъ, необходимо избѣгать тонкихъ проволокъ въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ, вслѣдствіе большой передаваемой канатомъ работы, можно опасаться сильнаго износа отъ тренія и давленія. Для канатовъ, работающихъ въ водѣ (кислой), необходимо принимать возможно большіе размѣры проволоки и покрывать ихъ цинкомъ или свинцомъ. Относительно смазки канатовъ см. стр. 480.

Матеріаломъ для проволоки служитъ преимущественно, кромѣ отожженнаго желѣза и бессемеровой стали (съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву $K_z = 4000$ до 6000 kg/qcm), тягучая тигельная сталь, съ $K_z = 11\,500$ до 13 000 kg/qcm. При подъемѣ большихъ грузовъ на значительную высоту приходится употреблять стальную проволоку, выдерживающую на разрывъ 15 000 до 16 000 kg/qcm, а въ крайнемъ случаѣ и 18 000 до 20 000 kg/qcm. Уменьшеніе растяжимости (удлиненія) при увеличеніи временнаго сопротивленія уменьшаетъ продолжительность службы каната и, при нормальныхъ условіяхъ, исключаетъ возможность употребленія шкивовъ малаго діаметра.

Если, при обозначеніяхъ на стр. 483, величина S представляетъ вытягивающую силу въ наиболѣе напряженномъ сѣченіи въ kg, то **общее напряженіе** k_z (въ kg/qcm) составляется изъ нормальнаго напряженія σ_z и напряженія на изгибъ σ_b (см. стр. 484); и приблизительно можно принимать:

$$\frac{S}{i \cdot {}^1/_4 \pi \delta^2} + 800\,000 \frac{\delta}{D} \leqq k_z.$$

при $E = 2\,150\,000$ kg/qcm.

Въ предположеніи цѣлесообразной конструкціи каната и весьма тягучаго матеріала лучшаго качества, можно допускать, какъ наивысшій предѣлъ для канатовъ:

изъ желѣзной проволоки и бессемеровой стали.	k_z до	1500 kg/qcm
„ тигельн. стали (подъемники для людей).....	k_z „	2000 „
„ тигельн. стали (подъемники не для подъема людей.).	k_z „	3000 „

Этихъ допускаемыхъ наивысшихъ напряженій слѣдуетъ, однако, избѣгать, такъ какъ при ихъ допущеніи будетъ превзойдено допускаемое напряженіе (стр. 341). Кромѣ того, необходимо при выборѣ напряженій принимать въ разсчетъ, что S представляетъ лишь статическую нагрузку, которая увеличивается въ первый моментъ подъема при трогании съ мѣста.

Если Q поднимаемый грузъ въ kg, l наибольшая длина свѣшивающейся части каната въ m, q вѣсъ одного пог. m каната въ kg, то для каната объ i проволокахъ діаметромъ δ cm имѣемъ:

$$S = Q + ql \quad \text{и} \quad q = 0{,}75\, i\, \delta^2 \text{ до } 0{,}80\, i\, \delta^2.$$

НТБ ДНУЗТ

Для **круглыхъ подъемныхъ канатовъ** обыкновенно употребляютъ проволоку діаметромъ отъ 1,4 mm и maximum до 2,8 mm; при этомъ D должно быть по возможности $\geqq 1000\,\delta$. Въ исключительныхъ случаяхъ, когда требуются одновременно толстые канаты и малые діаметры барабановъ, можно принимать $D = 1000\,\delta$, до $500\,\delta$, не выходя, однако, при этомъ изъ предѣльнаго значенія.

При одинаковой толщинѣ проволоки δ, діаметръ барабана увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ числа проволокъ и принимается $D \geqq 100\,d$; только въ исключительныхъ случаяхъ допускается $D \geqq 70\,d$, при сохраненіи вышеприведеннаго отношенія D къ δ.

Фельтенъ и Гильомъ, въ Мюльгеймѣ, изготовляютъ подъемные канаты круглаго сѣченія съ $\delta = 1{,}4$ до 3,4 mm, $i = 36$ до 180, $d = 13$ до 70 mm и $q = 0{,}55$ до 16,60 kg/m; кромѣ того, плоскіе подъемные канаты съ $\delta = 1$ до 2 mm, $i = 120$ до 320, $b = 38$ до 165 mm, $s = 9$ до 28 mm, $q = 1{,}0$ до 10,6 kg/m.

Примѣчаніе. Указываемыя въ табл. Фельтенъ и Гильомъ величины разрывающихъ грузовъ опредѣлены какъ сумма разрывающихъ грузовъ для отдѣльныхъ проволокъ каната. Разрывныя пробы надъ канатами даютъ величину разрывающаго груза на 10% меньшую.

Для весьма гибкихъ **кабельныхъ канатовъ** ($\delta = 1$ до 2 mm, $i = 120$ до 294 и $d = 20$ до 63 mm и $q = 0{,}9$ до 11,5 kg/m) допускается $D = 400\,\delta$, при увеличеніи напряженія каната k_z до $^1/_4 K_z$. Тѣмъ не менѣе, этихъ предѣльныхъ величинъ при $\delta = 1{,}6$ до 2 mm слѣдуетъ избѣгать.

Подъемные канаты для барабановъ малыхъ діаметровъ $D = 250$ до 600 mm составляются изъ проволокъ съ $\delta = 0{,}5$ до 1,2 mm, $i = 96$ до 252 ($d = 9$ до 35 mm, $q = 0{,}18$ до 2,62 kg/m) по образцу кабельныхъ канатовъ, и должны быть особенно гибкими, почему въ этихъ случаяхъ $D \geqq 500\,\delta$ при $D = 28\,d$ для канатовъ, у которыхъ $i = 96$, и $D = 18\,d$ для $i = 252$ *).

При допущеніи большихъ діаметровъ ($D = 500$ до 1500 mm) барабана можно принимать канаты съ $d = 9$ до 25 mm и меньшимъ $i = 42$ до 114, при увеличенной толщинѣ проволокъ δ отъ 1,0 до 1,6 mm. Съ увеличеніемъ толщины проволоки и толщины каната необходимо соотвѣтственно увеличивать діаметръ барабана отъ $D = 500\,\delta$ до $D = 940\,\delta$.

Матеріаломъ для указанныхъ канатовъ подъемныхъ машинъ служитъ проволока тигельной стали съ временнымъ сопротивленіемъ $K_z = 12\,000$ kg/qcm, оцинкованная или неоцинкованная.

Проволочные канаты изъ плоскихъ стренгъ **) (прядей) завода Фельтенъ и Гильомъ, съ пеньковой сердцевиной, состоятъ изъ пяти стренгъ; каждая стренга овальнаго сѣченія состоитъ изъ круглыхъ проволокъ съ сердцевиной изъ проволоки продолговатаго сѣченія. Имѣютъ, по сравненію съ проволочными канатами изъ стренгъ круглаго сѣченія, то преимущество, что прилегаютъ къ окружности канатнаго шкива большимъ количествомъ проволокъ,

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1884, стр. 710, и 1887, стр. 371.
**) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 377.

НТБ ДНУЗТ

почему и изнашиваются значительно менѣе. Они изготовляются (при 5,9 или 5,23 или 5,28 проволокахъ) $d = 8$ до 40 mm и $b = 0{,}28$ до $6{,}25$ kg/m.

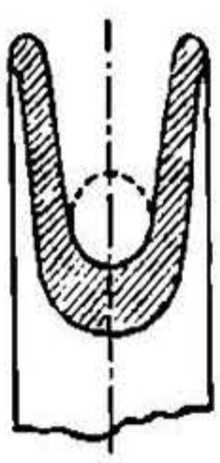
Фельтенъ и Гильомъ съ нѣкотораго времени стали изготовлять **гладкіе канаты** вполнѣ круглаго сѣченія, изъ проволоки особой формы сѣченія (тигельная сталь $K_z = 12\,500$ kg/qcm) безъ пеньковыхъ сердцевинъ. Противъ обыкновенныхъ стренговыхъ канатовъ они представляютъ слѣдующія преимущества: для того же S величина d меньше, q выходитъ меньше, наружнія проволоки изнашиваются равномѣрно, и ходъ каната вслѣдствіе гладкой поверхности по всей длинѣ гораздо равномѣрнѣе. При хорошей смазкѣ проволоки почти не ржавѣютъ, удлиненіе каната ничтожно; въ случаѣ разрыва какой-нибудь проволоки концы ея благодаря особой формѣ сѣченія проволоки не могутъ выступить наружу.

Канаты эти (изъ тонкой проволоки) для подъемныхъ машинъ изготовляются съ $d = 13$ до 35 mm и $q = 0{,}95$ до $6{,}60$ kg/m, для разрывающаго груза 13 500 до 96 300 kg; наименьшій діам. шкива 2,0 до 4,5 m, лучше $D \geqq 150\,d$.

Канаты (изъ толстой проволоки) изъ мягкой стали ($K_z = 5600$ kg/qcm), $d = 25$ до 39 mm, $q = 3{,}5$ до $8{,}6$ kg/m, разрывающій грузъ $= 21\,600$ до $52\,500$ kg, употребляются съ выгодой для направленія въ шахтахъ, для канатнопроволочныхъ дорогъ (поддерживающіе канатъ), насосовъ и т. д.

2. Шкивы и барабаны для проволочныхъ канатовъ. Желобу на окружности колеса (по черт. 335) придается глубина отъ 2,5 до 3 діаметровъ каната и такая профиль, чтобы зазоръ между канатомъ и желобомъ былъ по возможности меньше, и чтобы при этомъ канатъ не зажимался между стѣнками желоба. Блоки для укосинъ подъемныхъ крановъ имѣютъ широкіе желоба (большого сѣченія) для предотвращенія возможности истиранія каната о стѣнки желоба; для предохраненія каната отъ выскакиванія изъ желоба устраиваютъ предохранительныя скобы.

Черт. 335.



Канатъ, навиваемый на **барабанъ**, ложится въ спиральный желобъ полукруглой профили, выточенный на окружности барабана. Отклоненіе каната отъ своего средняго положенія должно быть $\leqq 1 : 50$, т. е. разстояніе между осями барабана и шкива должно быть больше длины барабана по крайней мѣрѣ въ 25 разъ; а при большомъ отклоненіи должны быть примѣняемы направляющіе ролики, передвигающіеся параллельно своей оси. Прикрѣпленіе каната см. стр. 510.

Канату придается такое направленіе движенія, чтобы при набѣганія на всѣ шкивы и барабаны канатъ изгибался всегда въ одну сторону.

Для избѣжанія скольженія каната по шкиву при измѣненіи скорости (уменьшается также износъ каната) шкивы и барабаны должны быть по возможности легки и тщательно выбалансированы.

НТБ ДНУЗТ

C. Цѣпи, цѣпныя колеса и барабаны.

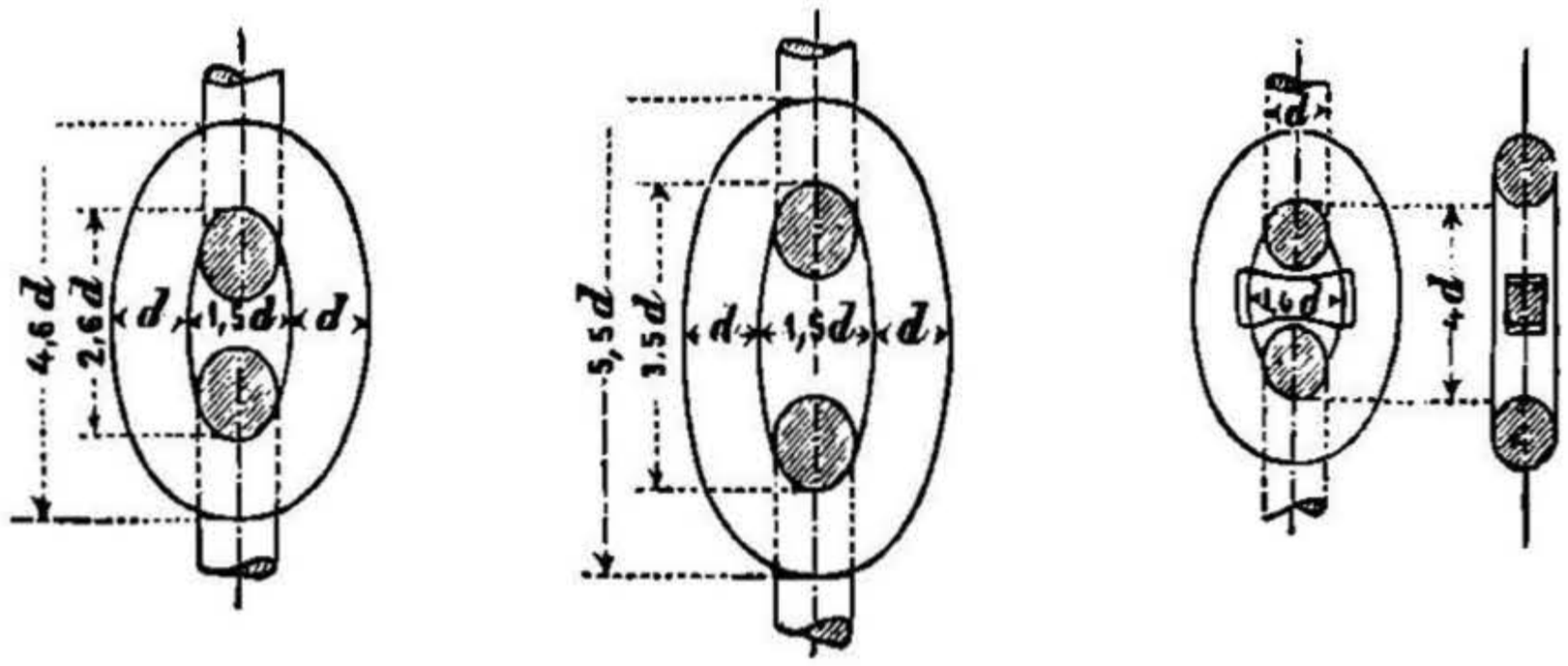
a. Заварныя цѣпи и принадлежности къ нимъ *).

1. Цѣпи. Типы: короткозвенная цѣпь (черт. 336), вѣсъ $q = 2{,}25\,d^2$ kg/m, длиннозвенная цѣпь (черт. 337), $q = 1{,}92\,d^2$ kg/m, и цѣпь съ распоркой (черт. 338), $q = 1{,}98\,d^2$ kg/m, при удѣльномъ вѣсѣ желѣза 7,8, если d діам. цѣпного желѣза въ cm. Короткозвенная цѣпь на барабанѣ небольшого діаметра меньше подвергается изгибу и болѣе подвижна, но тяжеле и дороже остальныхъ типовъ цѣпей. Распорка увеличиваетъ разрывающій грузъ цѣпи въ среднемъ на 12,5%; цѣпи съ распорками примѣняются преимущественно какъ якорныя цѣпи.

Толстыя цѣпныя звенья свариваются сбоку, а тонкія—въ загибѣ. По Гартунгу **), продолжительность службы цѣпи въ значительной мѣрѣ возрастаетъ въ томъ случаѣ, когда твердое мѣсто сварки одного звена работаетъ по такому же мѣсту сварки другого звена, а загнутый (мягкій) уголъ звена работаетъ также по загнутому (мягкому) углу сосѣдняго звена.

У **калиброванныхъ цѣпей** точная длина звеньевъ (для подъемныхъ машинъ, цѣпного пароходства и т. д.) достигается послѣдующей точной обдѣлкой звеньевъ по шаблонамъ.

Черт. 336. Черт. 337. Черт. 338.



Шагомъ (**дѣленіемъ**) цѣпи называютъ внутреннюю длину l цѣпного звена или разстояніе между срединами двухъ сосѣднихъ звеньевъ. Соотношеніе между l и внутренней шириной b для цѣпей точно не установлено: оно различно при различныхъ условіяхъ и въ разныхъ странахъ, такъ что при проектированіи цѣпныхъ блоковъ необходимо знать фирму, изготовляющую цѣпь.

Для опредѣленія наименьшаго разрывающаго груза P_2 (въ kg) или наименьшаго временнаго сопротивленія K_z (въ kg/qcm) берутъ 3 или 5 цѣпныхъ звеньевъ съ конца цѣпи и подвергаютъ разрыву. Испытаніе цѣпи пробною нагрузкою P_1, т. е. опредѣленіе безопасной нагрузки для цѣпей, производится на гидравли-

---

*) О цѣпяхъ, прокатанныхъ по способу Клатте, см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1894, стр. 944, и 1895, стр. 1146.

**) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 879.

НТБ ДНУЗТ

ческихъ прессахъ для всей цѣпи или отрѣзками длиною въ 25 m, причемъ для допускаемой нагрузки цѣпь не должна давать замѣтныхъ удлиненій.

Для различныхъ цѣпей встрѣчаются слѣдующія соотношенія:

k_z допускаемое напряженіе на разрывъ, p пробная нагрузка въ kg/qcm k_z, p и K_z относятся къ обоимъ сѣченіямъ цѣпного звена, т. е. къ сѣченію $f = 2.{}^1/_4 \pi d^2$. Цѣпныя звенья, кромѣ растяженія, подвергаются еще изгибу.

Родъ цѣпей.	l	b	k_z	p	K_z	q
Подъемныя цѣпи	3,5 d	1,5 d	318	1350	2400	1,92 d^2
Крановыя и такелажныя цѣпи . . .	2,6 d	1,4 d	637	1350	2400	2,22 d^2
Якорныя цѣпи для плавучихъ маяковъ	4,0 d	1,4 d	637	1350	2400	1,78 d^2
Длинно-звенныя цѣпи	8,0 d	3,5 d	300	400	1800	1,62 d^2
Якорныя цѣпи съ распоркой	4,0 d	1,6 d	955	1800	2700	1,98 d^2

Матеріалъ для цѣпей—тягучее мягкое сварочное желѣзо: $K_z = 3500$ до 3600 kg/qcm и удлиненіе $\varphi = 12$ до 20% (при длинѣ круглаго образца 200 mm).

Короткозвенныя крановыя и судовыя цѣпи безъ распорки.

(Бехемъ и Кетманъ, Дуисбургъ).

Примѣчаніе. Если въ приводимой ниже таблицѣ толщина цѣпного желѣза выражена въ **cm**, то получимъ допускаемую нагрузку $P = 1000\, d^2$, $k_z = 637$ kg/qcm, испытанный пробный грузъ $P_1 = 2250\, d^2$, разрывной грузъ $P_2 = 4500\, d^2$. Разсчетное сѣченіе $f = 2.\ {}^1/_4 \pi d^2$. Вѣсъ цѣпи около $q = 2{,}25\, d^2$. Отношеніе $q : P_1 : P_2$ должно быть принято въ разсчетъ.

Строительная длина звеньевъ $l = 2{,}5\, d$, ширина звена въ свѣту 1,25 d до 1,5 d. Цѣпи **не калиброваны.**

d mm	P kg	P_1 kg	P_2 kg	f qcm	q kg/mor.m	d mm	P kg	P_1 kg	P_2 kg	f qcm	q kg/mor.m
5	250	560	1120	0,39	0,56	20	4000	9000	18000	6,28	9,00
6	360	810	1620	0,57	0,81	21	4410	9920	19840	6,93	9,92
7	490	1100	2200	0,77	1,10	22	4840	10890	21780	7,60	10,89
8	640	1440	2880	1,01	1,44	23	5290	11900	23800	8,31	11,90
9	810	1820	3640	1,27	1,82	24	5760	12960	25920	9,05	12,96
10	1000	2250	4500	1,57	2,25	25	6250	14060	28120	9,82	14,06
11	1210	2720	5440	1,91	2,72	26	6760	15210	30420	10,62	15,21
12	1440	3240	6480	2,26	3,24	28	7840	17640	35280	12,32	17,64
13	1690	3800	7600	2,45	3,80	30	9000	20250	40500	14,14	20,25
14	1960	4410	8820	3,08	4,41	33	10890	24500	49000	17,11	24,50
15	2250	5060	10120	3,53	5,06	36	12960	29160	58320	20,36	29,16
16	2560	5760	11520	4,02	5,76	39	15210	34220	68440	23,89	34,22
17	2890	6500	13000	4,54	6,50	43	18490	41600	83200	29,04	41,60
18	3240	7290	14580	5,09	7,29	46	21160	47610	95220	33,24	47,61
19	3610	8120	16240	5,67	8,12	49	24010	54020	108040	37,71	54,02

Допускаемая нагрузка P (въ kg) для новой короткозвенной цѣпи безъ распорки изъ лучшаго цѣпного желѣза діаметромъ d cm, работающей на цѣпномъ блокѣ или барабанѣ діам. $D \geqq 20\, d$, можетъ быть принята по К. Баху:

НТБ ДНУЗТ

$P = 1000\,d^2$ для мало напряженныхъ цѣпей ($k_z = 637$ kg/qcm),
$P \leqq 800\,d^2$ для цѣпей въ болѣе частомъ употребленіи ($k_z \leqq 509$ kg/qcm),
$P \leqq 500\,d^2$ для цѣпей паровыхъ лебедокъ ($k_z \leqq 318$ kg/qcm).

Новыя калиброванныя цѣпи, въ видахъ сохраненія ихъ первоначальной длины въ теченіе возможно болѣе продолжительнаго времени, должны нагружаться лишь $^5/_8$ вышеуказаннаго груза.

Наибольшая нагрузка при работѣ калиброванныхъ цѣпей.

$d =$	4,5	5	6	7	8	9	9,5	11	13	14,5	16	18	20	25	30 mm
$P =$	125	155	225	300	400	500	565	750	1050	1300	1600	2000	2500	3900	5600 kg.

Цѣпи, бывшія уже въ дѣлѣ, должны нагружаться, въ зависимости отъ степени износа ихъ звеньевъ, соотвѣтственно меньше.

Перемѣны направленія движенія цѣпи, при которой въ цѣпныхъ звеньяхъ, набѣгающихъ на блоки, происходитъ перемѣна направленія дѣйствующихъ усилій, какъ у всѣхъ гибкихъ тѣлъ, слѣдуетъ по возможности избѣгать. Въ этихъ случаяхъ слѣдуетъ разсчетъ цѣпныхъ звеньевъ вести по нѣсколько уменьшенному k_z.

Для соединенія концовъ разорвавшейся цѣпи пользуются особымъ соединительнымъ звеномъ, которое должно быть такъ проектировано, чтобы оно проходило по зубьямъ цѣпныхъ блоковъ и барабановъ такъ же свободно, какъ обыкновенное цѣпное звено.

2. Блоки и барабаны. Цѣпные блоки со скошенными краями (по двойному конусу), по черт. 339, для $D \geqq 20\,d$ уменьшаютъ напряженіе цѣпныхъ звеньевъ на изгибъ, благодаря хорошей опорѣ для звеньевъ. Боковыя реборды дѣлаются лишь для цѣпей, отклоняющихся отъ плоскости блока. При наклонномъ (діагональномъ) положеніи цѣпныхъ звеньевъ блокамъ придаютъ форму черт. 340.

Черт. 339. Черт. 340. Черт. 341.

Барабаны для цѣпей дѣлаются со спиральнымъ (въ отливкѣ) желобомъ по профили черт. 339, а при діагонально расположенныхъ цѣпныхъ звеньяхъ—по профили желоба черт. 340. Величина хода спиральнаго желоба на окружности барабана = ширинѣ цѣпи + 0,3 до 0,6 cm. діаметръ барабана $D \geqq 20\,d$, наименьшая толщина стѣнокъ барабана 1,2 cm (стр. 510). Длина барабана разсчитывается такъ, чтобы одинъ оборотъ цѣпи не наматывался на другой. Укрѣпленіе цѣпи къ барабану показано на черт. 341.

Для сбереженія мѣста соединенія цѣпи съ барабаномъ необходимо, чтобы при наинизшемъ положеніи груза 1 или 2 оборота всегда находились на барабанѣ.

О соотношеніи силъ $P : Q$ при **цѣпной передачѣ** см. VI отдѣлъ, машины для подъема грузовъ.

НТБ ДНУЗТ

Калиброванныя цѣпи и зубчатые цѣпные блоки завода Г. Кифферъ въ Кельнѣ.

Толщина цѣпного желѣза d. mm	Дѣленіе l. mm	Цѣпные блоки. Діаметръ начальной окружности $2r$ mm (верхнее число). Число зубцовъ z (нижнее число).														
4,5	16	102 10														
5	18,5	72 6	83 7	95 8	118 10	(212) (18)	(283) (24)	(365) (31)								
6	18,5	72 6	83 7	95 8	118 10	130 11	142 12	187 16	220 17	(212) (18)	(234) (20)	(283) (24)	(353) (30)	(365) (31)	(376) (32)	(420) (36)
6	20	166 13	179 14	204 16	255 20	281 22	(357) (28)	(484) (38)	(637) (50)							
7	22,5	73 5	85 6	100 7	115 8	143 10	172 12	187 13	286 20	(387) (27)	(458) (32)	(616) (43)	(740) (52)	(859) (60)		
8	22,5	73 5	85 6	100 7	115 8	143 10	158 11	244 17	258 18	286 20	316 22	(387) (27)	(458) (32)	(616) (43)	(740) (52)	(859) (60)
9	25	82 5	97 6	128 8	160 10	176 11	239 15	319 20	430 27	573 36						
9,5	31	100 5	120 6	159 8	198 10	238 12	316 16	336 17	360 18	395 20	436 22	593 30				
	30	98 5	135 7	192 10	211 11	268 14	287 15	382 20	422 22	574 30	680 36	1471 77				
13	36	117 5	162 7	185 8	207 9	253 11	276 12	321 14	345 15	458 20	551 24	826 36				
14,5	42,5	165 6	218 8	272 10	320 12	380 14	407 15	860 32								
16	48	156 5	186 6	216 7	275 9	337 11	490 16									
18	54	175 5	210 6	243 7	277 8	311 9										
	62,5	200 5	242 6	281 7	320 8	360 9										
	62,5	243 6	282 7	321 8	361 9	479 12	796 20									
25	72	236 5	279 6	325 7	370 8	415 9										
30	80	361 7	411 8													

Примѣчаніе. Дѣленіе l цѣпи есть внутренняя длина звеньевъ. Размѣры колесъ, занные въ скобкахъ, примѣняются для ручныхъ колесъ.

Зубчатые цѣпные блоки (звѣздочки) для калиброванныхъ цѣпей позволяютъ значительно уменьшить плечо груза и примѣнять цѣпи какой-угодно большой длины, занимая при этомъ очень мало

НТБ ДНУЗТ

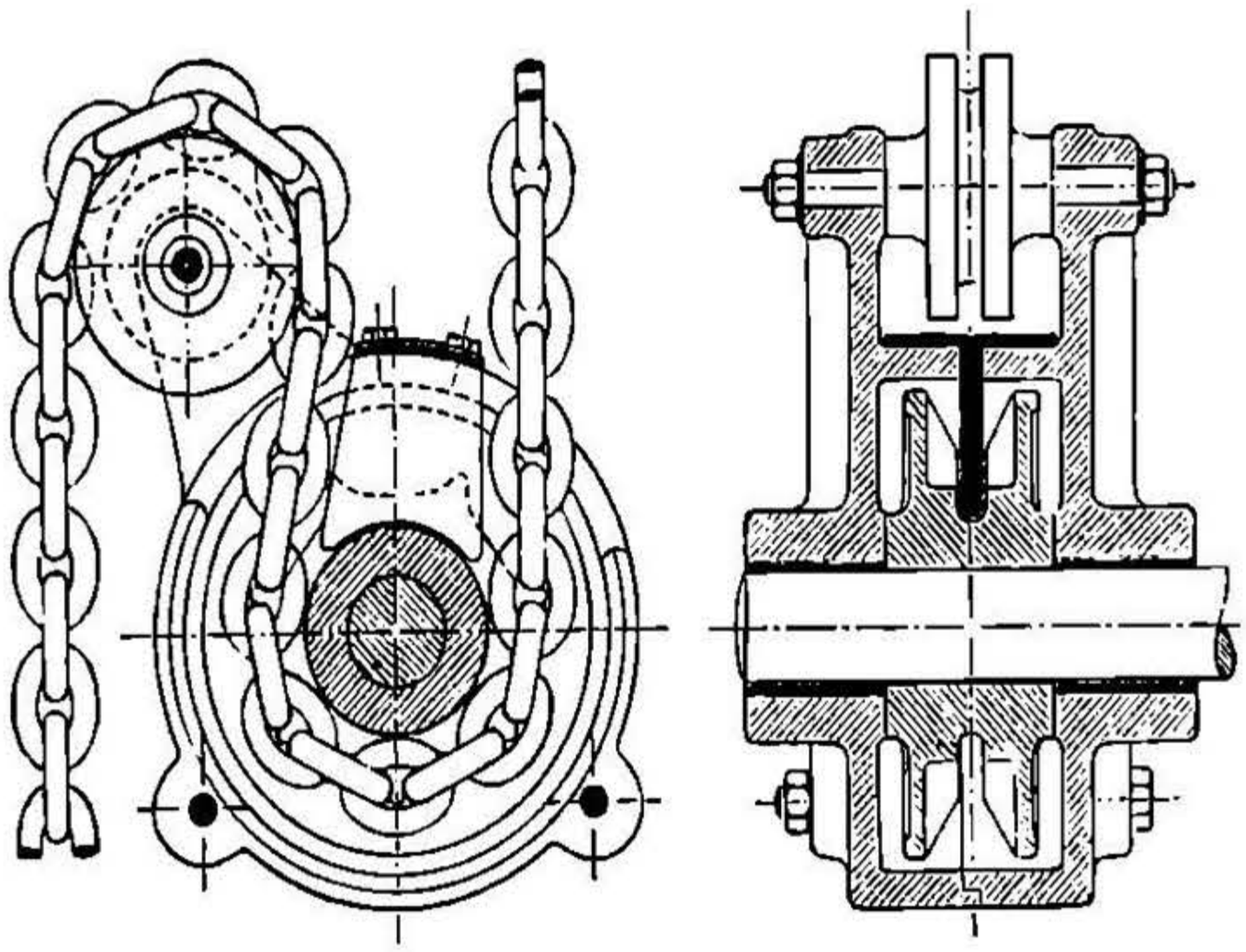
мѣста. Ручная безконечная приводная цѣпь для передачи въ лебедкѣ ($d = 5$ до 10 mm). Сила одного рабочаго на безконечной ручной цѣпи $\leqq 30$ kg. Если l дѣленіе цѣпи и z число зубьевъ цѣпного блока, то радіусъ начальной окружности:

$$r = \frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{l}{\sin\frac{90^0}{z}}\right)^2 + \left(\frac{d}{\cos\frac{90^0}{z}}\right)^2}$$

См. табл. калиброванныхъ цѣпей и цѣпныхъ блоковъ (стр. 517).

Сбѣгающая часть цѣпи направлнется особымъ направляющимъ роликомъ такимъ образомъ, чтобы цѣпь обхватывала цѣпной блокъ по крайней мѣрѣ на половинѣ его окружности (черт. 342); вслѣд-

Черт. 342.



ствіе упругаго удлиненія цѣпныхъ звеньевъ послѣдніе легко зажимаются между зубьями, почему должны быть удаляемы оттуда особымъ клипомъ (черт. 342).

b. Шарнирныя цѣпи и принадлежности къ нимъ.

Всѣ шарнирныя цѣпи должны быть хорошо смазываемы; примѣняются большею частью только въ соединеніи съ зубчатыми цѣпными колесами. Если l длина цѣпного звена и z число зубьевъ цѣпного колеса, то радіусъ его начальной окружности:

$$r = \frac{l}{2\sin(180^0 : z)}.$$

1. Цѣпь Галля. Болты (валики) изъ стали съ точеными цапфами, накладки изъ стали или мягкаго тягучаго сварочнаго желѣза. Для шарнирныхъ цѣпей Галля завода Цобель, Нейбертъ и К^0 (черт. 343) при размѣрахъ, указан. въ табл. стр. 519, можетъ быть допущена

(Продолженіе на стр. 520).

НТБ ДНУЗТ

Шарнирныя цѣпи.

Цобель, Нейбертъ и К°, Шмалькальденъ.

I. Подъемныя шарнирныя цѣпи Галля.

P означаетъ допускаемую нагрузку въ kg, *i*—число накладокъ, *q*—вѣсъ пог. цѣпи въ kg. Остальныя данныя на черт. 343, стр. 520.

P kg	*l* mm	*i*	*s* mm	*h* mm	*d* mm	d_1 mm	*b* mm	*B* mm	d_2 mm	*q* kg/m	Примѣчанія.
100	15	2	1,5	12	4	5	12	23	6	0,7	Съ расклепкой безъ шайбъ.
250	20	2	2	15	6	7,5	15	28	9	1,0	
500	25	2	3	18	8	10	18	38	12	2,0	
750	30	4	2	20	9	11	20	45	13	2,7	
1000	35	4	2	27	10	12	22	50	15	3,8	Съ расклепкой на шайбахъ.
1500	40	4	2,5	30	12	14	25	60	18	5,0	
2000	45	4	3	35	14	17	30	67	21	7,1	
3000	50	6	3	38	17,5	22	35	90	26	11,1	
4000	55	6	4	40	21	24	40	110	32	16,5	
5000	60	6	4	46	23	26	45	118	34	19,0	
6000	65	6	4	53	24	28	45	125	36	24,0	
7500	70	8	4,5	53	26	32	50	150	40	31,5	
10000	80	8	4,5	65	30	34	60	165	45	34,0	
12500	85	8	5	70	31	35	65	180	47	44,8	
15000	90	8	5,5	75	34	38	70	195	50	51,1	Со шплинтами.
17500	100	8	6	80	36	40	75	208	54	58,1	
20000	110	8	6	85	37	43	80	215	56	74,4	
25000	120	8	6,5	100	40	45	90	235	60	83,3	
30000	130	8	7	106	45	50	100	255	—	100,0	

II. Приводныя цѣпи Цобеля.

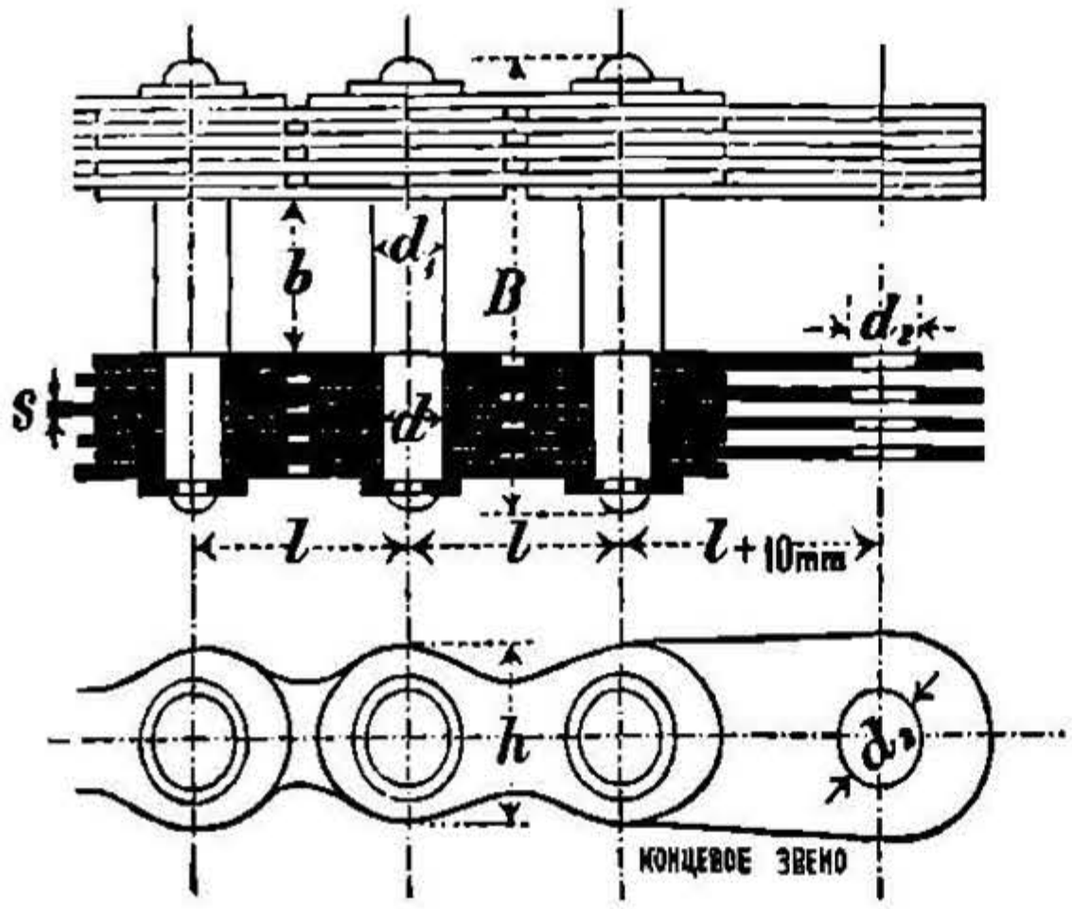
P означаетъ допускаемую нагрузку въ kg, *i*—число накладокъ, *q*—вѣсъ пог. m цѣпи въ kg. Остальныя данныя на черт. 344, стр. 520.

P kg	*l* mm	*i*	*s* mm	*h* mm	*d* mm	d_1 mm	d_2 mm	*b* mm	*B* mm	*q* kg/m	Примѣчанія.
100	20	2	2	14	6	—	10	14	30	1,6	Расклепанные болты.
150	20	2	3	16	7,5	—	12	16	38	2,2	
200	25	2	3	21	9	—	14	18	40	2,5	
300	30	2	3,5	25	11	—	17	20	46	3,9	
400	35	2	4	27	12	—	18	22	50	4,1	
500	40	2	4	30	14	—	20	25	54	4,6	
750	45	2	5	35	16	—	22	30	64	6,7	
1000	50	2	6	38	18	—	26	35	72	9,0	
1500	55	4	4	40	20	—	28	45	97	13,0	
2000	60	4	5	46	24	16	32	50	113	15,7	Со шплинтами на шайбахъ.
2500	65	4	5	53	28	20	36	55	120	18,0	
3000	70	4	5	60	32	24	40	60	125	19,5	
4000	80	6	4,5	65	34	26	44	70	146	27,2	
5000	90	6	4,5	75	36	26	48	80	156	33,0	

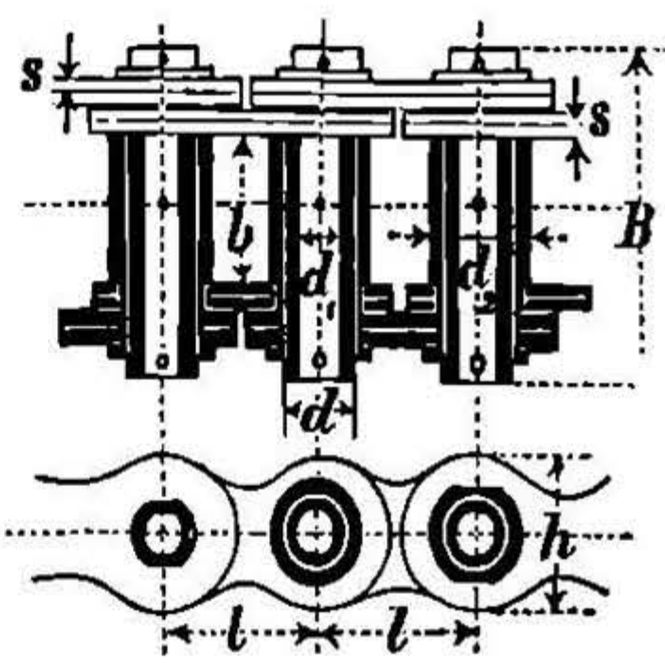
НТБ ДНУЗТ

нагрузка, составляющая $^1/_5$ часть временнаго сопротивленія разрыву (5-ная прочность).

Черт. 343.

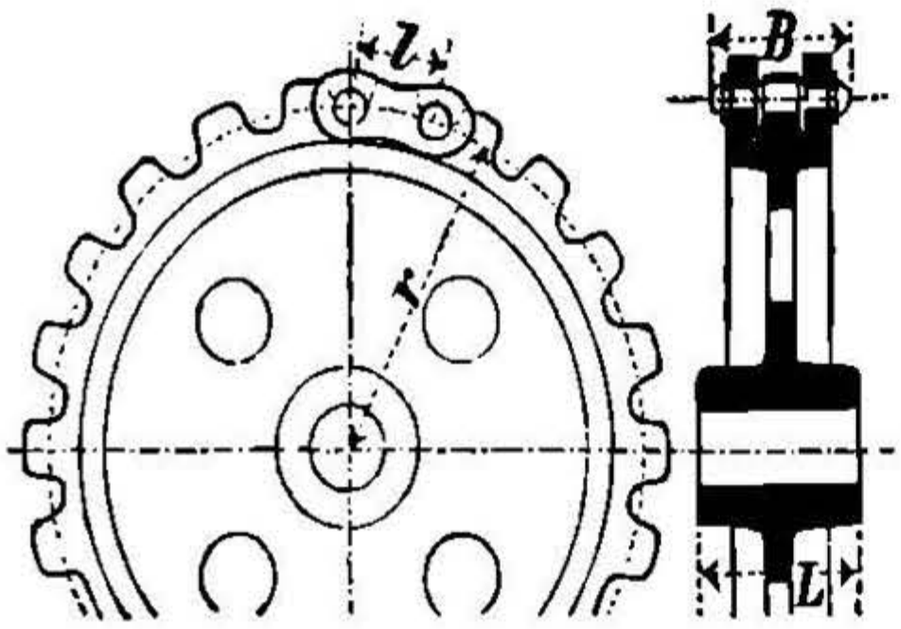


Черт. 344.

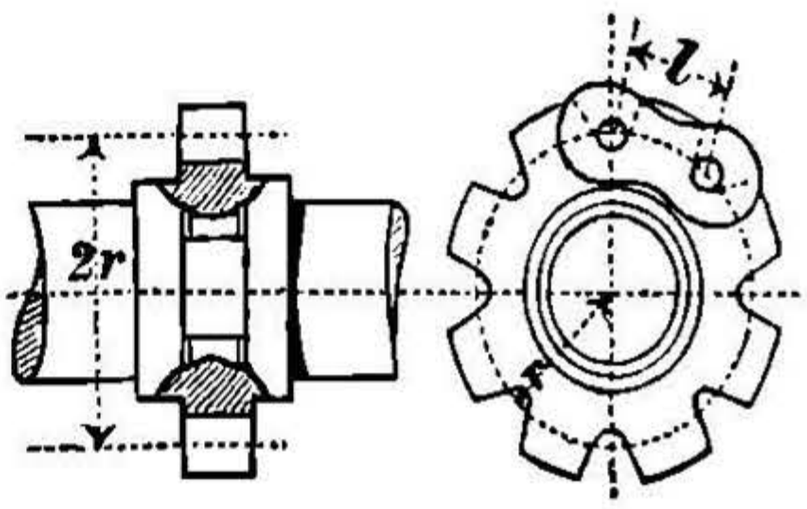


Цѣпные валы (черт. 346) изъ прокованной стали и **цѣпные блоки** изъ чугуна или стальной отливки (черт. 345) для цѣпей Галля устраиваются съ боковыми бортами, на которые ложатся головки накладокъ. Число зубьевъ $z = 8$ до 80. Профиль зубьевъ (черт. 345 и 346) по дугамъ круга, которыя допускаютъ вполнѣ свободный входъ и выходъ соединительныхъ болтовъ. Длина ступицы

Черт. 345.



Черт. 346.



около $L = B + 0{,}14\,r$, гдѣ B наибольшая ширина цѣпи (черт. 343) и r радіусъ начальной окружности (см. формулу выше).

Цѣпь Галля примѣняется для подъема грузовъ вмѣсто обыкновенныхъ калиброванныхъ цѣпей (стр. 517). Для передачи движенія удобнѣе пользоваться показанною на черт. 344, стальною **приводною цѣпью Цобеля** (табл. стр. 519). Эти цѣпи соединяются въ одну безконечную цѣпь только при четномъ числѣ звеньевъ. Цѣпи съ $l = 20$ до 55 mm имѣютъ, въ отличіе отъ черт. 344, вмѣсто полыхъ — сплошные болты, наглухо расклепанные въ наружнихъ накладкахъ; наружній полый болтъ также наглухо расклепанъ по внутренней накладкѣ, такъ что только оба болта могутъ скользить другъ по другу. Заключительное звено безконечныхъ цѣпей укрѣпляется шплинтомъ. Въ цѣпяхъ $l = 55$ до 90 mm всѣ звенья на шплинтахъ. Цѣпныя колеса устраиваются

НТБ ДНУЗТ

подобно черт. 345 и 346. Наибольшая скорость цѣпи при передачѣ движенія $v = 3$ m въ сек.

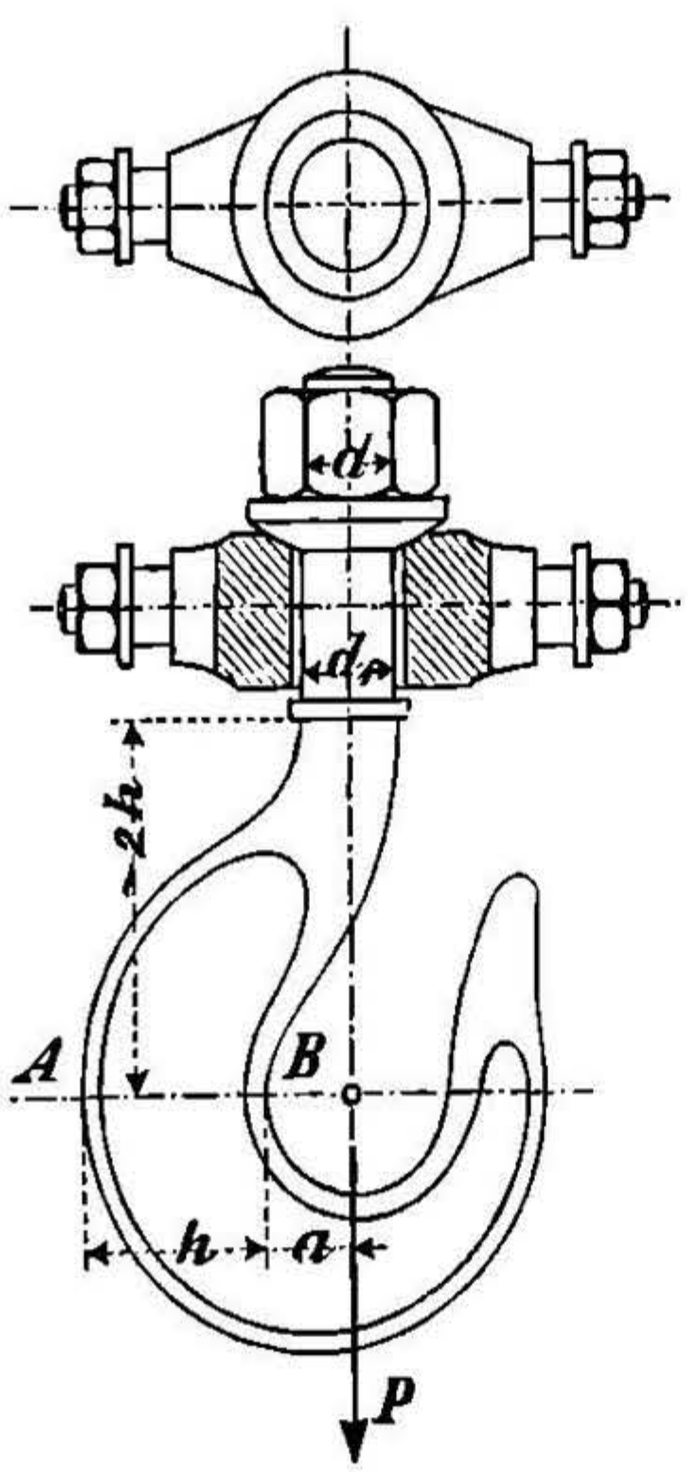
2. Цѣпью Штотца (заводъ въ Штутгартѣ), благодаря особому устройству шарнира, достигается уменьшеніе давленія въ шарнирахъ, при быстрой и легкой разборкѣ и сборкѣ, а также замѣнѣ звеньевъ. Звенья изъ ковкаго тягучаго чугуна, болты стальные. Нагрузка зависитъ отъ допускаемаго напряженія въ шарнирахъ, которое при хорошей и продолжительной смазкѣ должно быть менѣе $k = 60$ kg/qcm. Цѣпи обладаютъ при этомъ 8-ною прочностью, т. е. вполнѣ надежны.

Примѣчаніе. Наиболѣе дешевая передача — проволочными канатами: они даютъ спокойный ходъ и менѣе подвергаются опасности разрыва по сравненію съ заварными цѣпями, но они требуютъ шкивовъ большаго діаметра и скоро изнашиваются: цѣпи дороже, но служатъ дольше. Самыми дорогими являются калиброванныя и шарнирныя цѣпи, которыя примѣняются какъ подъемныя цѣпи лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда требуются барабаны небольшого діаметра.

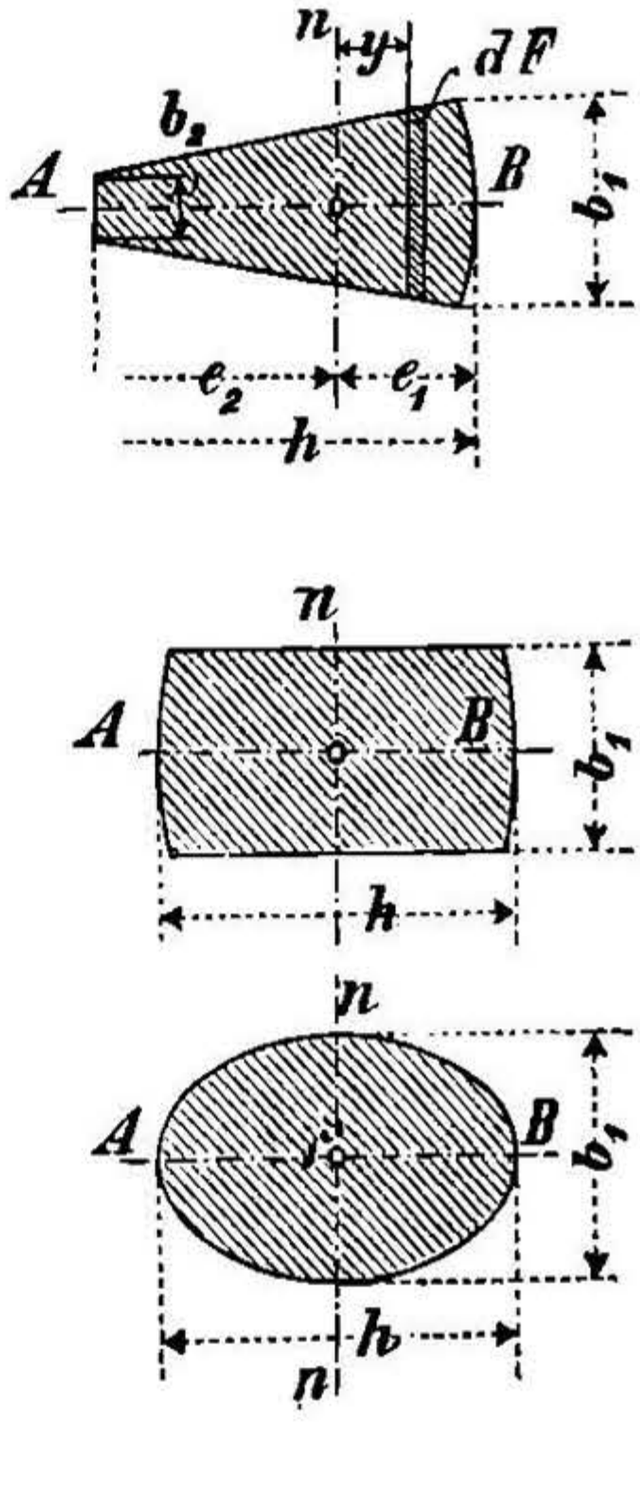
D. Крюки и ушки.

1. Крюки изготовляются обыкновенно, какъ одиночные крюки, по черт. 347, и только для значительной нагрузки, какъ двойные крюки, по черт. 350.

Черт. 347.



Черт. 348.



Если:
P наибольшая нагрузка крюка въ kg и
k_z допускаемое напряженіе матеріала на растяженіе въ kg/qcm,
то въ опасномъ сѣченіи AB (черт. 347, размѣры въ cm), при-

НТБ ДНУЗТ

нимая въ разсчетъ первоначальную кривизну осевой линіи крюка, будемъ имѣть въ общемъ:

$$P = k_z \frac{a}{e_1} \int_{y=e_1}^{y=-e_2} \frac{y \cdot dF}{r+y},$$

гдѣ r радіусъ кривизны средней линіи (линіи центровъ тяжести) крюка у AB, а y разстояніе элемента площади dF отъ горизонтальной оси nn, проходящей черезъ центръ тяжести опаснаго сѣченія AB. Для наиболѣе употребительныхъ сѣченій (прямоугольника, трапеціи и эллипса) приведенное уравненіе для опредѣленія размѣровъ сѣченія h, b_1 и b_2 по данной силѣ P можетъ быть представлено въ видѣ:

$$b_1 = \frac{P}{k_z a} C;$$

если предположить такую форму крюка, при которой $r = a + e_1$.

Для C имѣемъ при **прямоугольномъ** сѣченіи:

$$\frac{1}{C} = -2 + \left[1 + \frac{2a}{h}\right]\left[\ln\left(\frac{h}{a} + 1\right)\right];$$

для **трапеціи:**

$$\frac{1}{C} = -\frac{(1+\beta)^2}{(2+\beta)\beta}\frac{3}{2} + \left[1 + \frac{3(1+\beta)}{2+\beta}\frac{a}{h}\right] \cdot \left[\left\{\frac{1}{\beta} + \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)\left(1 + \frac{a}{h}\right)\right\}\ln\left(\frac{h}{a} + 1\right) - \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)\right];$$

для **эллиптическаго сѣченія:**

$$\frac{1}{C} = \pi\left[\left(1 + \frac{2a}{h}\right)\left\{\frac{2a}{h} + 1 - \sqrt{\left(\frac{2a}{h} + 1\right)^2 - 1}\right\} - \frac{1}{2}\right].$$

Предварительно принимаютъ радіусъ отверстія крюка:
для канатныхъ крюковъ $a = 0{,}75\,d$ до d для канатовъ діаметромъ d,
для цѣпныхъ крюковъ $a = d$ до $1{,}5\,d$ для цѣпей, имѣющихъ діаметръ цѣпного желѣза d.

Затѣмъ выбираютъ отношеніе $h : a$ (около 2 до 3),

при трапецоидальномъ сѣченіи, кромѣ того, $\frac{b_1}{b_2} = \beta$, цѣлесообразно $\beta = \frac{h}{a} + 1$.

Опредѣляемъ вспомогательную величину C по приведеннымъ формуламъ или беремъ таковую по нижеслѣдующимъ таблицамъ и находимъ затѣмъ наибольшую ширину

$$b_1 = \frac{P}{k_z a} C.$$

Для крюковъ изъ отличнаго тягучаго сварочнаго желѣза
$k_z \leqq 1000$ kg/qcm.
Для наружняго діаметра винта d въ cm (черт. 347) имѣемъ:
$P = 300\,d^2$ до $240\,d^2$ (см. стр. 435).

НТБ ДНУЗТ

Значенія вспомогательной величины C для опаснаго сѣченія крюка.

1. **Прямоугольникъ.**

$h:a=$	1	1,5	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	3	3,5	4
$C=$	12,59	7,25	5,76	5,39	5,07	4,79	4,53	4,31	4,10	3,92	3,22	2,75	2,41

2. **Трапеція.** (При $\beta = \frac{b_1}{b_2} = \frac{h}{a} + 1$).

$h:a=$	1	1,5	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,75	3	3,5	4
$C=$	15,0	8,96	7,25	6,85	6,42	6,05	5,77	5,48	5,25	5,06	4,55	4,18	3,59	3,28

3. **Элипсъ.**

$h:a=$	1	1,5	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,75	3
$C=$	21,51	12,58	10,07	9,41	8,89	8,47	7,96	7,58	7,23	6,92	6,24	5,73

При конструкціи съ шайбой (черт. 347) рекомендутся принимать $d_1 = d + 0{,}4$ cm.

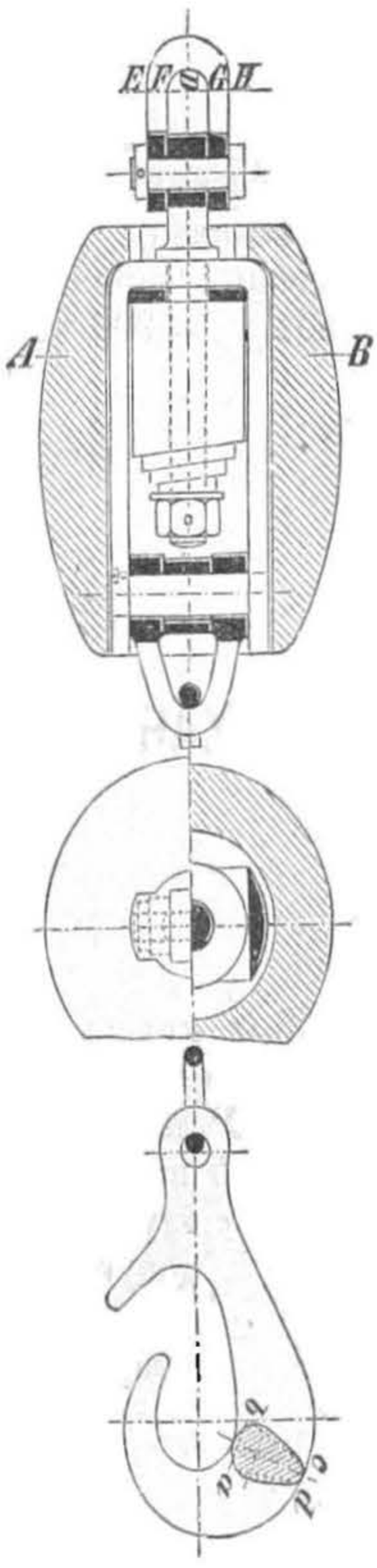
Стержень крюка долженъ имѣть возможность перемѣщаться въ подвѣсной его части съ достаточнымъ зазоромъ. Если крюкъ подвѣшенъ къ подвижному блоку сильно нагруженнаго полиспаста, то для избѣжанія изгибающихъ усилій необходимо подгаечной шайбѣ придавать сферическую форму при сохраненіи достаточнаго зазора для винта въ поперечинѣ крюка.

Примѣръ полнаго устройства крюка показанъ на черт. 349. Грузъ, тянущій книзу ненагруженный крюкъ, имѣетъ внутри пружину, воспринимающую удары. Въ верхнее ушко проходитъ проволочный канатъ; при помощи куска цѣпи длиною въ 1 m между скобой пружины и крюкомъ можно весьма легко захватить грузъ.

Поперечина и ея цапфы на черт. 347 разсчитываются на изгибъ, послѣднія съ принятіемъ въ разсчетъ допускаемаго давленія на единицу поверхности

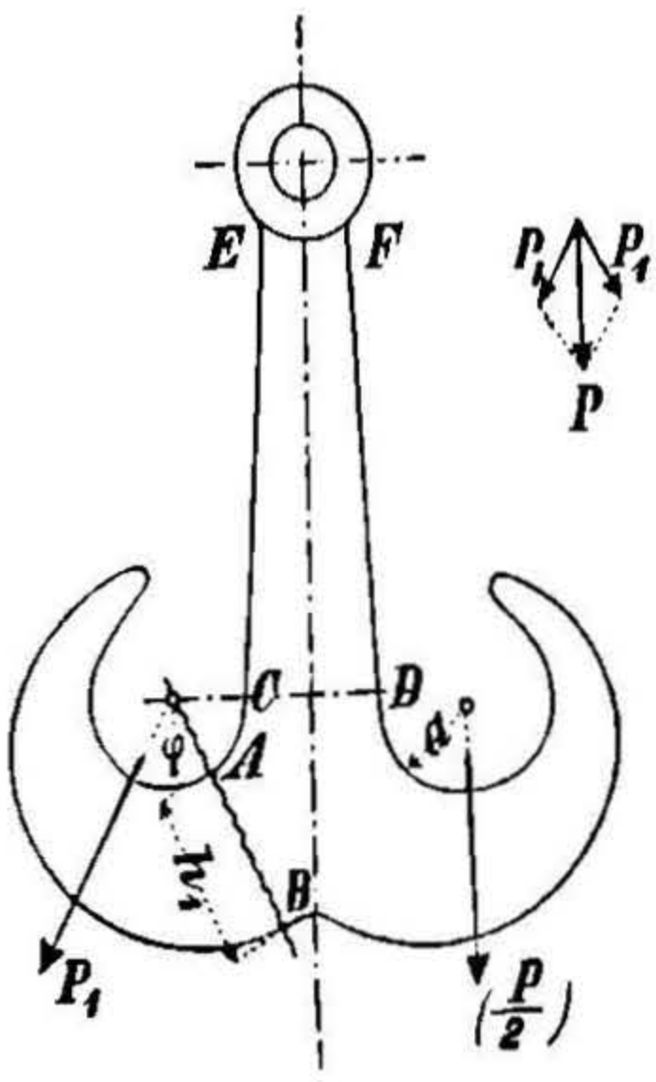
$k \leqq 100$ kg/qcm.

Черт. 349.



Двойные крюки (черт. 350) разсчитываются по приведенной формулѣ для простого крюка, если за опасное сѣченіе принимать AB, а вмѣсто P принимать силу $P_1 \sin\varphi$, дѣйствующую нормально къ этому опасному сѣченію:

Черт. 350.



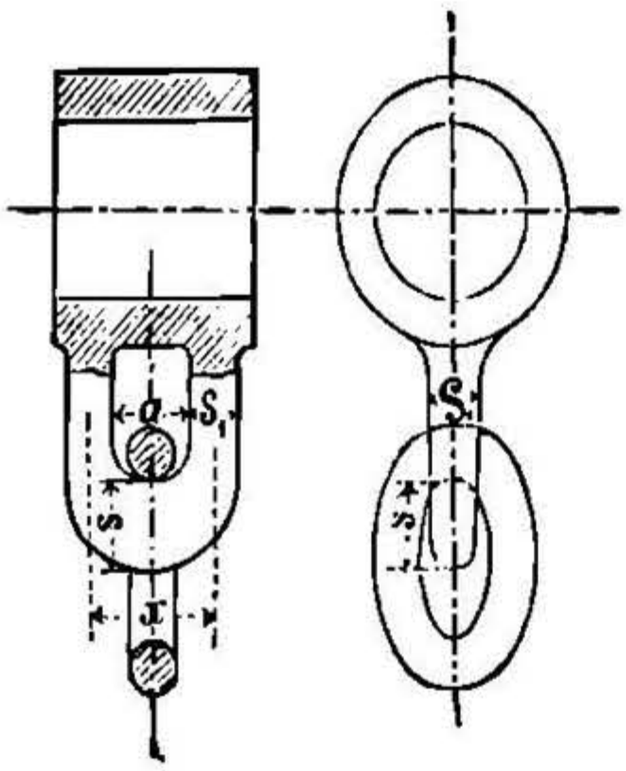
$$b_1 = \frac{P_1 \sin\varphi}{k_z a} C.$$

НТБ ДНУЗТ

Сила P_1 имѣетъ въ большинствѣ случаевъ направленіе, наклонное къ средней линіи крюка, почему и должна быть опредѣляема разложеніемъ P на составляющія по предполагаемымъ направленіямъ.

Если возможенъ случай односторонней нагрузки крюка грузомъ $^1/_2 P$, то подобнымъ же образомъ необходимо произвести подсчетъ сѣченія CD:

Черт. 351.



$$b_1 = \frac{^1/_2 P}{k_z a} C.$$

2. Ушки, по черт. 351, служатъ для укрѣпленія свободнаго конца каната или цѣпи у полиспастовъ.

Ширина a опредѣляется по діаметру каната или толщинѣ цѣпного желѣза d. Если P наибольшій грузъ, то по случ. 5, стр. 376, для эллиптической формы опаснаго сѣченія высотой s и шириною s_1 (размѣры въ cm):

$$^1/_8 Px = Wk_b \sim 0{,}1\, s_1 s^2 k_b,$$

гдѣ x размѣръ, указанный на черт. 351. Отсюда опредѣляется s, если величину s_1 принять произвольно (напр. $s_1 = d$), а для обыкновеннаго сварочнаго желѣза принимать допускаемое напряженіе на изгибъ $k_b = 900$ kg/qcm.

IV. МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ОСТАНОВА И ТОРМАЖЕНІЯ.

A. Остановы.

a. Зубчатые остановы.

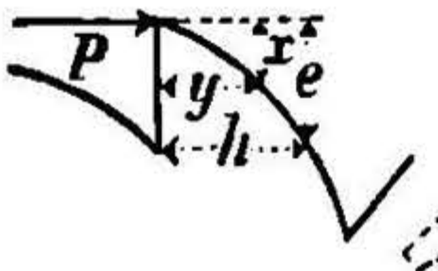
Зубцы храповыхъ колесъ разсчитываются на изгибъ (а не на срѣзываніе).

Если P давленіе на окружности въ kg,
b ширина храпового колеса въ cm,
c глубина зубца,
k_b допускаемое напряженіе на изгибъ въ kg/qcm (въ зависимости отъ того подвергается-ли храповикъ ударамъ или нѣтъ, $k_b \leqq 300$), то (черт. 352):

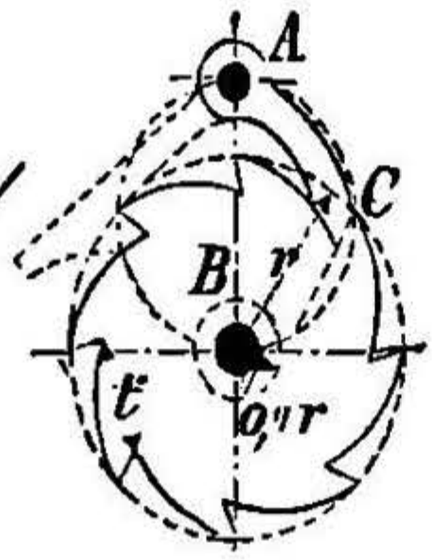
$$Px = Wk_b = k_b \frac{b y^2}{6}.$$

НТБ ДНУЗТ

Черт. 352.



Черт. 353.



При этомъ разсчетъ дѣлается для того сѣченія, для котораго отношеніе $x : y^2$ имѣетъ наибольшее значеніе.

Для обыкновенной формы зубцовъ имѣемъ въ среднемъ для e или для b уравненіе:

$$P = b\,e\,\frac{k_b}{4}.$$

Большею частью храповымъ колесамъ придаютъ 8 до 12 зубцовъ, рѣдко менѣе, и только въ исключительныхъ случаяхъ число зубцовъ достигаетъ 20 или болѣе.

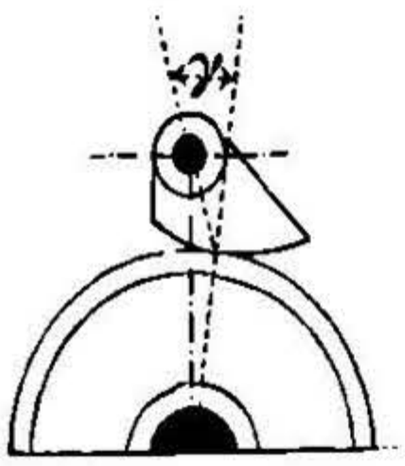
Для легкаго зацѣпленія необходимо, чтобы плоскость соприкасанія собачки съ зубцомъ храпового колеса составляла съ касательною къ окружности, проходящей черезъ вершину зубца C (перпендикулярно радіусу $r = B\,C$), уголъ $> 90^0 +$ уголъ тренія.

Для достиженія этого точку C колеса (черт. 353) опредѣляютъ какъ пересѣченіе окружности колеса съ окружностью, описанною на AB, какъ на діаметрѣ (B — центръ колеса). Плоскость соприкасанія собачки съ зубцомъ колеса должна имѣть направленіе касательной къ кругу, описанному изъ B радіусомъ $0{,}3\,r$ до $0{,}4\,r$.

b. Зажимающая собачка.

Преимущество ея передъ храповикомъ заключается въ отсутствіи шума при работѣ (черт. 354).

Черт. 354.



Условіе остановки при нажатіи собачки:

$\operatorname{tg}\gamma < \mu$ (μ коэффиціентъ тренія, см. стр. 216 и 468).

При $\mu = 0{,}1$ до $0{,}15$ имѣемъ γ въ крайнемъ случаѣ 5 до 8^0.

Если на ободѣ колеса выточенъ желобъ клинообразнаго сѣченія, въ которомъ работаетъ собачка соотвѣтствующей профили, то условіе остановки будетъ (если α половина угла при вершинѣ клина):

$$\operatorname{tg}\gamma < \frac{\mu}{\sin\alpha + \mu\cos\alpha},$$

напр., для $\alpha = 15^0$, $\mu = 0{,}1$ до $0{,}15$: $\gamma \sim 15^0$ до 20^0.

B. Тормаза.

Тормазныя колеса устанавливаются всегда на ведущемъ валу, а въ случаѣ, если валъ этотъ подвиженъ, то на ближайшемъ передаточномъ валу. Въ большинствѣ случаевъ, для обыкновенныхъ лебедокъ достаточенъ діаметръ тормазного диска въ 300 до 400 mm.

НТБ ДНУЗТ

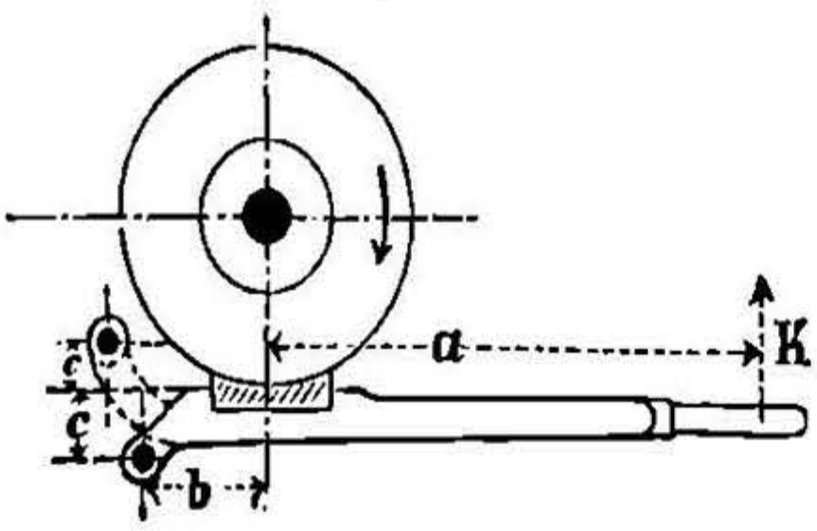
Пусть:
K давленіе на рукоятку тормазного колеса,
P тормазящая сила на окружности тормазного колеса,
μ коэффиціентъ скользящаго тренія (см. стр. 216 и 468).

a. Тормаза съ колодками (черт. 355).

$$K = P \frac{b}{a+b} \left(\frac{1}{\mu} \pm \frac{c}{b} \right).$$

Знакъ — относится къ направленію вращенія, указанному стрѣлкой, а + къ направленію противоположному; размѣры въ cm.

Черт. 355.



При $b : c = \mu$ имѣемъ $K = 0$, т. е. тормазъ самодѣйствующій (обыкновенно $b : c$ принимается нѣсколько $> \mu$).

Для показаннаго пунктиромъ устройства тормазного рычага имѣемъ $c = -c$, и, слѣдов.:

$$K = P \frac{b}{a+b} \left(\frac{1}{\mu} \mp \frac{c}{b} \right).$$

При употребленіи желоба клинообразнаго сѣченія слѣдуетъ подставлять вмѣсто μ величину:

$$\frac{\mu}{\sin\alpha + \mu\cos\alpha},$$

(α половина угла при вершинѣ клина, см. стр. 468).

b. Коническіе тормаза.

Какъ самостоятельные тормаза употребляются очень рѣдко.

$$K = P \frac{b}{a} \frac{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}{\mu},$$

гдѣ (въ cm) a плечо дѣйствія силы K, b разстояніе оси конуса отъ оси вращенія рычага и α половина угла при вершинѣ конуса.

c. Ленточные тормаза.

Пусть, кромѣ обозначеній, принятыхъ выше будутъ:
e основаніе натуральныхъ логариѳмовъ (см. стр. 40 и 234),
α уголъ, на которомъ тормазная полоса прилегаетъ къ колесу,
s толщина и b ширина полосы въ cm,
k_z допускаемое напряженіе полосы на растяженіе въ kg/qcm.

Для поворота налѣво (1 на черт. 356) имѣемъ:

натяженіе ленты слѣва $S_1 = P \frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1}$, справа $S_2 = P \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1}$;

НТБ ДНУЗТ

для поворота ленты направо (2 на черт. 356) имѣемъ:

натяженіе ленты слѣва $S_1 = P\frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha}-1}$, справа $S_2 = P\frac{1}{e^{\mu\alpha}-1}$.

Сѣченіе тормазной ленты получается по наибольшему ея натяженію:

$$b\,s = \frac{P}{k_z}\,\frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha}-1}.$$

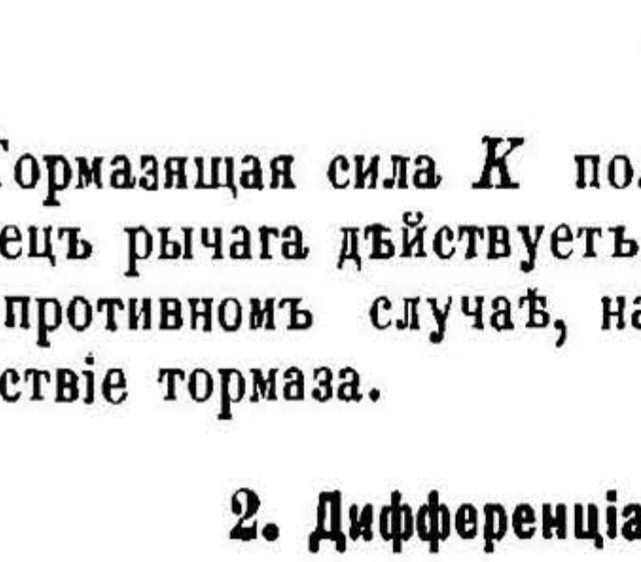
Въ виду износа ленты необходимо нѣсколько увеличить ея толщину s; однако, выбираютъ s не болѣе 0,3 и cm $b \gtrless 8$ cm.

$e^{\mu\alpha}$ для $\mu = 0{,}18$ и для различныхъ значеній $\alpha : 2\pi$ см. табл. стр. 235, послѣдній столбецъ.

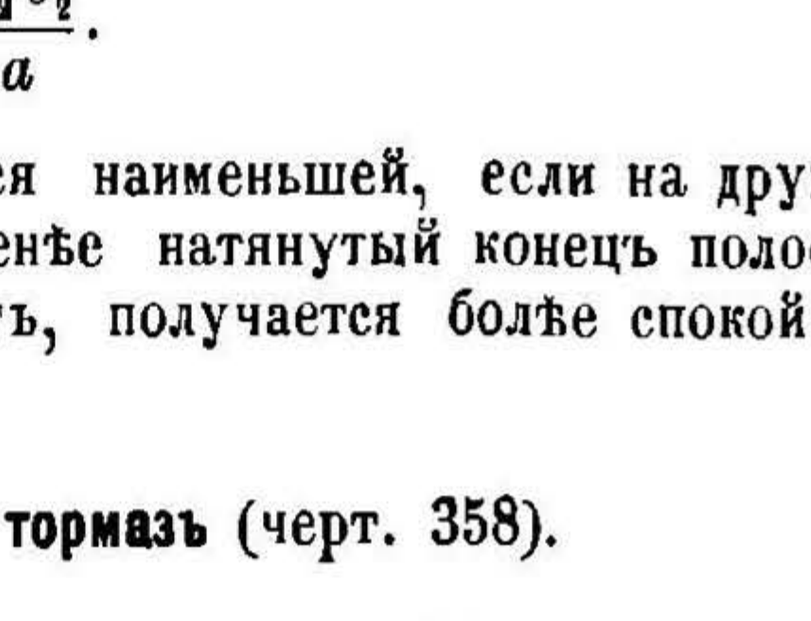
Часто выбираютъ $\alpha : 2\pi = 0{,}7$; для этого значенія и при $\mu = 0{,}18$ имѣемъ:

$$e^{\mu\alpha} = 2{,}21;\quad \frac{1}{e^{\mu\alpha}-1} = 0{,}83 \quad \text{и} \quad \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha}-1} = 1{,}83.$$

Черт. 356.



Черт. 357.



1. Простой ленточный тормазъ.

Для черт. 356:

$$K = \frac{S_1 b_1}{a};$$

для черт. 357:

$$K = \frac{S_2 b_2}{a}.$$

Тормазящая сила K получается наименьшей, если на другой конецъ рычага дѣйствуетъ наименѣе натянутый конецъ полосы; въ противномъ случаѣ, наоборотъ, получается болѣе спокойное дѣйствіе тормаза.

2. Дифференціальный тормазъ (черт. 358).

$$K = \frac{S_1 b_1 - S_2 b_2}{a} = \frac{P}{a}\,\frac{b_1 - b_2 e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha}-1}.$$

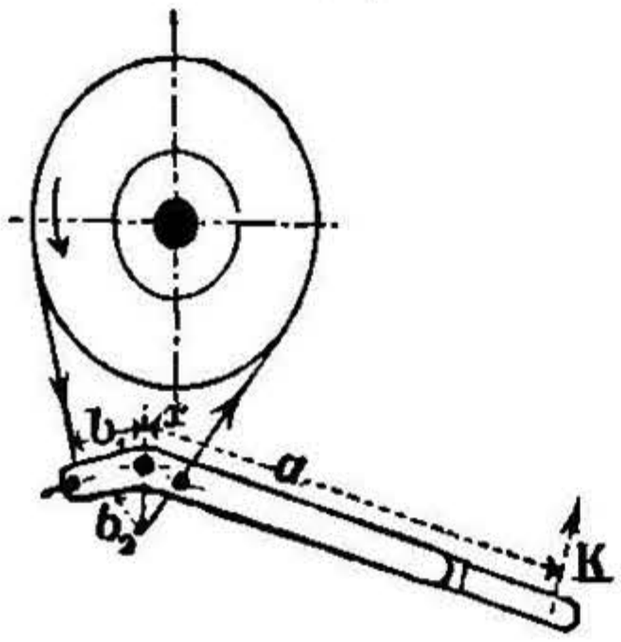
НТБ ДНУЗТ

Можно достичь произвольно малой величины K, но дѣйствіе тормаза тогда очень неравномѣрно.

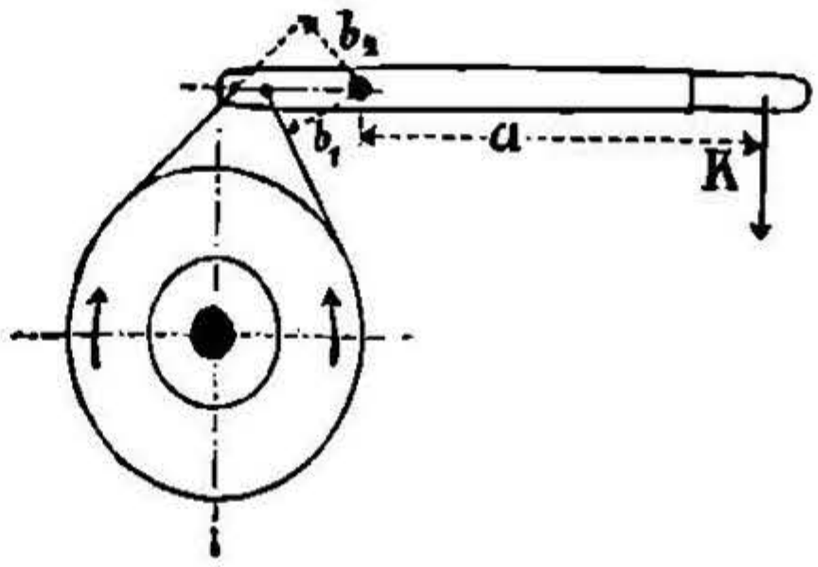
Для $b_1 \leqq b_2 e^{\mu\alpha}$ имѣемъ $K = 0$ или отрицательное, т. е. тормазъ самодѣйствующій; однако, надо выбирать всегда b_1 нѣсколько больше $b_2 e^{\mu\alpha}$.

При $\alpha : 2\pi = 0{,}7$ имѣемъ подходящія значенія для $b_1 = 2{,}5\ b_2$ до $3\ b_2$ (табл. для $e^{\mu\alpha}$ см. стр. 235).

Черт. 358.



Черт. 359.



3. Ленточный тормазъ для колесъ съ перемѣннымъ направленіемъ вращенія (черт. 359).

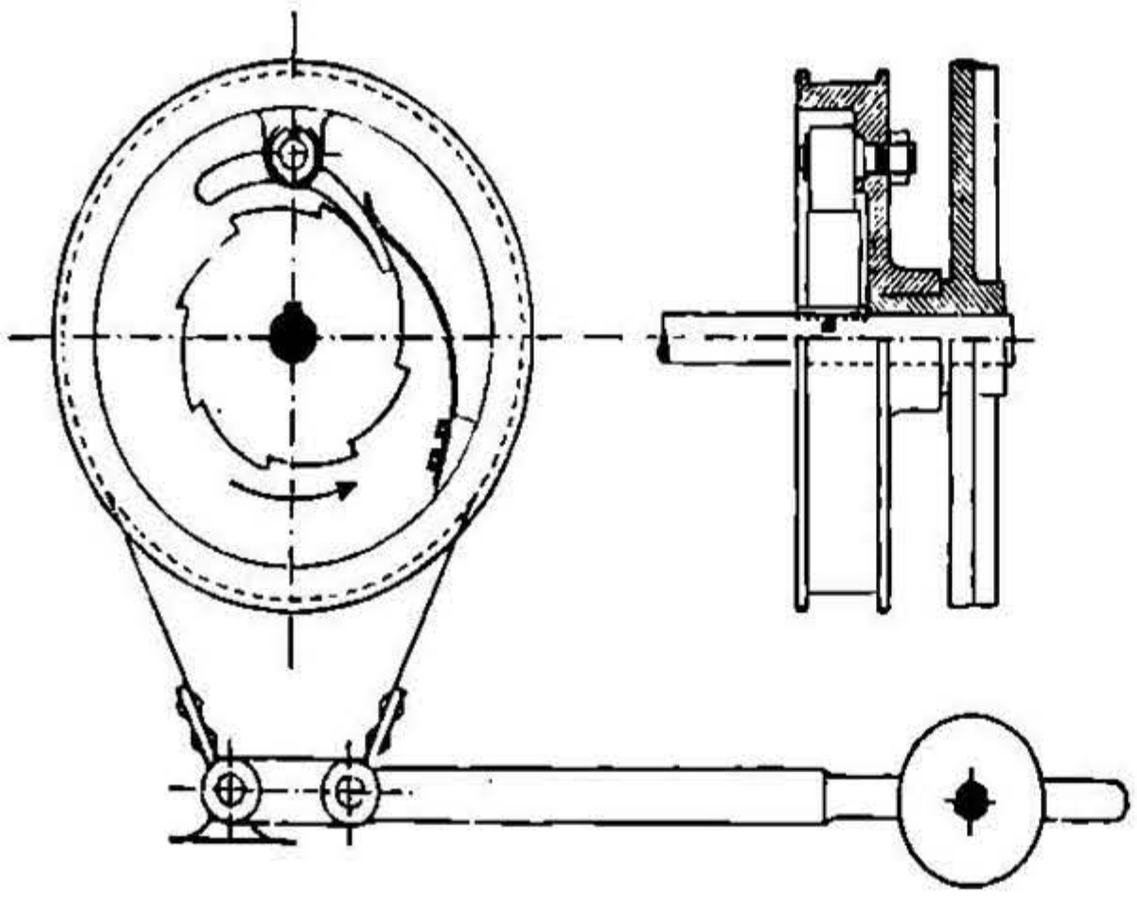
При $b_1 = b_2$ имѣемъ:

$$K = \frac{P\,b_1}{a}\,\frac{e^{\mu\alpha}+1}{e^{\mu\alpha}-1}.$$

K въ сравненіи съ P очень велико, почему для этого случая тормазная лента представляетъ мало выгодъ сравнительно съ тормазной колодкой; послѣдней, въ виду большей ея простоты, отдается предпочтеніе.

d. Тормаза съ храповиками и безопасныя рукоятки.

Черт. 360.



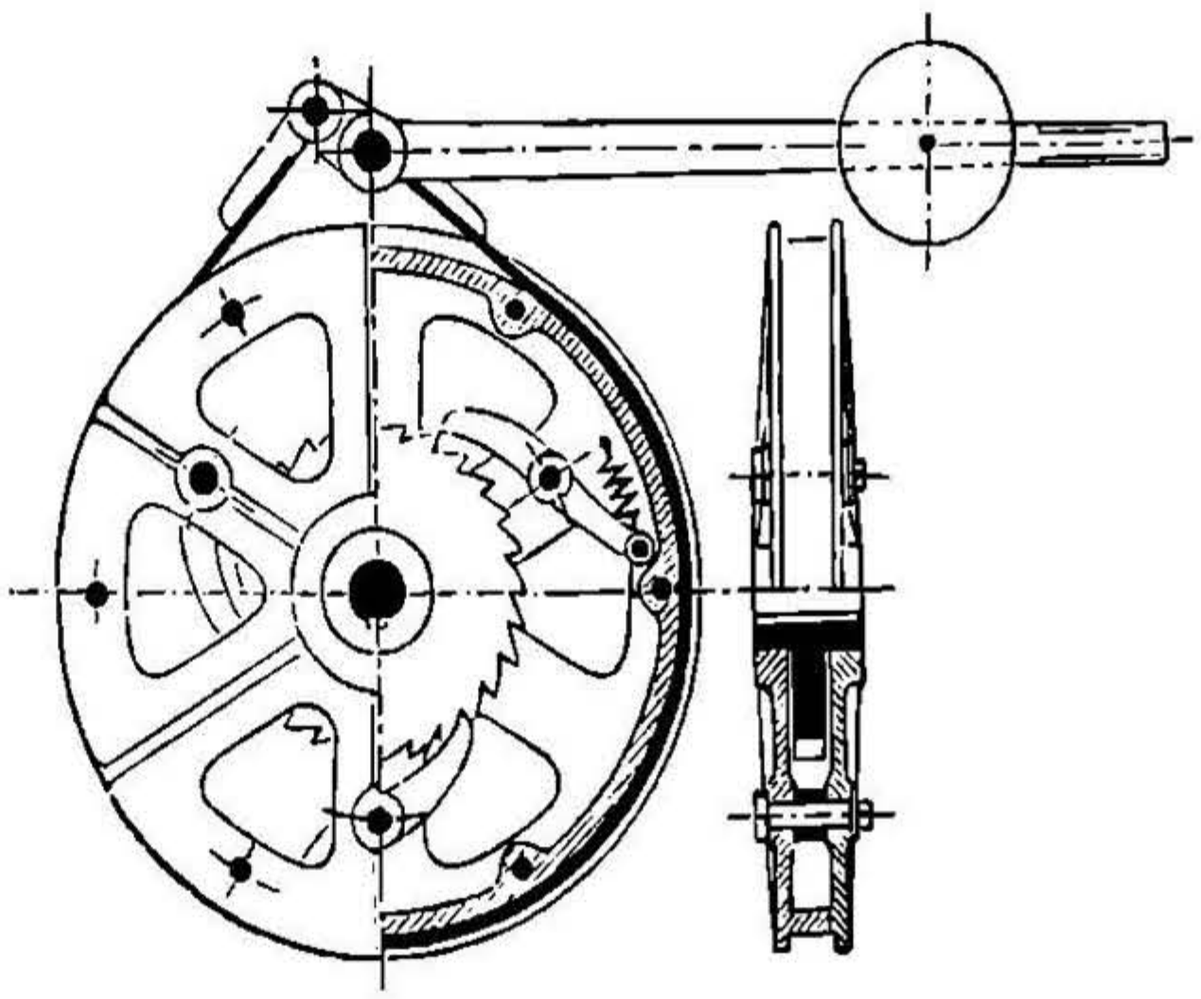
1. Въ новѣйшихъ подъемныхъ лебедкахъ (воротахъ) соединяютъ тормазъ и механизмъ для останова въ одну систему, при которой для опусканія груза тормазъ долженъ быть нѣсколько ослабленъ.

Черт. 360 представляетъ конструкцію тормаза съ храповикомъ Беккера (Берлинъ); черт. 361—конструкцію Дуисбургскаго машиностр. завода, черт. 362—конструкцію бр. Вейсмюллеръ въ Бокенгеймѣ; въ по-

НТБ ДНУЗТ

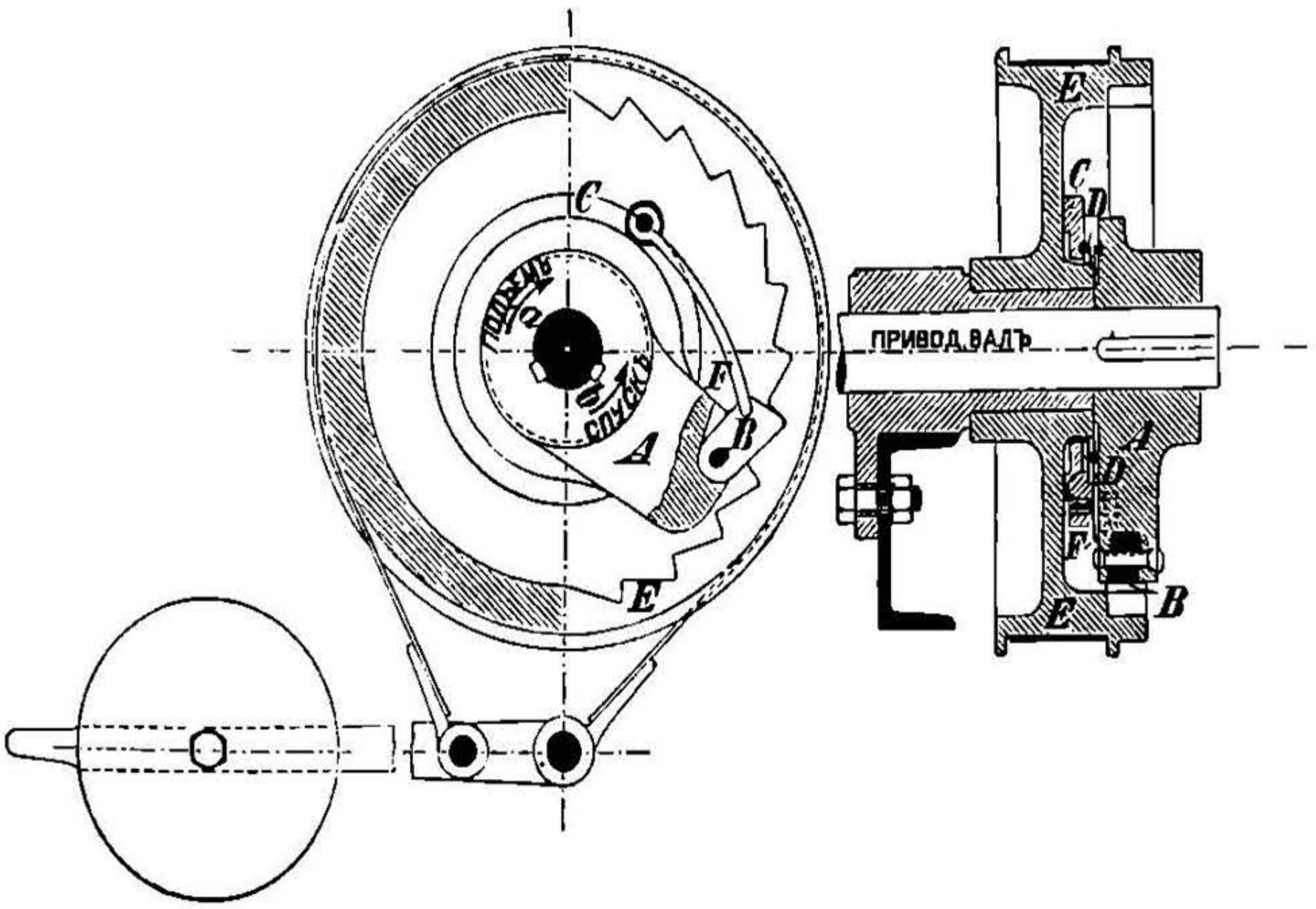
слѣдней собачка при поднятіи груза автоматически отодвигается, и этимъ устраняется шумъ отъ храповика *).

Черт. 361.



2. Если между рукояткой и движущей шестерней помѣстить фрикціонное соединеніе, одна половина котораго (у рукоятки), посредствомъ храповика и собачки, удерживается на мѣстѣ при началѣ вращенія ворота въ обратную сторону, то получимъ такъ называемую **безопасную рукоятку**, неподвижную при опусканіи груза; остановившійся грузъ не опускается до тѣхъ поръ, пока не будетъ уменьшено треніе между половинками фрикціоннаго соединенія, которое служитъ въ данномъ случаѣ тормазомъ. Механизмы эти изготовляются Меги и Беккеромъ въ Берлинѣ *).

Черт. 362.



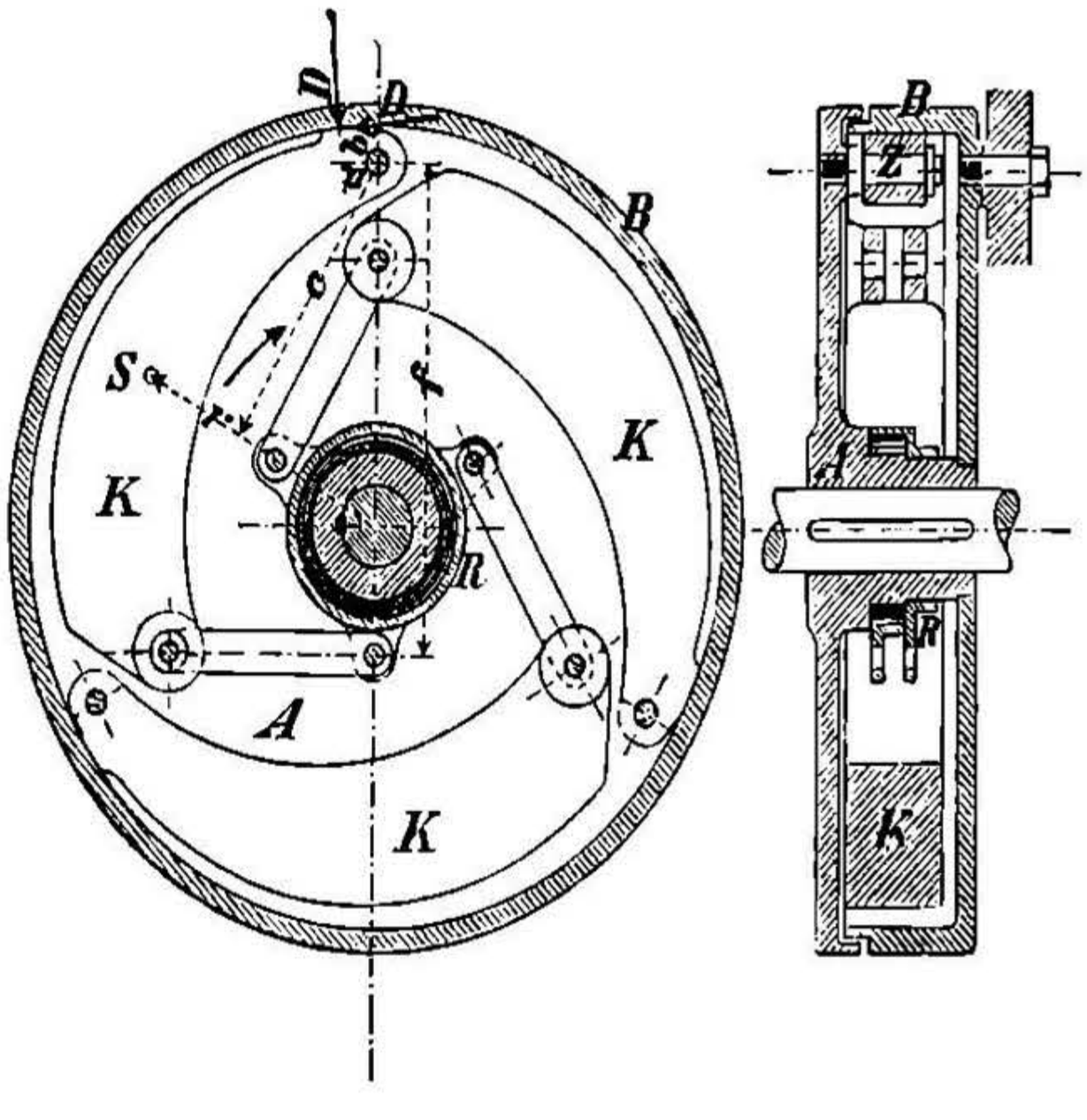
*) Подробно см. Ad. Ernst, Die Hebezeuge, 2 изд., Berlin, 1895.

НТБ ДНУЗТ

c. Автоматическіе тормаза *).

Для увеличенія безопасности устанавливаютъ автоматическіе тормаза, дѣйствіе которыхъ начинается, когда скорость опусканія груза перейдетъ извѣстный предѣлъ; тормазныя колодки центробѣжной силой непосредственно прижимаются къ внутренней поверхности неподвижнаго барабана, тормазъ Бекера (черт. 363), или натягиваютъ тормазную ленту, обхватывающую неподвижный шкивъ, центробѣжный тормазъ Мора (въ Мангеймѣ). Скорость опусканія груза можно регулировать натяженіемъ или ослабленіемъ спиральной пружины.

Черт. 363.



V. ПОРШНИ, СТЕРЖНИ ИХЪ И САЛЬНИКИ.

A. Поршни.

a. Ныряла.

Для **набивки** (уплотненія поверхности) нырялъ нагнетательныхъ насосовъ (черт. 364), гидравлическихъ прессовъ (черт. 365), служатъ кожаные манжеты, примѣняющіеся для всѣхъ (въ особенности высокихъ) давленій, при чистой водѣ и скоростяхъ поршня < 1 m въ сек. При большихъ скоростяхъ треніе и изнашиваніе весьма значительны.

Вмѣсто кожаныхъ манжетъ, при нырялахъ большого діаметра, съ большимъ успѣхомъ примѣняется хорошо пропитанная саломъ хлопчатобумажная набивка, которая сплетается изъ прядей въ канатъ прямоугольнаго сѣченія; при давленіи 4 атм. и больше она даетъ значительно меньшее треніе.

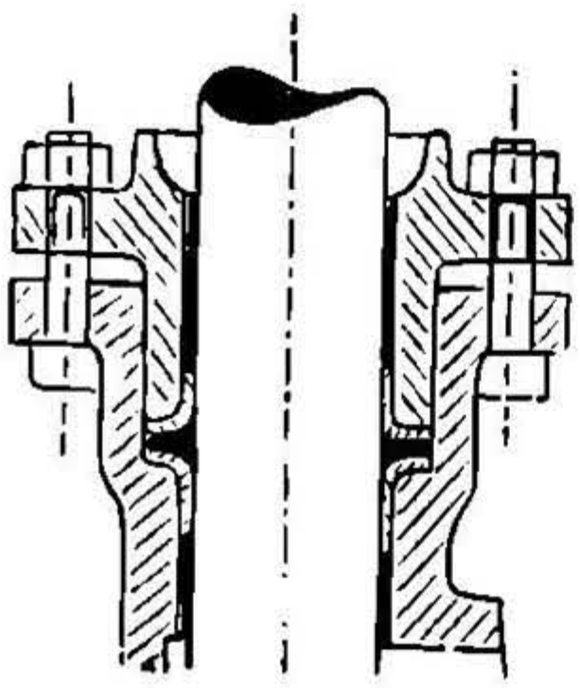
---

*) См. Ad. Ernst, Die Hebezeuge, 2 изд., Berlin 1895.

НТБ ДНУЗТ

Треніе манжетъ.

Черт. 364.



Обозначимъ черезъ:

b высоту трущейся поверхности набивки (манжетъ) въ cm,

p давленіе жидкости въ kg/qcm,

μ коэффиціентъ скользящаго тренія между ныряломъ и кожей,

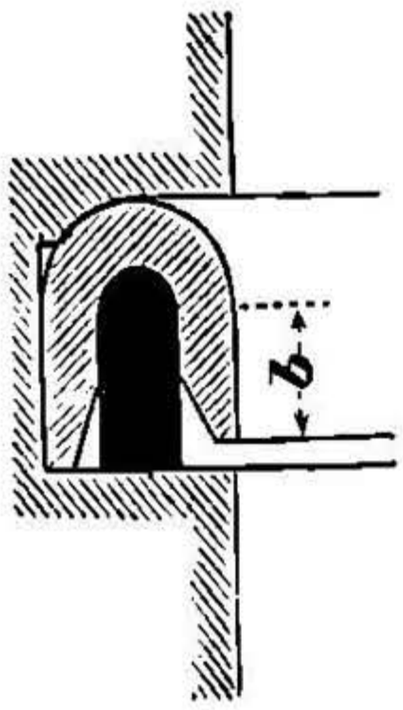
D діаметръ поршня въ cm,

R сопротивленіе движенію поршня (въ kg) отъ тренія, являющееся при давленіи p,

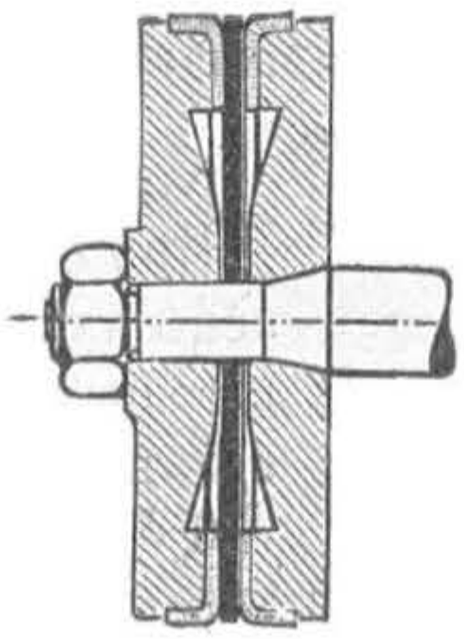
R_0 значеніе R при $p = 0$, т. е. при ходѣ насоса порожнемъ; тогда, по Гольнеру *):

$$R = R_0 + \pi D b p \mu.$$

Черт. 365.



Черт. 366.



Обыкновенно принимаютъ $b = 1{,}2$ до $2{,}0$ cm, толщина кожи $s = 0{,}4$ до $0{,}6$ cm; для небольшихъ же поршней $s \sim 1{,}5$ mm, причемъ $b = 0{,}4$ до $0{,}5$ cm. Для хлопчатобумажной набивки высота набивки

$$b \leqq D + 2{,}0 \text{ cm}.$$

R_0 принимается приблизительно или опредѣляется непосредственно. При гладкой поверхности ныряла и хорошей смазкѣ (для $p = 20$ до 140 атм.) коэффиціентъ тренія $\mu = 0{,}07$ до $0{,}08$.

Значенія величинъ μ и R для различныхъ набивокъ см. стр. 219 и 220.

Толщина стѣнокъ полыхъ нырялъ опредѣляется по **2.**, стр. 422, съ прибавленіемъ 0,2 до 0,5 cm.

b. Дисковые поршни.

1. **Дисковые поршни съ кожаной набивкой** (черт. 366) для чистой воды температурой $< 30^0$ и до 5 атм. давленія.

2. Дисковые поршни (черт. 367) съ **металлическимъ соприкосновеніемъ** для высокихъ температуръ: или **пришлифованные**

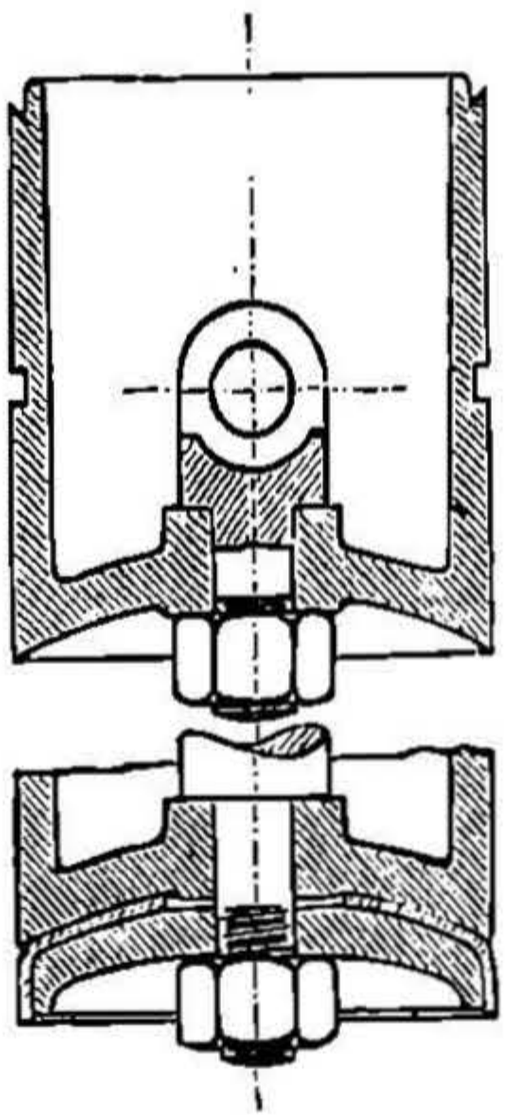
*) См. Бахъ, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1886, стр. 155.

НТБ ДНУЗТ

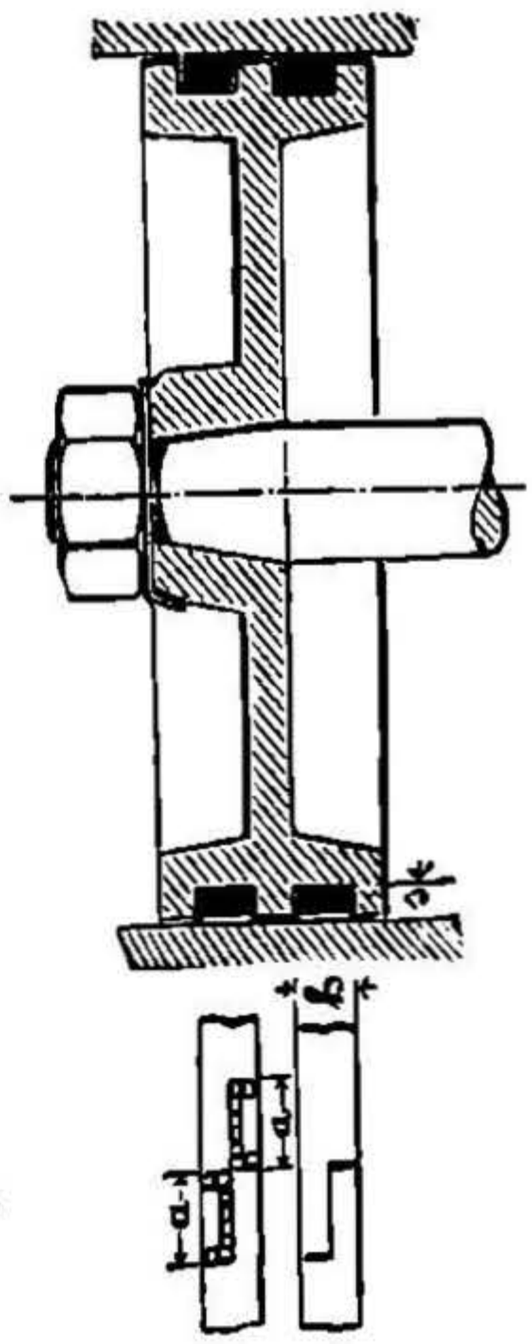
поршни изъ бронзы, двигающіеся въ бронзовыхъ же цилиндрахъ, для насосовъ, въ особенности для пожарныхъ насосовъ, насосовъ холодильниковъ и т. п., или же поршни съ **металлическими кольцами.**

Послѣднія, большею частью, чугунныя, дѣлаются или самопружинящими, большаго діаметра, они прорѣзываются по черт. 368 и части $a \sim 0{,}1\,D$ вырѣзываются, затѣмъ уже кольца обтачиваются по діаметру цилиндра. Прорѣзъ перекрывается или въ него вставляется особая часть.

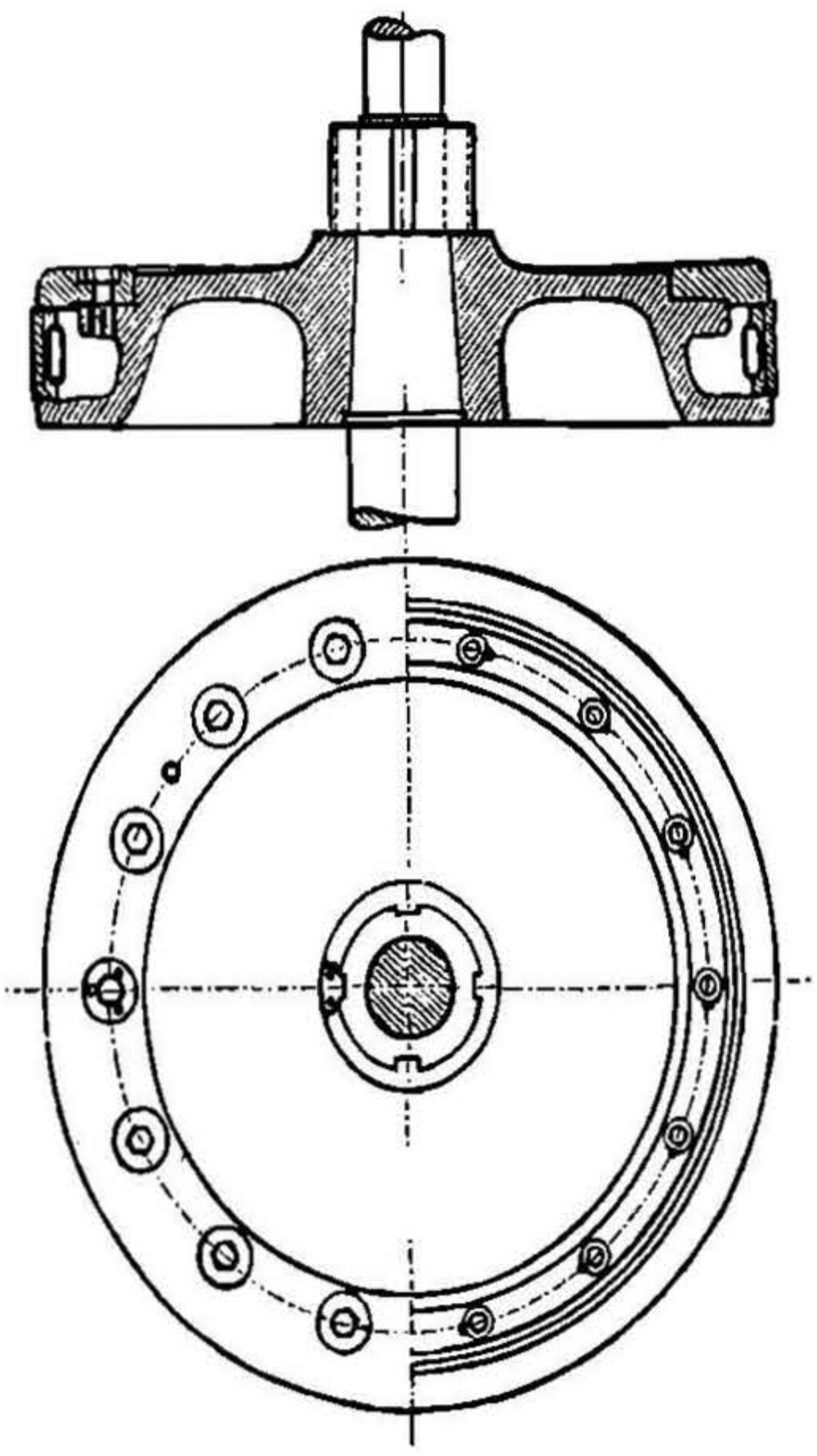
Черт. 367.



Черт. 368



Черт. 369.



При большомъ числѣ колецъ ихъ прорѣзы не должны быть устанавливаемы одинъ противъ другого.

Толщина колецъ, которыя надѣваются на глухіе поршни (черт. 368), безъ крышекъ. $s \leqq {}^1/_{30}\,D$ для колецъ одинаковой толщины, $s \leqq {}^1/_{25}\,D$ для колецъ неодинаковой толщины, уменьшающейся на концахъ до $0{,}7\,s$.

Высота колецъ $h = 2\,s$.

Кольца, которыя вынимаются послѣ удаленія особой крышки (черт. 369, 370 и слѣд.) поршня, имѣютъ толщину:

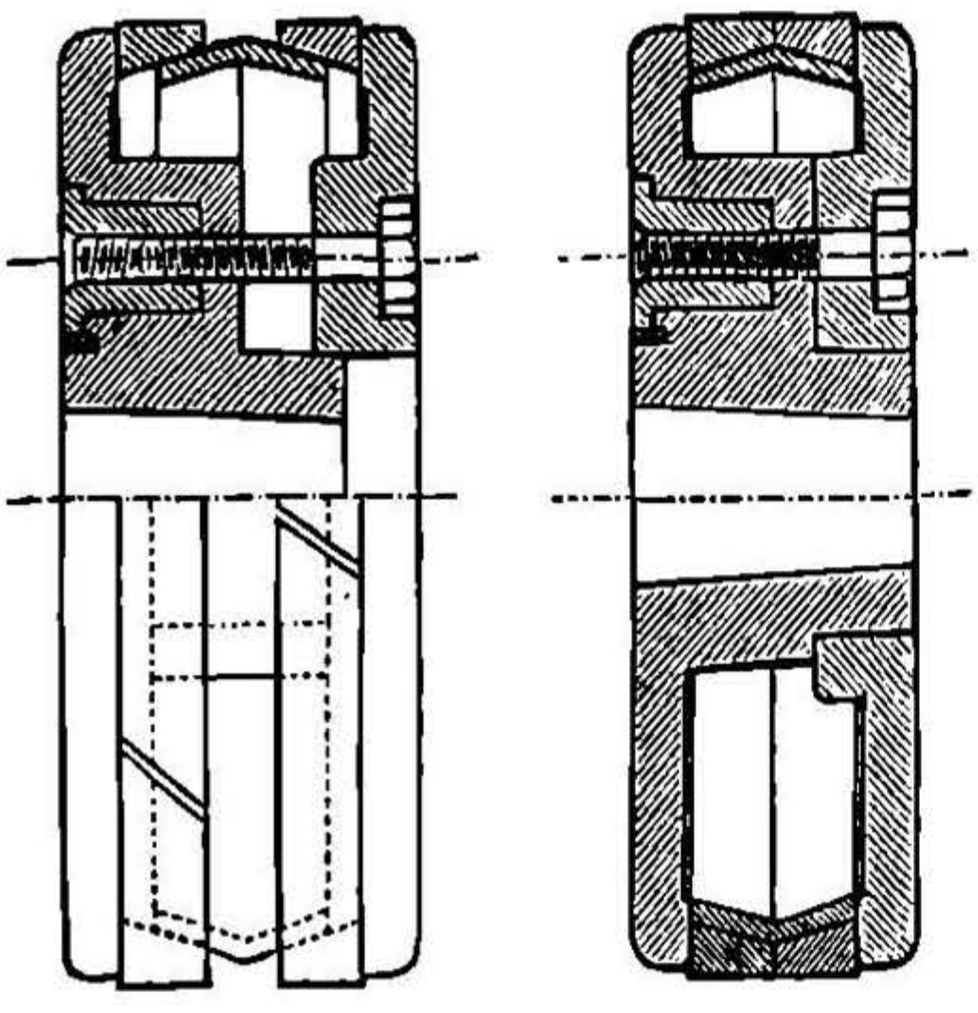
$s = {}^1/_{20}\,D$, уменьш. до $0{,}7\,s$,
$h = s$ до $1{,}5\,s$,
$a = 0{,}075\,D$.

Или натяженіе поршневыхъ колецъ достигается помощью особыхъ положенныхъ пружинящихъ

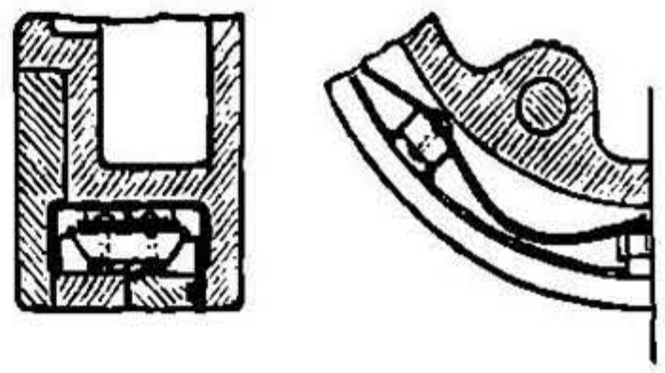
НТБ ДНУЗТ

колецъ, которыя прижимаютъ поршневыя кольца въ осевомъ и радіальномъ направленіяхъ. На черт. 370 натяженіе двойной конической пружины и уплотняющихъ колецъ достигается подтягиваніемъ крышечныхъ болтовъ; на черт. 372 кольца прижимаются въ осевомъ и радіальномъ направленіяхъ клиньями посредствомъ волнообразной пружины; на черт. 371—помощью соотвѣтственной формы винтовой пружины.

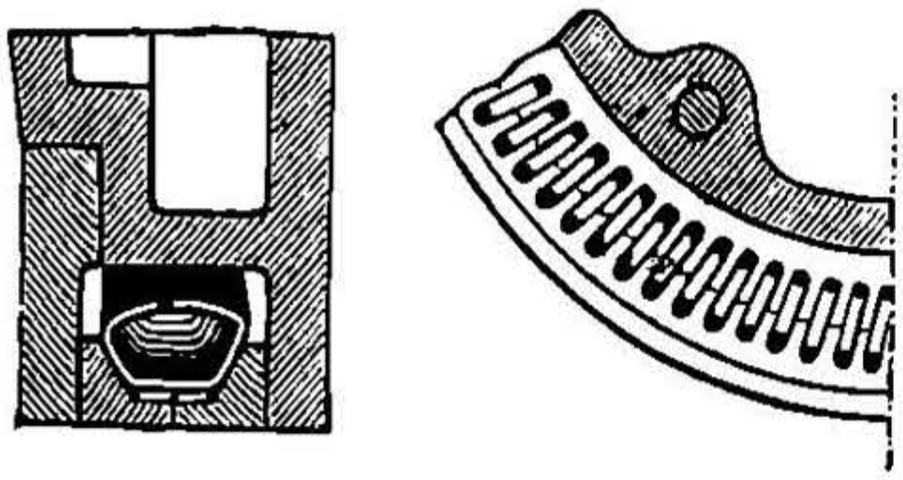
Черт. 370.



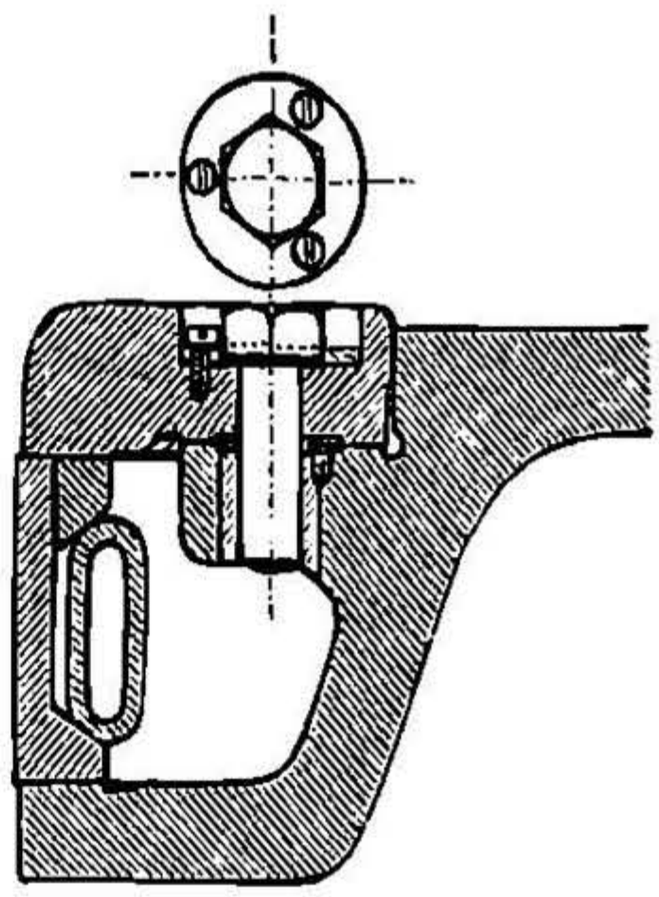
Черт. 372.



Черт. 371.



Черт. 373.

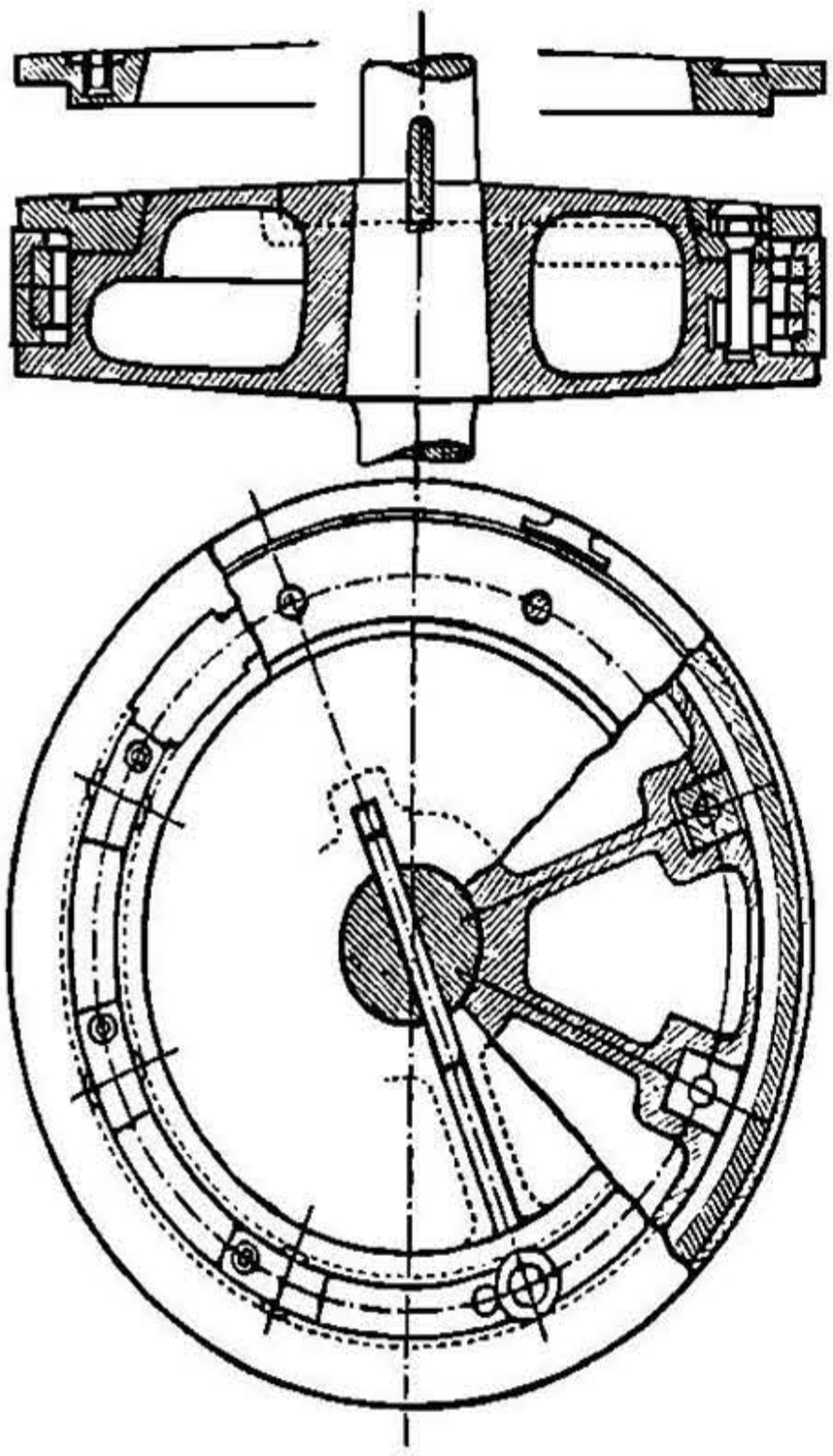


Тѣло поршня открытаго по черт. 368 (шведскій поршень) отковывается изъ желѣза, или литое стальное, по черт. 369, 373, 375 и 376, для вертикальныхъ паровыхъ машинъ, въ особенности для судовыхъ машинъ; на черт. 373 уплотняющія кольца и, лежащее сзади нихъ, нажимное (овальнаго сѣченія) удерживаются кольцевою крышкою, на черт: 375 и 376 самопружинящія кольца помѣщены на отъемномъ (для болѣе легкой замѣны) чугунномъ кольцѣ углового сѣченія. Или же тѣло поршня дѣлается замкнутымъ: 1) изъ одного куска (черт. 374, 377 и 379), съ отверстіями для сердечниковъ въ одной или обѣихъ лобовыхъ плоскостяхъ или на боковой поверхности (черт. 377), или во втулкѣ (ступицѣ); 2) или изъ двухъ частей (черт. 370, 378 и 380), причемъ, чтобы вынуть кольца, достаточно отнять крышку; гайки бронзовыя во избѣжаніе ржавленія (отжимные болты для удобства съемки крышки рекомендуются). Часто пользуются винто-

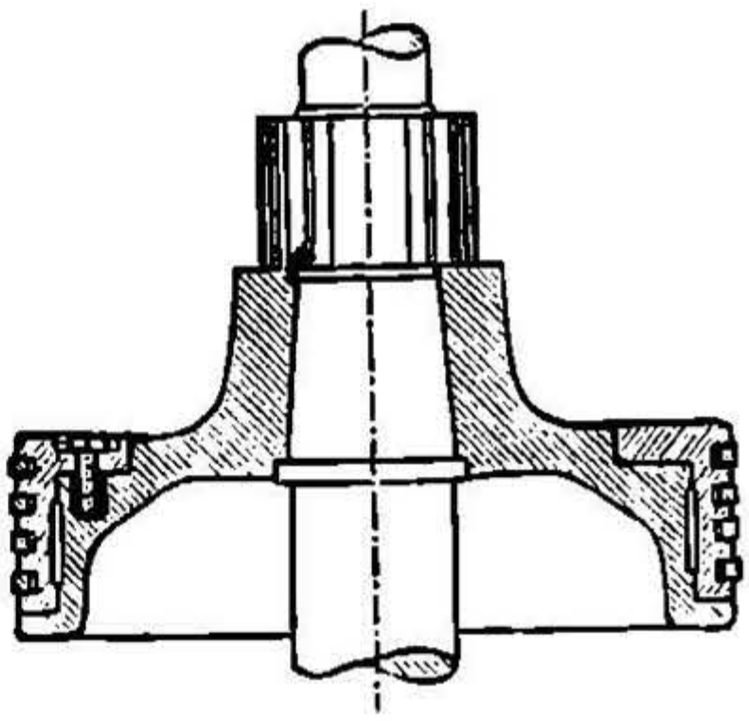
НТБ ДНУЗТ

вой нарѣзкой поршневого стержня для соединенія обѣихъ половинокъ поршня (черт. 380). Слѣдуетъ предупреждать возможность

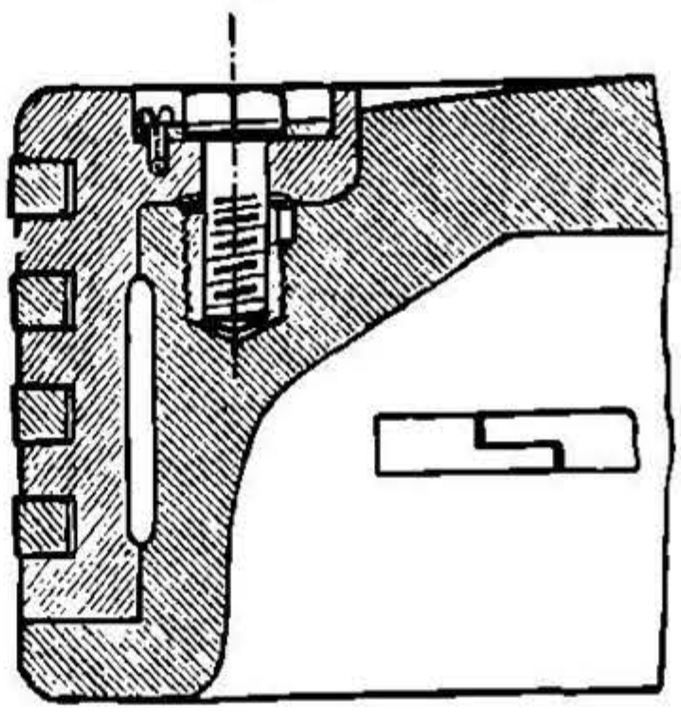
Черт. 374.



Черт. 375.

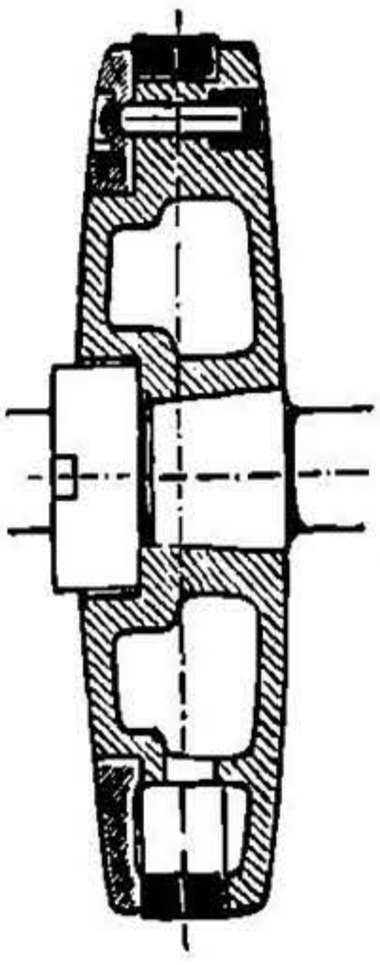


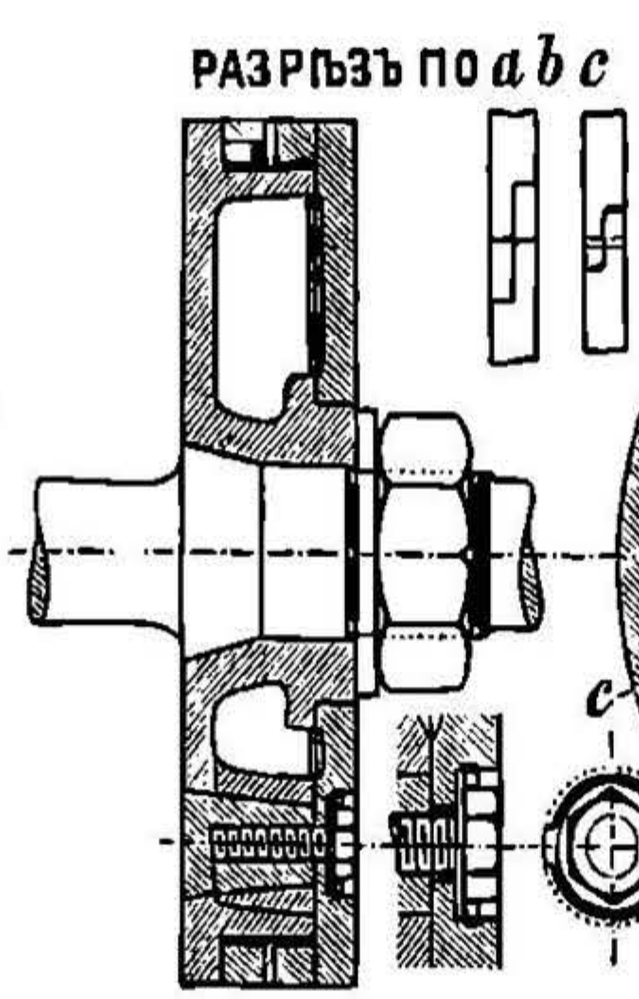
Черт. 376.



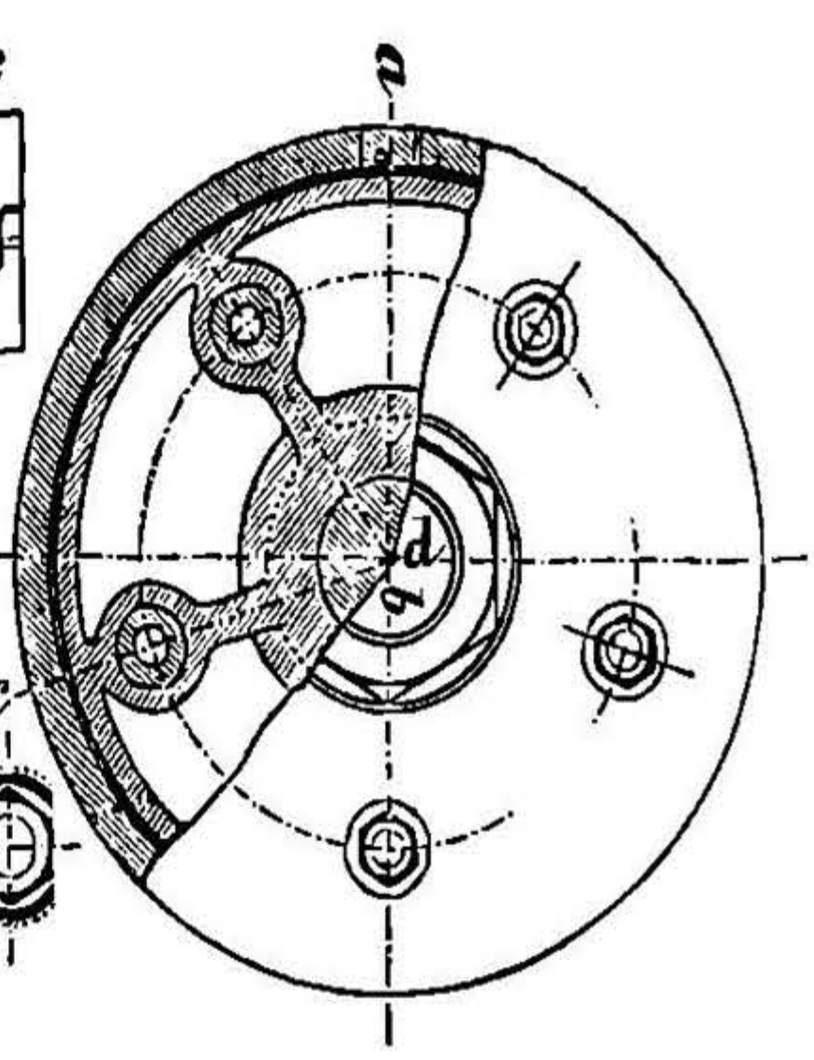
выпаденія или ослабленія всѣхъ болтовъ (черт. 373, 374, 376 и 378). Прочность большихъ поршневыхъ дисковъ должна быть провѣрена *).

Черт. 377.





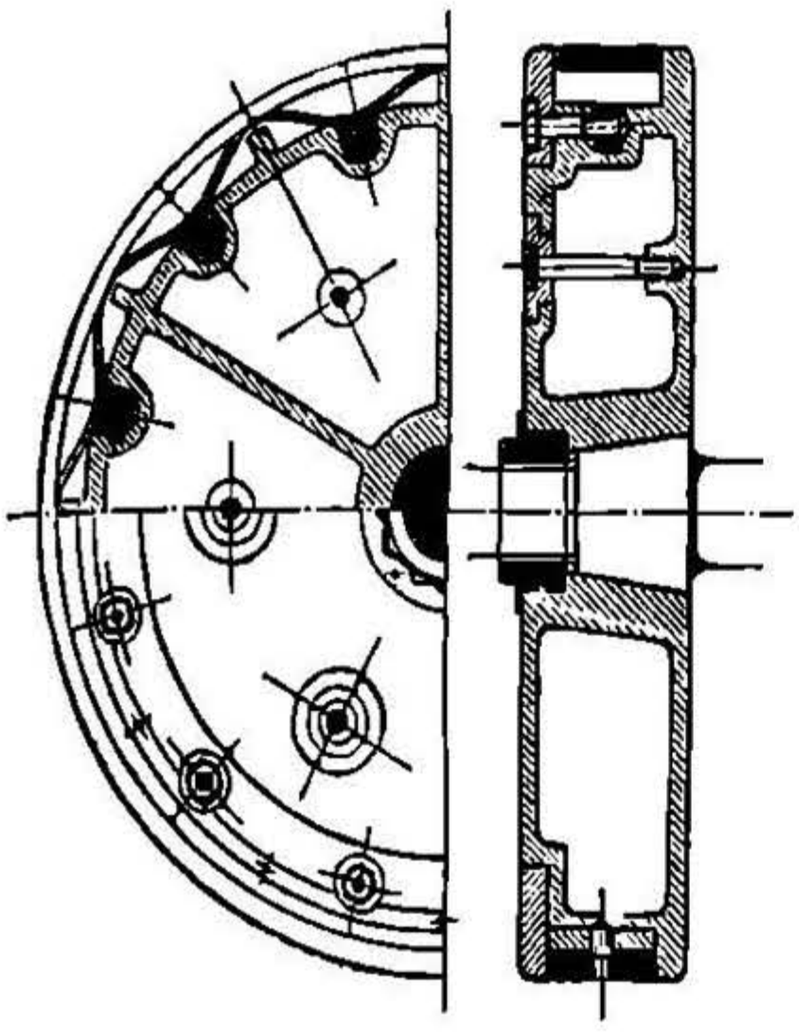
Черт. 378.



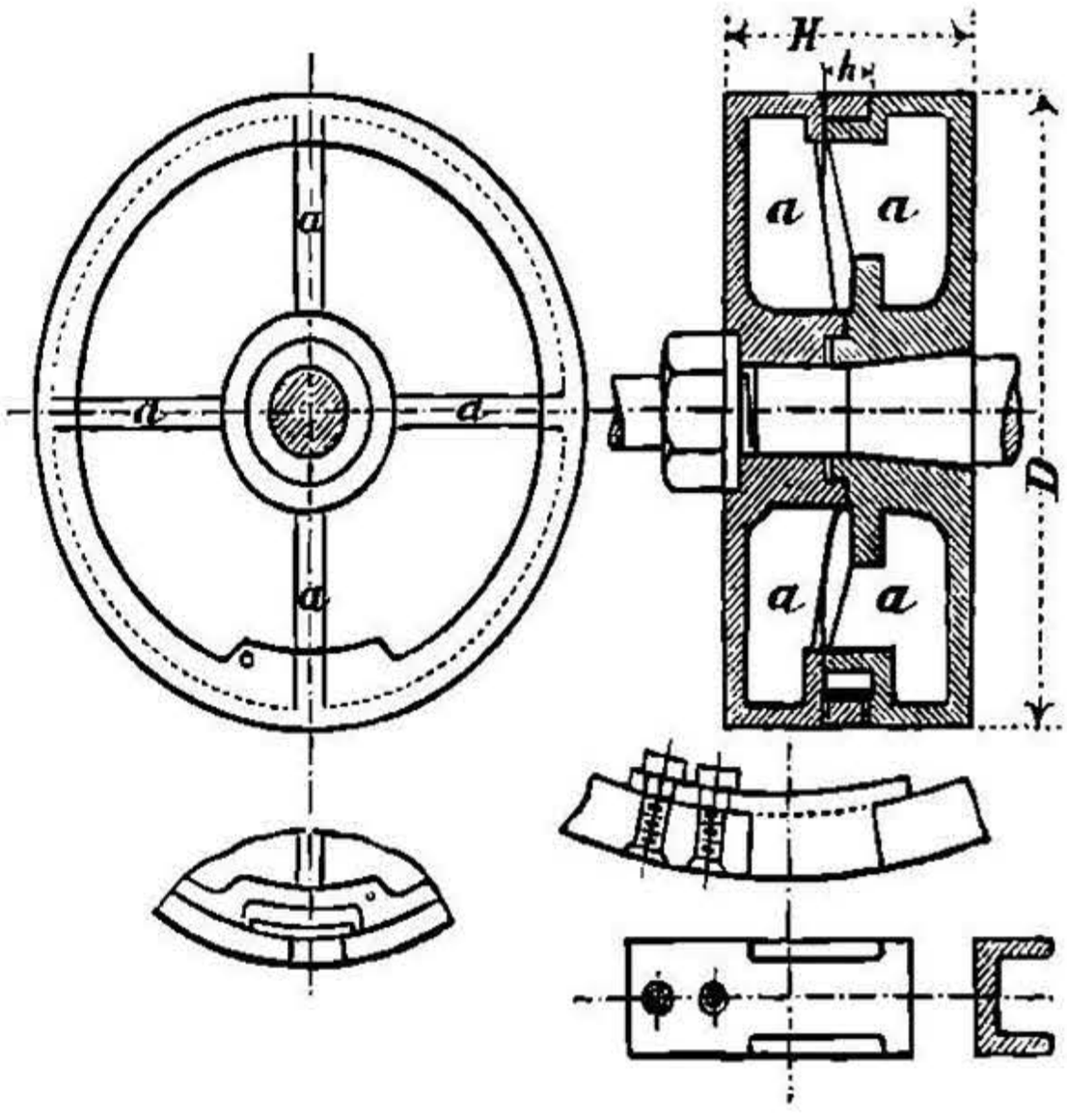
*) См. O. Reymann, Festigkeit und Reibung der Dampfkolben, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1893, стр. 1084, и 1896, стр. 85.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 379.



Черт. 380.



Укрѣпленіе поршня на поршневомъ стержнѣ производится посредствомъ конуса и винта, давленіе на нарѣзку котораго < 200 kg/qcm. Коническая заточка на стержнѣ притирается къ поршню. Уголъ конуса $> 8^0$. Давленіе на поверхность конуса < 400 kg/qcm.

c. Поршни съ клапанами.

Для насосовъ примѣняются сквозные дисковые поршни съ резиновыми клапанами по черт. 381, стр. 536 (насосы для холодильниковъ), или съ металлическими клапанами по черт. 382 (колодезные насосы), или также полыя ныряла съ металлическими клапанами (насосы Риттингера), причемъ надо слѣдить за тѣмъ, чтобы проходное сѣченіе было достаточно. Высота набивки на черт. 381 $h = 4\sqrt{D}$, толщина $s = \sqrt{D}$, если h, s и D въ **mm**; высота уплотненія манжета на черт. 382 $h = 8$ до 15 mm, толщина кожи 3 до 5 mm.

B. Поршневые стержни.

Поршневые стержни разсчитываются обыкновенно на **продольный изгибъ** (случ. 2 стр. 347), т. е. по формулѣ:

$$P \backsim \frac{E}{2\,\mathfrak{S}} \frac{d^4}{l^2}, \text{ соотв. } P \backsim \frac{E}{2\,\mathfrak{S}} \frac{d_2^4 - d_1^4}{l^2},$$

гдѣ, кромѣ обозначеній стр. 550, l длина стержня отъ средины поршня до крейцкопфнаго болта, d діаметръ сплошного стержня, d_1 внутренній и d_2 наружній діаметръ полаго стержня **въ** cm.

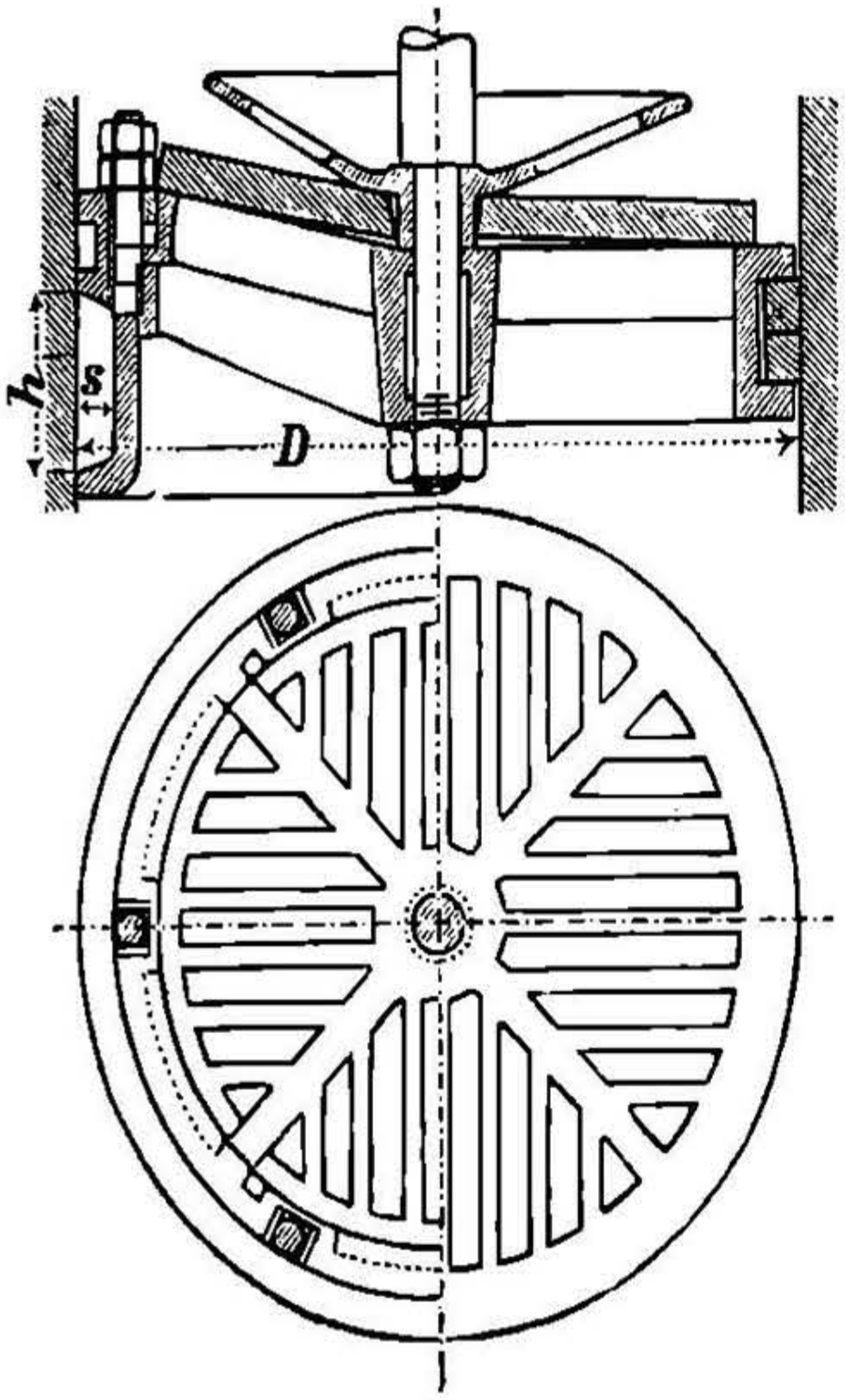
Для **вертикальныхъ машинъ** степень безопасности принимается:

$\mathfrak{S} =$ 8 до 11, если нагрузка колеблется между 0 и P,
$\mathfrak{S} =$ 15 до 22, „ „ „ „ $+P$ и $-P$

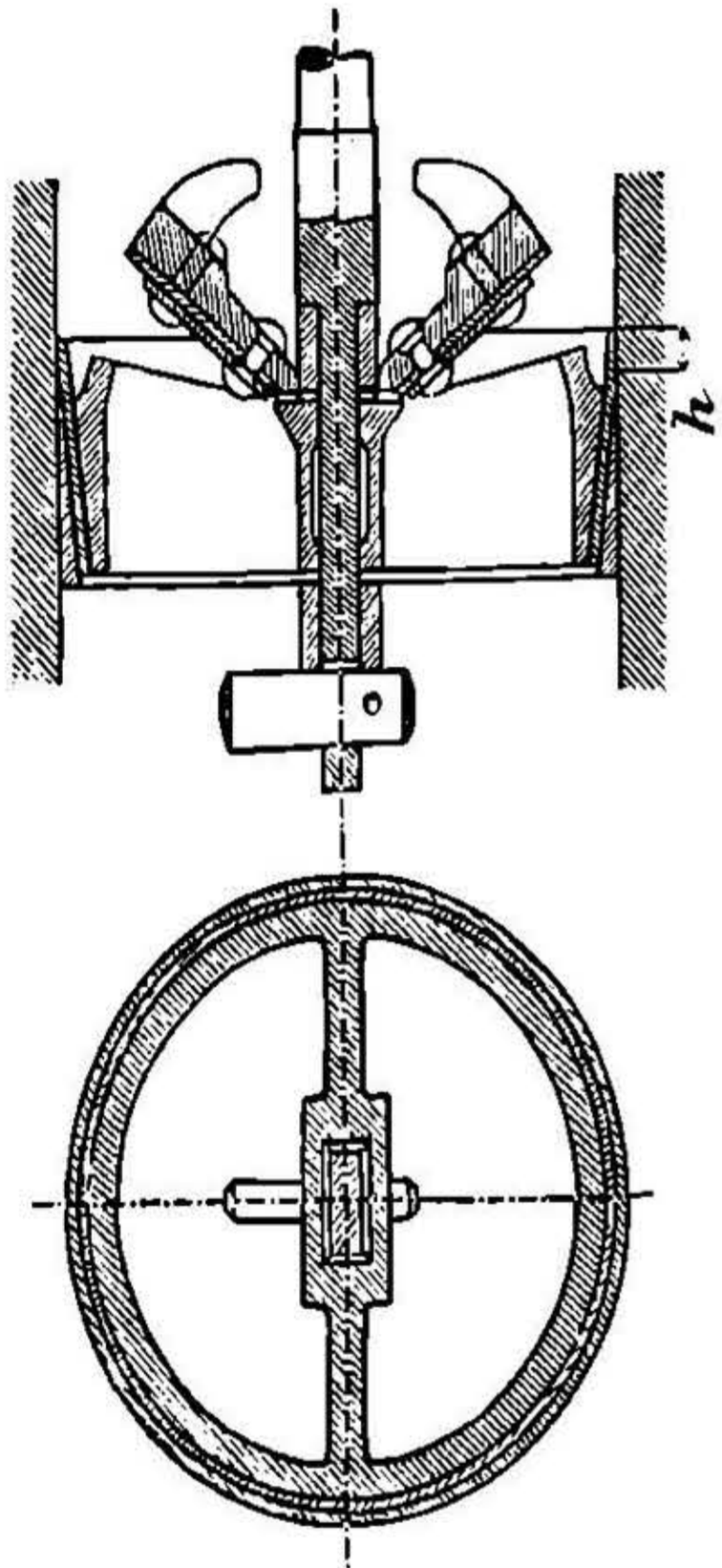
НТБ ДНУЗТ

Въ **горизонтальныхъ машинахъ** стержень подвергается также изгибу отъ собственнаго вѣса. Въ малыхъ и среднихъ машинахъ вліяніе этого изгиба регулируется, если положить $\mathfrak{S} = 11$ и соотвѣтственно 22.

Черт. 381.



Черт. 382.



Въ машинахъ большихъ размѣровъ, съ тяжелыми поршнями, поршневой стержень, проходящій сквозь обѣ крышки цилиндра (черт. 383, стр. 537), долженъ быть разсчитанъ какъ **балка на изгибъ**, причемъ допускаемый **прогибъ** не долженъ быть больше 1,0 до 1,5 mm. Діаметръ поршня принимается менѣе діаметра цилиндра на 3 до 4-ой величины допущеннаго прогиба поршневого стержня.

Обозначимъ черезъ:

L длину поршневого стержня между ползунами, въ cm,
G_k вѣсъ поршня, дѣйствующій въ срединѣ стержня, въ kg,
G_s вѣсъ стержня, въ kg,
f стрѣлу прогиба посрединѣ стержня въ cm,
J экваторіальный моментъ инерціи стержня въ cm^4 (табл. см. стр. 365 и слѣд.):

НТБ ДНУЗТ

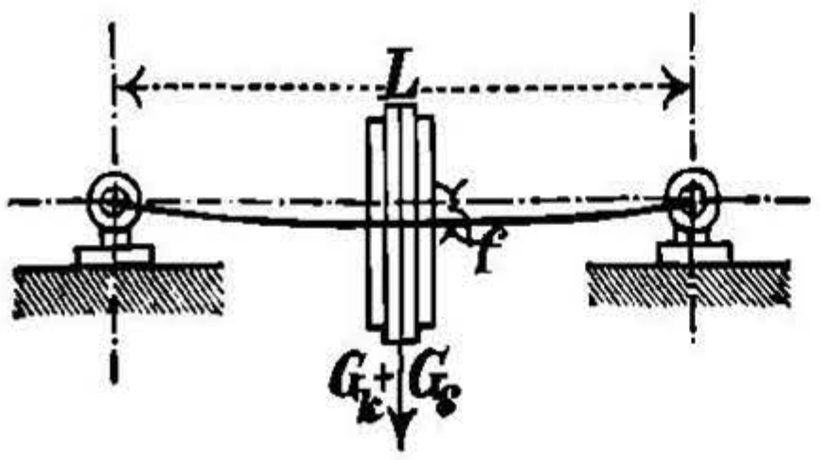
Тогда **стрѣла прогиба** (см. стр. 383):

$$f = \frac{L^3}{48} \frac{G_k + {}^5/_8\, G_s}{EJ}.$$

Величина эта замѣтно увеличивается отъ дѣйствія продольнаго изгиба силой P. См. **11**, стр. 408. Стержни изъ кованнаго матеріала или тягучей литой стали, а также полые стержни вслѣдствіе малаго ихъ вѣса и значительной величины J, способствуютъ уменьшенію f.

Желая уменьшить прогибъ, слѣдуетъ при соотвѣтственной смазкѣ цилиндра передавать давленіе $G_k + {}^5/_8\, G_s$ на тѣло поршня, что можетъ быть достигнуто плотной пригонкой поршня къ поверхности цилиндра, или же передачею давленія отъ вѣса поршня на цилиндръ черезъ поршневыя кольца; послѣднее достигается помѣщеніемъ прокладки между кольцомъ и тѣломъ поршня.

Черт. 383.



Давленіе на единицу поверхности:

$$k = \frac{G_k + {}^5/_8\, G_s}{\text{повер. цил., несущ. порш.}} < 3 \text{ kg/qcm}.$$

C. Сальники.

Треніе въ сальникахъ см. стр. 219 и 220, а также 531.

Нераціональная набивка, затвердѣвшая набивка, или чрезмѣрно притянутые болты сальника при упругой еще набивкѣ производятъ треніе, которому въ приведенной на стр. 531, для R формулѣ пусть соотвѣтствуетъ давленіе p_0 атм. Тогда, по новѣйшимъ опытамъ, имѣемъ для всѣхъ давленій $p < p_0$ (слѣд. и при работѣ машины порожнемъ) треніе постоянное $R = \mu\, p_0\, D\, \pi$. Для $p > p_0$ имѣемъ, напротивъ того, уравненіе $R = \mu\, p\, D\, \pi$. Для нормальныхъ условій достаточно принимать p_0 равнымъ наибольшему рабочему давленію p.

Предпочтительно для набивки употребляютъ пеньку; кромѣ того, хлопчато-бумажный шнуръ, пропитанный саломъ или съ тальком, затѣмъ азбесть, дерево и металлическія кольца.

При обозначеніяхъ (въ **cm**) черт. 384 можно принимать:

$$s = 0{,}8\sqrt{d}; \qquad d_1 = d + 2s; \qquad h \sim d_1.$$

Для воды h должно быть нѣсколько меньше, для воздуха—нѣсколько больше. Чѣмъ выше набивка, тѣмъ дольше она служитъ и тѣмъ меньше работа тренія. Набивка держитъ хорошо только до тѣхъ поръ, пока она обладаетъ упругостью.

Обозначимъ черезъ: i **число болтовъ сальника**, δ діаметръ болтовъ въ cm, p избытокъ давленія жидкости (надъ атмосфернымъ) въ kg/qcm; **число болтовъ** i опредѣлится по формулѣ:

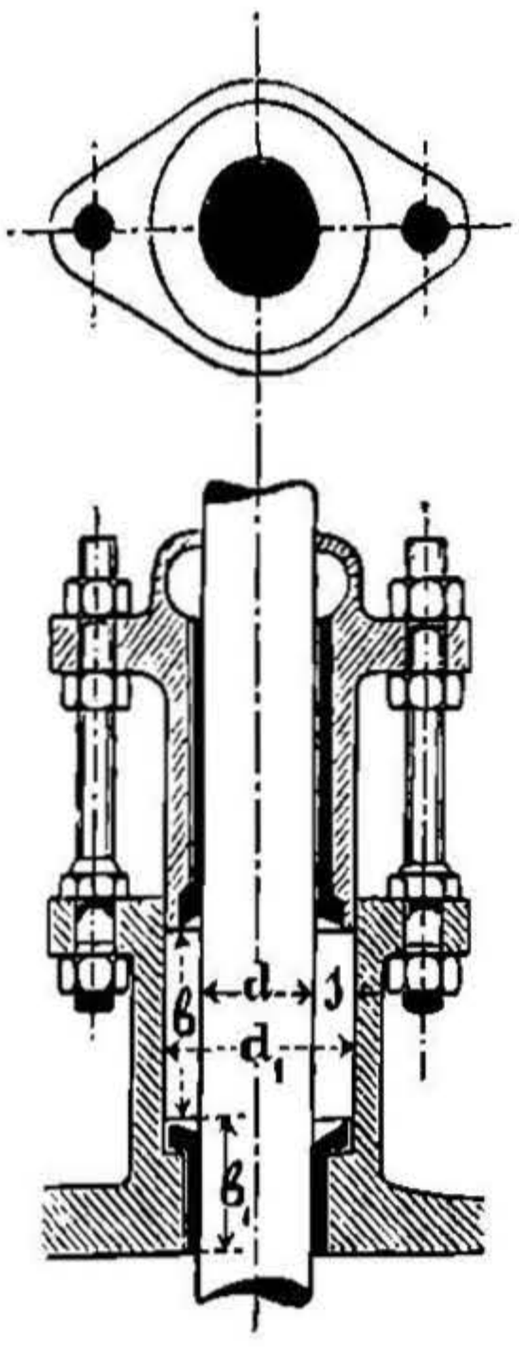
$${}^1/_4\,\pi\,(d_1^2 - d^2)\,.\,3\,p = 120\,\delta^2 i \text{ до } 135\,\delta^2 i \text{ (см. стр. 436)}.$$

При этомъ p должно быть не менѣе 3; обыкновенно $\delta \leqq 1{,}3$ cm.

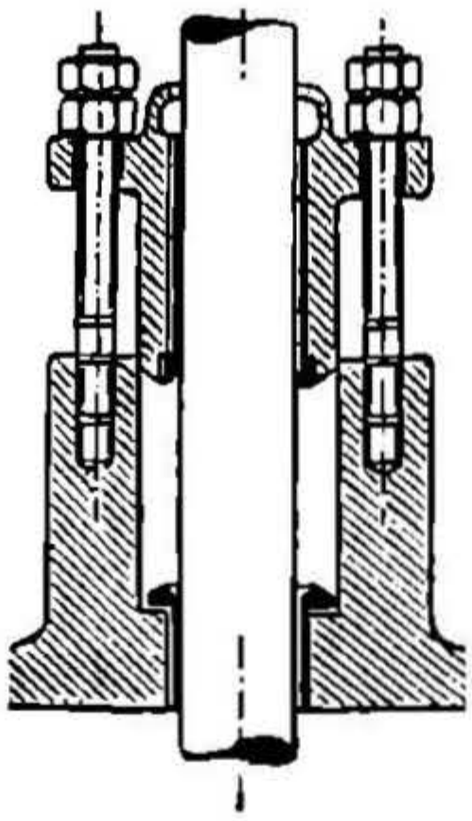
НТБ ДНУЗТ

Длина грундъ-буксы:
$h_1 \sim d$ въ горизонтальныхъ машинахъ,
$h_1 \sim 0{,}5\,d$ въ вертикальныхъ машинахъ.

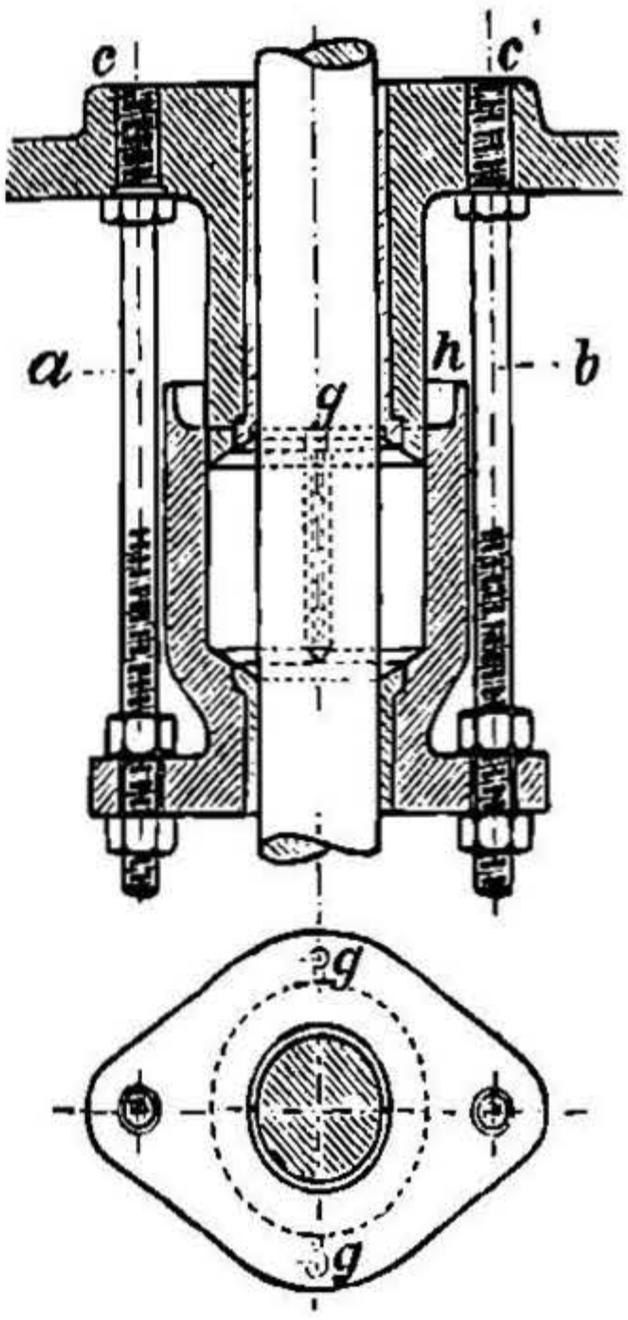
Черт. 384.



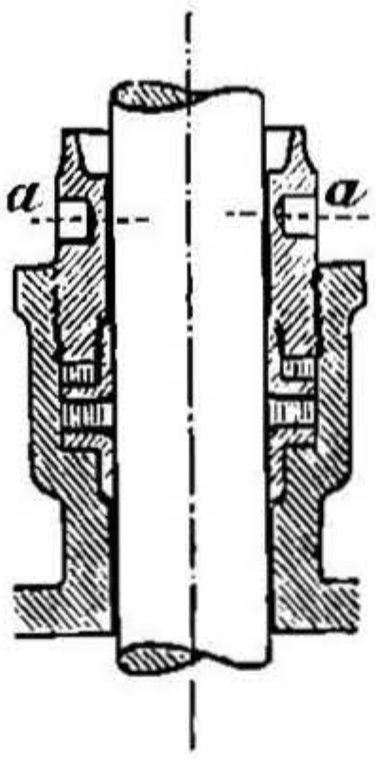
Черт. 385.



Черт. 386.

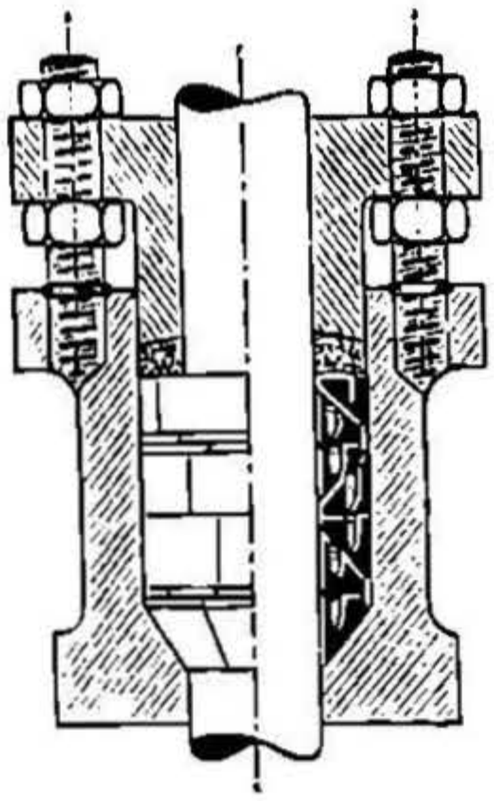


Черт. 387.

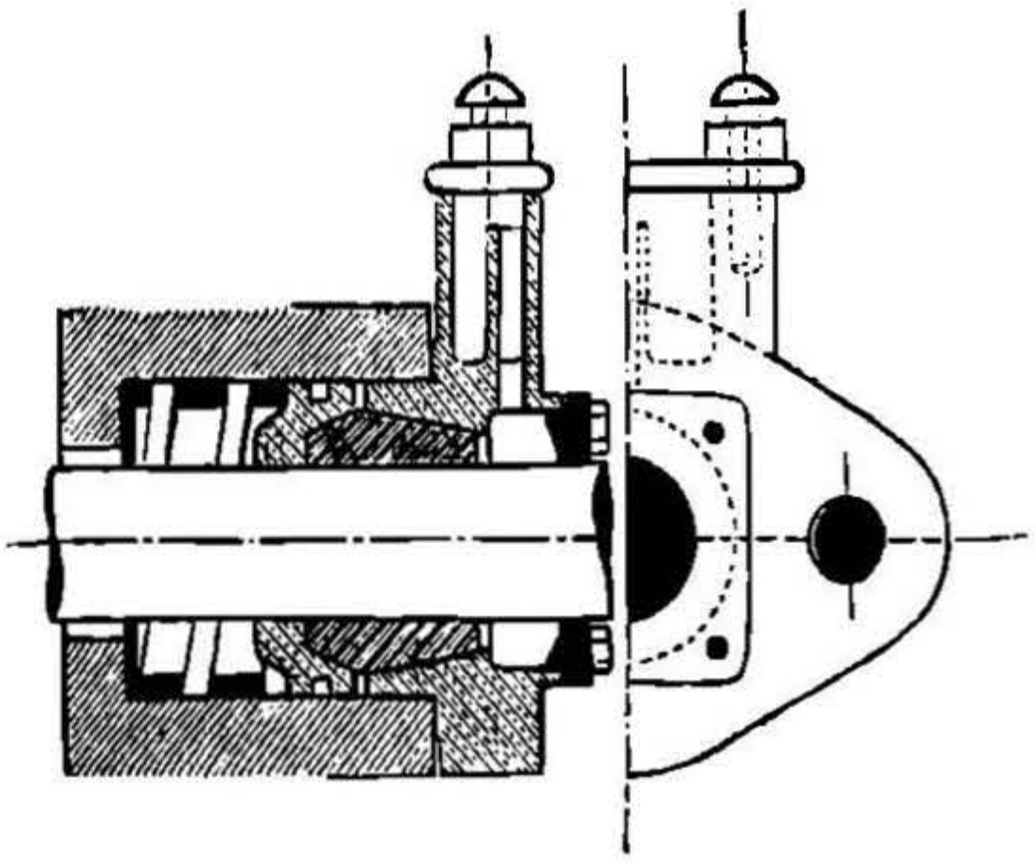


Черт. 385 представляетъ вертикальный сальникъ, черт. 386 висячій сальникъ, черт. 387—сальникъ для нырялъ, съ кожаной набивкой и винтовой нарѣзкой.

Черт. 388.



Черт. 389

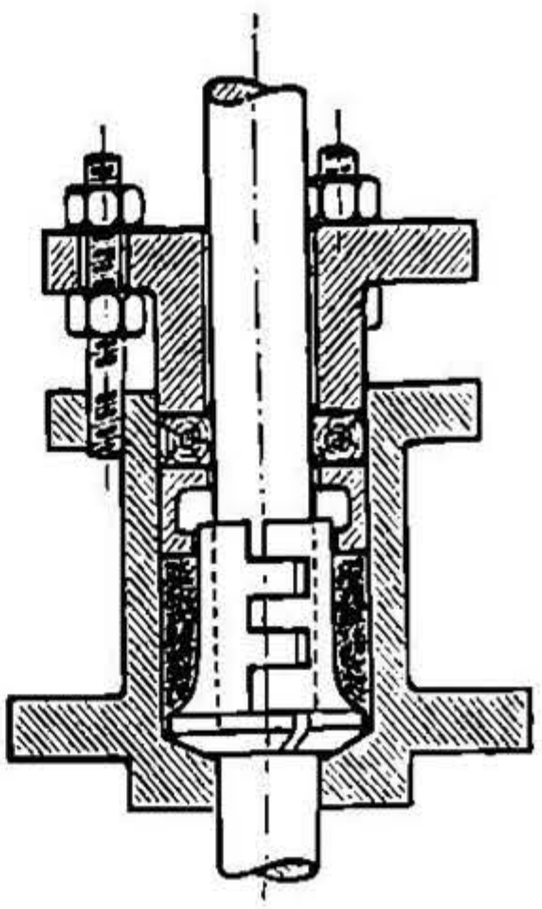


Въ новѣйшее время употребляется очень часто **металлическая набивка.** Сальники съ металлической набивкою (см. черт. 388 и 389)

НТБ ДНУЗТ

требуютъ непрерывной и тщательной смазки. Непрерывная смазка примѣнена въ паровозахъ прусскихъ правительствен. дорогъ. Конусъ для набивки изготовляется изъ бѣлаго металла — 15% сурьмы, 20% олова, 65% свинца. Сальникъ Говальда (черт. 388) употребляется часто для пароходныхъ машинъ высокаго давленія; для вынимания и вставленія отдѣльныхъ половинъ набивочныхъ колецъ въ нихъ имѣются отверстія съ нарѣзкой. Сальникъ Шеллинга (черт. 390) имѣетъ вкладышъ мягкой мѣди изъ трехъ частей, вокругъ него пеньковую набивку для возможности боковыхъ движеній; этотъ сальникъ все болѣе и болѣе примѣняется въ германскомъ флотѣ.

Черт. 390.



VI. МЕХАНИЗМЪ КРИВОШИПА И ШАТУНА.

A. Соотношеніе движеній поршня и кривошипа.

Обозначимъ черезъ:

r радіусъ кривошипа въ m, $s = 2r$ ходъ поршня въ m,
l длину шатуна въ m,
$\lambda = r : l$, большею частью $\lambda = 1/5$ *),
x путь поршня отъ мертвой точки, въ m,
α соотвѣтственный уголъ кривошипа отъ мертваго положенія,
β соотвѣтственный уголъ шатуна,
c мгновенную скорость поршня (крестовины) въ m/sec,
v постоянную скорость цапфы (пальца) кривошипа въ m/sec,
n число оборотовъ кривошипа въ одну минуту,
P силу, дѣйствующую на поршень, въ kg,
T силу, дѣйствующую по касательной къ окружности, описываемой кривошипомъ, въ kg.

Въ нижеслѣдующихъ формулахъ знакъ + относится къ ходу поршня впередъ, т. е. къ его движенію по направленію къ валу кривошипа, а знакъ — къ ходу поршня назадъ.

*) у паровозовъ λ обыкновенно меньше; см. часть II, желѣзнодорожное дѣло.

НТБ ДНУЗТ

а. Путь x, проходимый поршнемъ.

Для произвольнаго угла кривошипа α:

$$x = r(1 - \cos\alpha) \pm l(1 - \cos\beta)$$
$$= r(1 - \cos\alpha) \pm l\left[1 - \sqrt{1 - (\lambda \sin\alpha)^2}\right].$$

Приблизительно: $x = r(1 - \cos\alpha) \pm \frac{1}{2}\frac{r^2}{l}\sin^2\alpha$

$$= r\left(1 - \cos\alpha \pm \frac{1}{2}\lambda \sin^2\alpha\right).$$

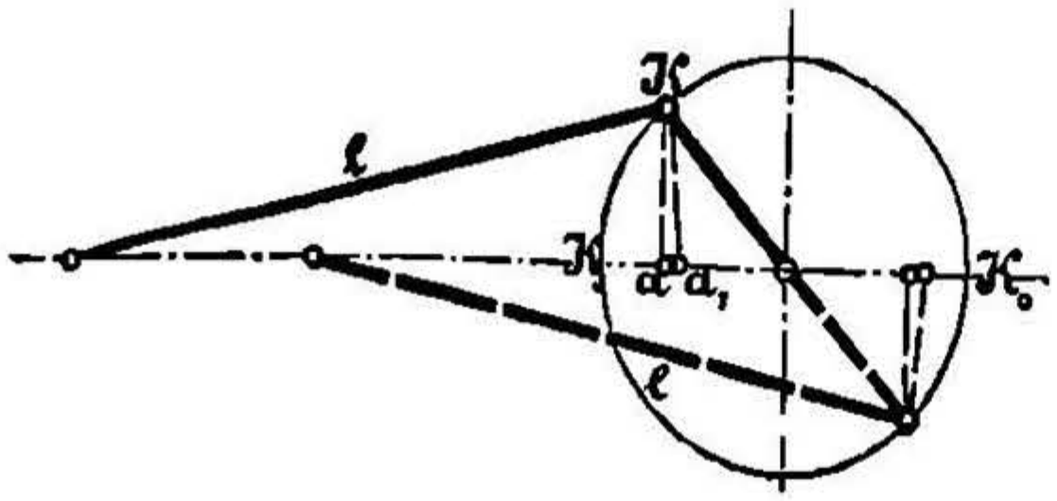
Отрѣзокъ $\overline{aa_1}$ (черт. 391), погрѣшность, опредѣляется приблизительно $= \frac{1}{2}\frac{(r\sin\alpha)^2}{l} = \frac{\overline{aK^2}}{2l}$. Какъ пользоваться этимъ выраженіемъ, см. Fränzel, Neuere Schiffsmaschinensteuerungen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1889, стр. 985.

При $\alpha = 90^0$ (четверть оборота кривошипа): $x = r + \frac{1}{2}\frac{r^2}{l}$.

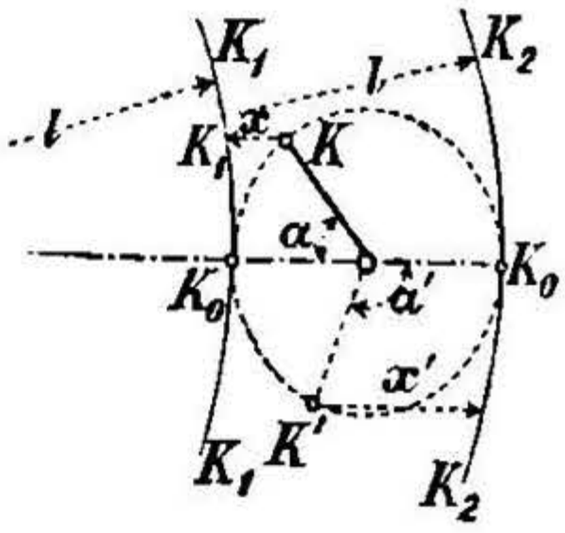
„ $\alpha = 180^0$ (полоборота кривошипа): $x = 2r$.

При $l = \infty$ ($\lambda = 0$) имѣемъ $x = r(1 - \cos\alpha)$ и движеніе sinus-versus'оидальное (см. стр. 548), кривошипъ съ кулиссой.

Черт. 391.



Черт. 392.



Графическое опредѣленіе пути, проходимаго поршнемъ (черт. 391), при $l = \infty$: данная точка K кривошипа проектируется прямою Ka на направленіе K_0K_0; путь поршня будетъ $x = K_0a$. При l — конечномъ, точка K проектируется посредствомъ дуги круга Ka_1 радіуса l на направленіе K_0K_0; путь поршня въ этомъ случаѣ будетъ $x = K_0a_1$.

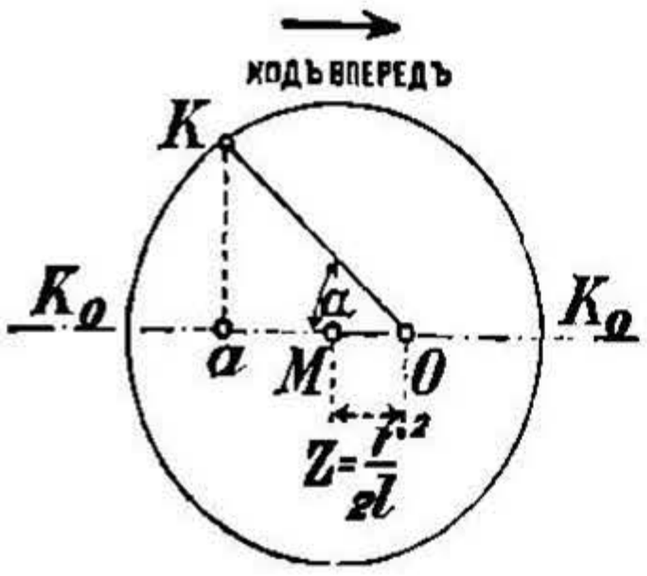
Можно избѣжать неудобства и практической неточности отъ частаго построенія дугъ радіуса l, если провести (по Мюллеру) два круга K_1 и K_2 радіуса l касательно къ кругу кривошипа въ мертвыхъ его точкахъ K_0 и отсѣкать изъ точекъ K отрѣзки $KK_1 = x$ (черт. 392) параллельно направленію движенія, или же, по Бриксу *), если принять за вершину угловъ кривошипа α не центръ M круга кривошипа, а точку O, сдвинутую относительно M на длину $Z = \frac{r^2}{2l}$ по направленію передняго хода поршня, и затѣмъ проектировать перпендикулярами (черт. 393): $x = K_0a$.

*) См. F. A. Brix, Das bicentrische polare Excenterschieberdiagramm, Zeitschr. d. V. d. Ing., 1897, стр. 431 и слѣд.

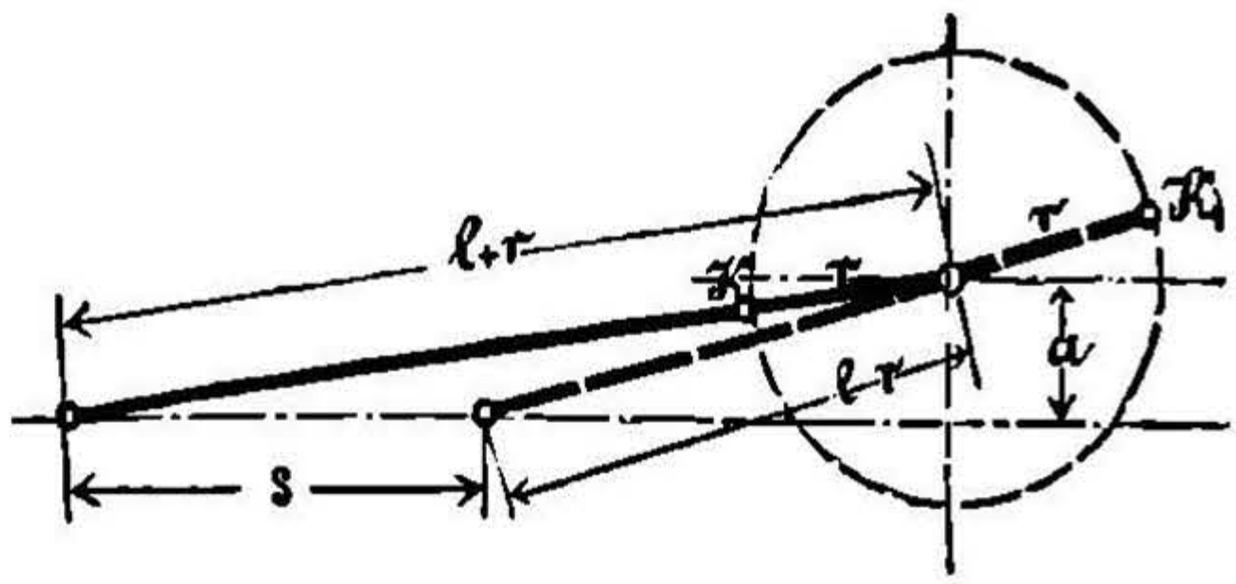
НТБ ДНУЗТ

Если ось вращенія кривошипа не находится на продолженіи поршневого стержня, а отстоитъ отъ него на разстояніи a (черт. 394),

Черт. 393.



Черт. 394.



то: 1) мертвыя точки K_1 и K, соотвѣтствующія положеніямъ кривошипа, совпадающимъ съ направленіемъ ведущаго шатуна, несимметричны и 2) ходъ поршня $s > 2r$, а именно:

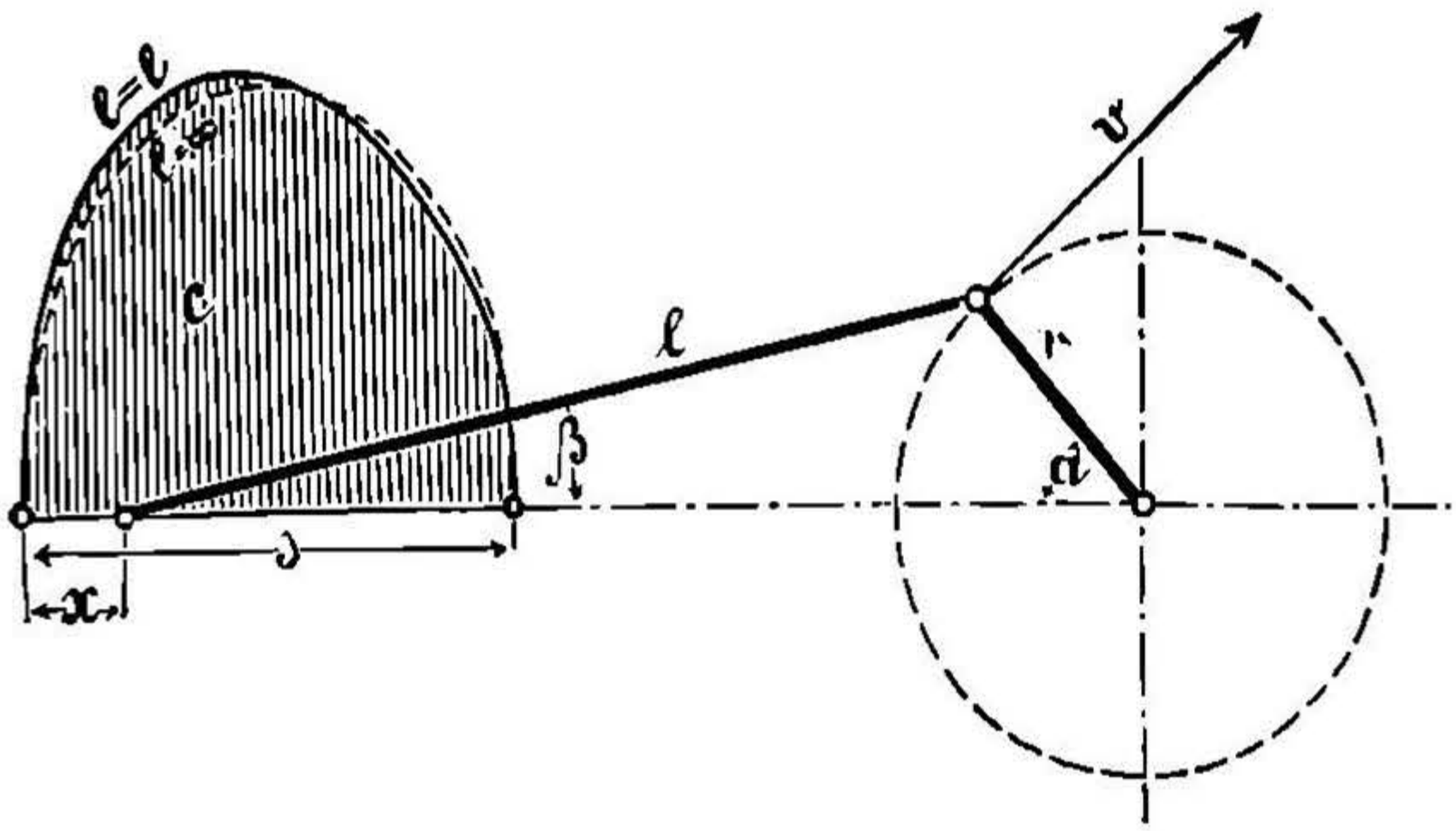
$$s = \sqrt{(l+r)^2 - a^2} - \sqrt{(l-r)^2 - a^2};$$

напр.: при $a = 0{,}5\,r$, $\lambda = 1/5$, $s = 2{,}01\,r$;
$a = r$, $\lambda = 1/5$, $s = 2{,}04\,r$.

b. Скорость поршня c.

$$c = v\frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos\beta} = v\frac{CD}{r} = v\frac{\xi}{r}$$ (черт. 395 и соотв. 396).

Черт. 395.



Приблизительно имѣемъ для $l = l$; $c = v \sin\alpha(1 \pm \lambda\cos\alpha)$.

Для $\alpha = 0$ и $\alpha = 180^0$ имѣемъ $\beta = 0$, $c = 0$;

для $\alpha + \beta = 90^0$ имѣемъ $c_{max} = \frac{v}{\cos\beta}$ и $\operatorname{tg}\beta = \lambda$;

для $\alpha = 90^0$ имѣемъ $c = v$.

Для $l = \infty$ имѣемъ $c = v\sin\alpha$ и $c_{max} = v$ для $\alpha = 90^0$.

Средняя скорость поршня $c_m = \frac{2sn}{60} = \frac{2rn}{30}$.

НТБ ДНУЗТ

Скорость пальца кривошипа $v = \frac{2\pi r n}{60} = \frac{\pi r n}{30}$, слѣд.:

$$v = \frac{\pi}{2} c_m = 1{,}571\ c_m; \qquad c_m = \frac{2}{\pi} v = 0{,}637\ v.$$

При $\lambda = 1/5$ имѣемъ $c_{max} = 1{,}02\ v = 1{,}6\ c_m$.

c. Ускореніе поршня p.

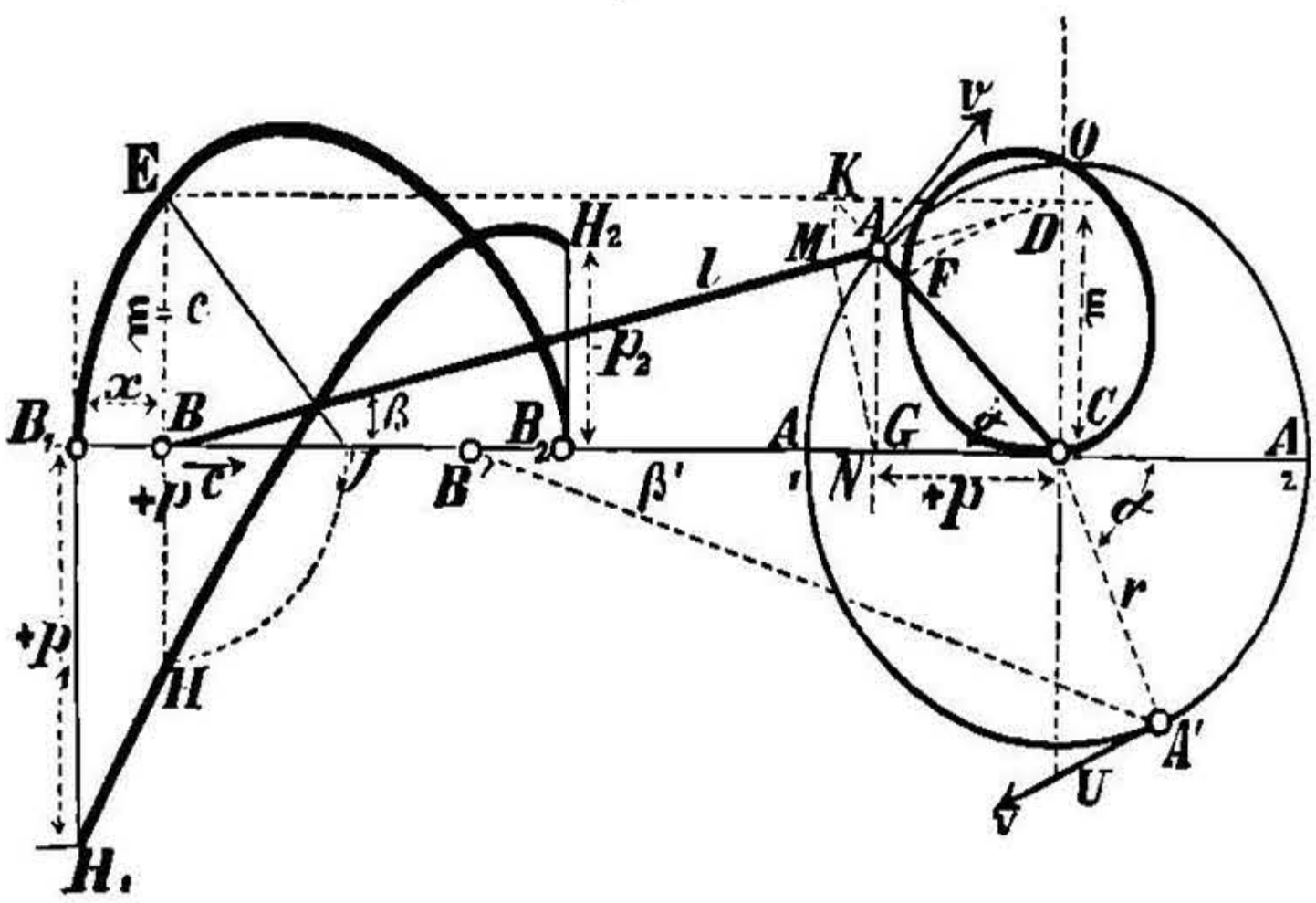
Для $p = \frac{dc}{dt}$ (см. стр. 145) имѣемъ точно:

По **Pröll'ю** *): $p =$ поднормали $BJ = BH$ кривой скоростей $B_1 E B_2$ (черт. 396).

Иначе p можетъ быть найдено слѣдующимъ построеніемъ (**Мора** **), черт. 396: продолживъ BA до пересѣченія въ точкѣ D съ $CD \perp BC$, проведемъ $DK \parallel CB$ до пересѣченія въ K съ продолженіемъ CA, затѣмъ проводимъ $KM \parallel DC$ и $MN \perp BA$; тогда $CN = BH = p$. Положительныя значенія p находятся слѣва, а отрицательныя (замедленія) справа отъ C.

$H_1 H H_2$ есть діаграмма ускореній въ масштабѣ $(v^2 : r) = r$.

Черт. 396.



(Масштабъ скоростей: $v = r$).

Ускореніе поршня при **мертвыхъ** положеніяхъ B_1 и B_2 кривошипа:

$$p_1 = (1 + \lambda)\frac{v^2}{r} \qquad p_2 = (1 - \lambda)\frac{v^2}{r}.$$

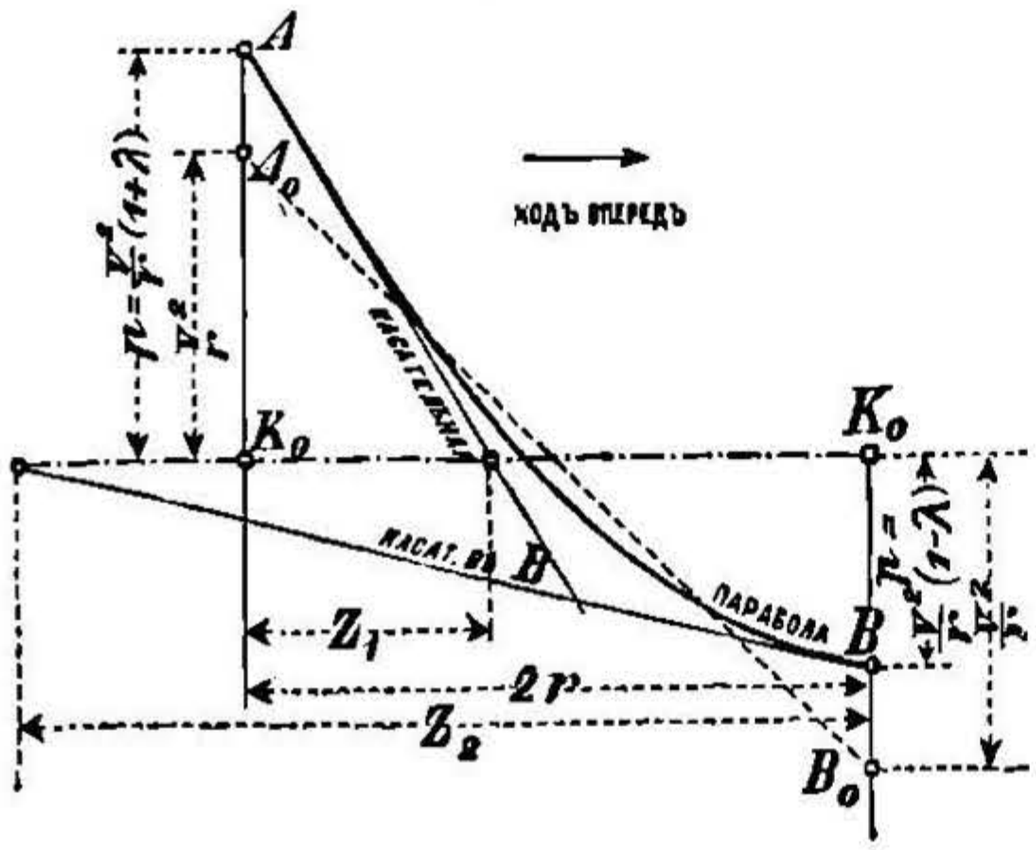
---

*) См. Pröll, Graphische Dynamik 1874.

**) См. Civil-Ingenieur, 1879, стр. 612. См. также Zeitschr. des Vereines d. Ing. 1883, стр. 283 и слѣд., 1895, стр. 716 и слѣд., 1896, стр. 983 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 397.



Приблизительно имѣемъ *):

$$p = \frac{v^2}{r}\ (\cos\alpha \pm \lambda \cos 2\alpha).$$

Если наносить эти значенія p какъ ординаты въ соотвѣтственныхъ положеніяхъ поршня, то (черт. 397) концы этихъ ординатъ будутъ лежать на параболѣ AB, которую проще всего построить помощью обертывающихъ касательныхъ по касательнымъ въ A и B (см. стр. 111, черт. 20). Отрѣзки Z_1 и Z_2 на черт. 397 составляютъ:

Отрѣзокъ:	для $\lambda = \frac{1}{3}$	$\lambda = \frac{1}{3{,}5}$	$\lambda = \frac{1}{4}$	$\lambda = \frac{1}{4{,}5}$	$\lambda = \frac{1}{5}$	$\lambda = \frac{1}{6}$
$Z_1 = \frac{(1+\lambda)^2}{1+4\lambda} r$	$\frac{16}{21} r$	$\frac{27}{35} r$	$\frac{25}{32} r$	$\frac{121}{153} r$	$\frac{4}{5} r$	$\frac{49}{60} r$
$Z_2 = \frac{(1-\lambda)^2}{1-4\lambda} r$	$-\frac{4}{3} r$	$-\frac{25}{7} r$	∞	$\frac{49}{9} r$	$\frac{16}{5} r$	$\frac{25}{12} r$

Для хода поршня назадъ слѣдуетъ повернуть кривую ускореній на 180^0 относительно $K_0 K_0$.

При $l = \infty$ ($\lambda = 0$) кривая $H_1 H H_2$ (черт. 396) превращается въ прямую, равнымъ образомъ превращается въ прямую парабола (черт. 397), и $p_1 = p_2 = \frac{v^2}{r}$ представляетъ наибольшее ускореніе или замедленіе.

d. Давленіе силы инерціи b движущихся массъ.

Сила инерціи b, отнесенная къ 1 qcm площади поршня, уменьшающая силу, дѣйствующую на поршень, при положительномъ p и увеличивающая ее при отрицательномъ p, равна:

$$b = \frac{q}{g} p \text{ (въ kg/qcm)},$$

гдѣ q вѣсъ взадъ и впередъ движущихся частей, отнесенный къ ходу поршня $2r$ и 1 qcm площади поршня, а g ускореніе отъ силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec^2.

По Радингеру для горизонтальныхъ паровыхъ машинъ:

безъ конденсаціи $q = 0{,}28$ kg/qcm,
съ „ $q = 0{,}33$ kg/qcm.

*) См. Radinger, Ueber Dampfmaschinen mit hoher Kollengeschwindigkeit, 3 изд. Wien, 1892.

НТБ ДНУЗТ

b можетъ быть представлено той же діаграммой (черт. 396), что и p, если принять слѣдующій масштабъ:

$$\frac{q}{g}\frac{v^2}{r}\,(\mathrm{kg}) = r\,(\mathrm{m}).$$

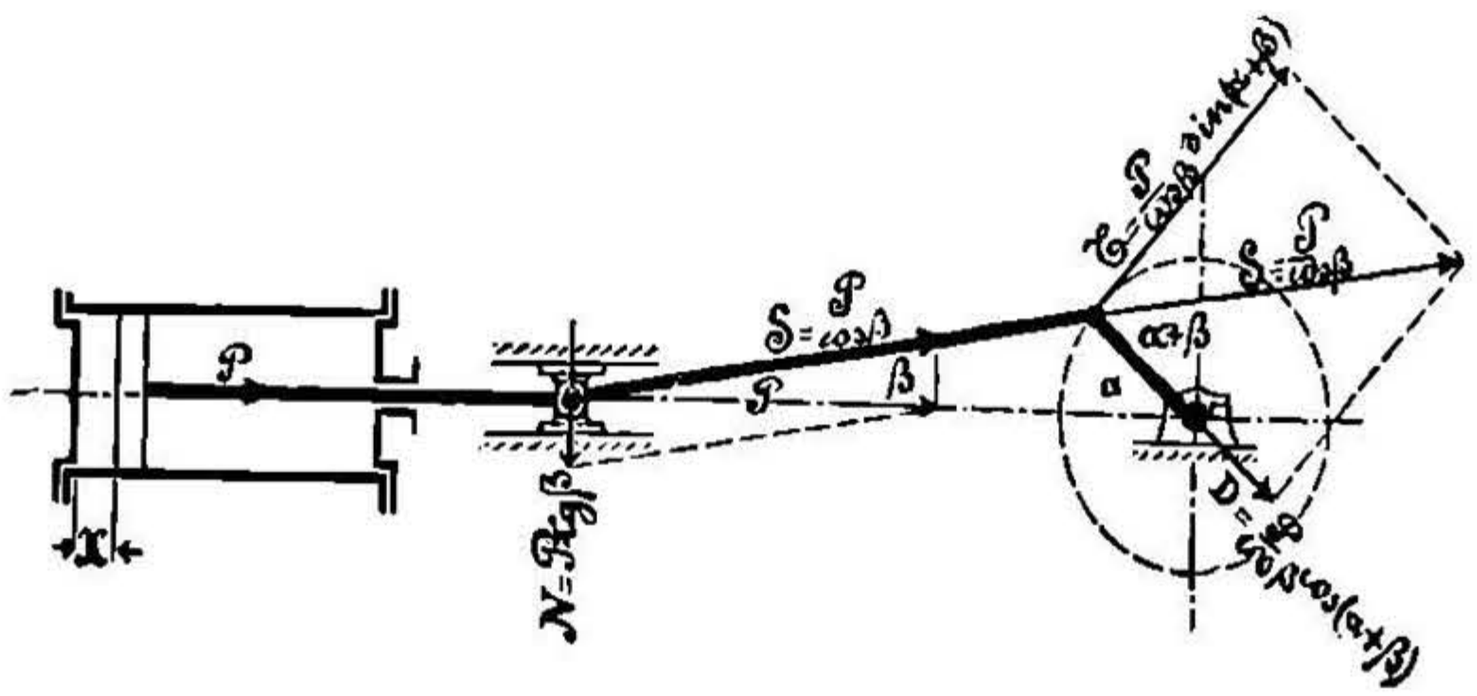
На черт. 397, стр. 543, линія AB представляетъ линію давленія силъ инерціи, если:

$$K_0A = \frac{q}{g}\frac{v^2}{r}(1+\lambda); \qquad K_0B = \frac{q}{g}\frac{v^2}{r}(1-\lambda).$$

B. Соотношенія силъ и работъ.

a. Зависимость между силами.

Черт. 398.



Нормальное давленіе на направляющія (параллели) въ kg:

$$N = P\,\mathrm{tg}\,\beta = S\sin\beta;$$

при $\alpha+\beta = 90^0$: $\qquad N = P\frac{r}{l}$;

при $\alpha = 90^0$ $(\beta = \beta_{\max})$:

$$N_{\max} = P\,\mathrm{tg}\,\beta_{\max} \backsim P\sin\beta_{\max} \backsim P\frac{r}{l}.$$

Сила по направленію шатуна, въ kg: $\qquad S = \frac{P}{\cos\beta}$;

при $\alpha = 90^0$ $(\beta = \beta_{\max})$: $\qquad S_{\max} = \frac{P}{\sqrt{1-\lambda^2}}$;

при $l = \infty$: $\qquad S = P$.

Сила по касательной къ окружности кривошипа, въ kg:

$$T = P\frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta};$$

при $\alpha = 0,\ \alpha = 180^0$: $\qquad T_0 = 0$;

при $\alpha = 90^0$ $(\beta = \beta_{\max})$: $\qquad T = P$;

при $\alpha+\beta = 90^0$: $\qquad T_{\max} = S = P\sqrt{1+\lambda^2}$;

при $l = \infty$: $\qquad T = P\sin\alpha$.

НТБ ДНУЗТ

Давленіе на опору вала кривошипа $= S$.
(Діаграммы приведены въ статьѣ о маховикахъ, см. ниже).

b. Соотношенія работъ.

Работа давленія на поршень: $P c.dt = P v \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta} dt;$

работа давленія, касательнаго къ окружности кривошипа:

$$T v.dt = P \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta} v.dt;$$

теоретически обѣ эти работы равны между собою.

Если P_m среднее давленіе на поршень въ kg, T_m среднее давленіе, касательное къ окружности кривошипа, въ kg, то:

$$P_m.2r = T_m r\pi,$$

$$P_m = \frac{\pi}{2} T_m, \quad T_m = \frac{2}{\pi} P_m \text{ или } P_m c_m = T_m v.$$

c. Работа тренія.

Примемъ P постояннымъ $= P_m$ и отнесемъ эту силу къ одному ходу поршня; кромѣ того, обозначимъ черезъ:

d діаметръ цапфы кривошипа въ m,
d_1 „ „ (валика) крестовины въ m,
D „ „ (шейки) вала въ m,
μ коэффиціентъ тренія $= 0{,}06$,
$\lambda = r : l$, принято $1 : 5$.

Вся производимая **работа** (въ mkg) при одномъ полуоборотѣ

$$A = P.2r.$$

Треніе	Работа тренія (приблиз.) mkg.	Отношеніе работы тренія ко всей работѣ.	Отношеніе работы тренія ко всей работѣ,	въ предположеніи, что:
направляющихъ:	$A_1 = \mu P \frac{r^2}{l} \frac{\pi}{2}$	$\frac{A_1}{A} = \frac{\mu\pi}{4} \frac{r}{l}$	$\frac{A_1}{A} = 0{,}009$	$\mu = 0{,}06$, $r : l = 1/5$
цапфъ крестовины:	$A_2 = \mu P d_1 \beta_{max}$	$\frac{A_2}{A} = \frac{\mu\beta_{max}}{2} \frac{d_1}{r}$	$\frac{A_2}{A} = 0{,}001$	$\frac{d_1}{r} = 0{,}20$
шейки кривошипа:	$A_3 = \mu P \frac{\pi d}{2}$	$\frac{A_3}{A} = \frac{\mu\pi}{4} \frac{d}{r}$	$\frac{A_3}{A} = 0{,}012$	$\frac{d}{r} = 0{,}25$
шейки вала	$A_4 = \mu P \frac{\pi D}{2}$	$\frac{A_4}{A} = \frac{\mu\pi}{4} \frac{D}{r}$	$\frac{A_4}{A} = 0{,}021$	$\frac{D}{r} = 0{,}45$

$$\frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}{A} = 0{,}043,$$

НТБ ДНУЗТ

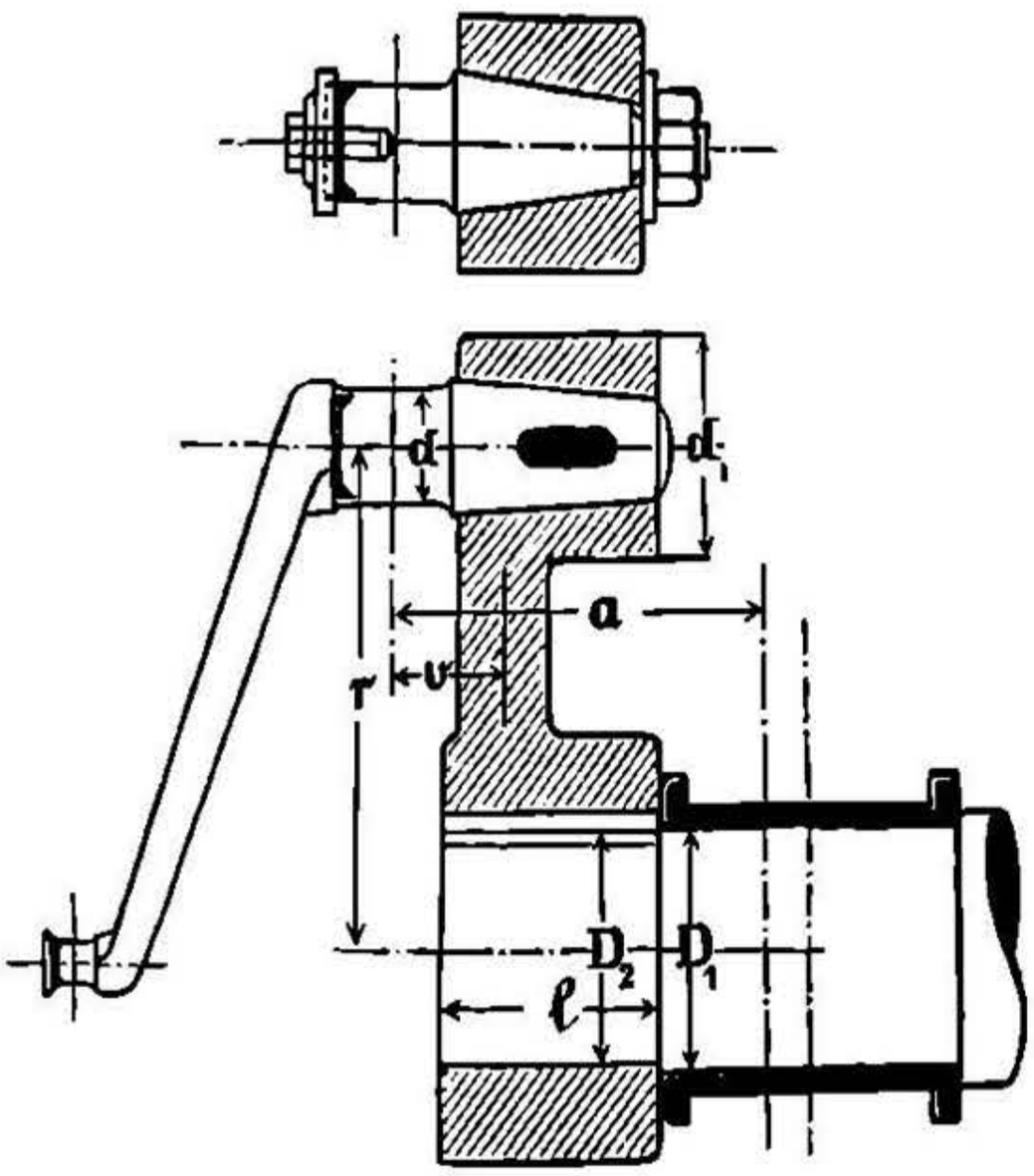
слѣд., въ нормально устроенномъ механизмѣ кривошипа и шатуна теряется отъ 4 до 5% на треніе, въ предположеніи, что сила P остается постоянной въ теченіе всего хода поршня.

C. Кривошипы и эксцентрики.

Разсчетъ цапфы кривошипа см. стр. 488 и 489.

a. Кривошипъ (черт. 399 и 400).

Черт. 399 и 400.



Для желѣзныхъ кривошиповъ: $d_1 = 2\,d$,

D_2 менѣе D_1 на нѣсколько mm,

l, смотря по точности отдѣлки, $l \sim D_2$, если кривошипъ насаживается въ горячемъ состояніи или помощью пресса; въ иныхъ случаяхъ l принимается

$$\geqq 1{,}25\,D_2.$$

Величина a (черт. 400) должна быть по возможности меньше.

Толщина стѣнокъ втулки:

$$= 0{,}4\,D_2 + 1 \text{ cm}.$$

Размѣры плеча кривошипа: Сѣченіе $b\,h$ плеча кривошипа, отстоящее на величину z отъ оси цапфы (черт. 400 и 401), сопротивляется:

отъ дѣйствія силы D:

нормальной силѣ D, изгибающему моменту $M_2 = D\,v$;

отъ дѣйствія силы T:

срѣзывающей силѣ T, изгибающему моменту $M_1 = T\,z$ и крутящему моменту $M_d = T\,v$.

Нормальной силой D и срѣзывающей T можно пренебречь. По моментамъ M_1, M_2 и M_d разсчетъ производится на основаніи изложеннаго въ 3., стр. 412, причемъ, согласно приведенныхъ тамъ данныхъ, опредѣляется наибольшее напряженіе въ сѣченіи $b\,h$. При употребительныхъ соотношеніяхъ для опредѣленія напряженій выбирается мертвое положеніе, тѣмъ болѣе, что при быстромъ измѣненіи направленія силъ въ мертвыхъ положеніяхъ необходимо допускать низкія напряженія. Изгибающій моментъ здѣсь $M_b = P\,v$ и растягивающая, соотв. сжимающая, сила $= P$, а поэтому:

$$\frac{M_b}{{}^1/_6\,b^2\,h} + \frac{P}{b\,h} \leqq k_b \quad \text{или} \quad P\left(v + \frac{b}{6}\right) \leqq k_b \frac{b^2\,h}{6},$$

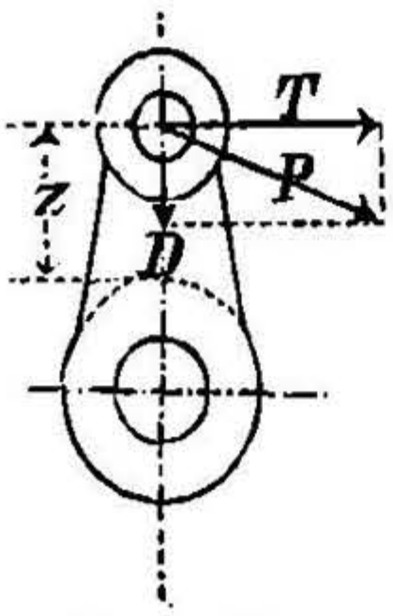
откуда можно опредѣлить h, задавшись b.

НТБ ДНУЗТ

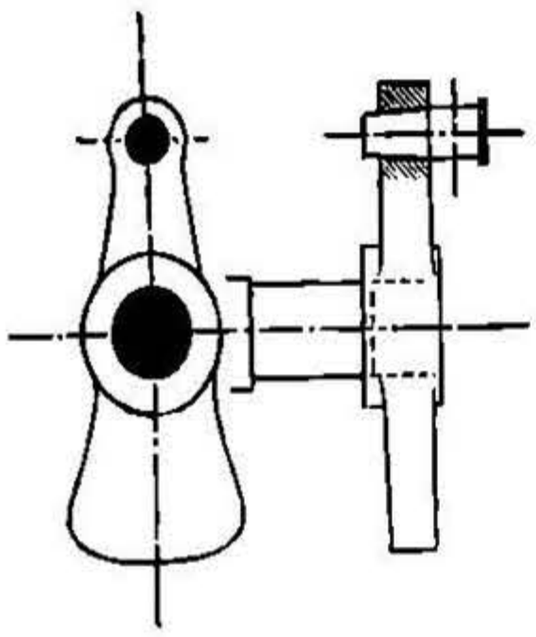
Разсчетъ цапфы D_1 вала (шейки) ведется по наибольшему изгибающему моменту $M = Pa$, вызываемому наибольшимъ давленіемъ P на поршень, и по крутящему моменту $M_d = Tr$, получающемуся отъ наибольшей скручивающей силы T, по формулѣ въ 1, стр. 412.

Для предварительныхъ разсчетовъ можно пренебречь крутящимъ моментомъ M_d, если въ выраженіе изгибающаго момента M для плеча рычага, вмѣсто a, принимать діагональное разстояніе отъ средины цапфы кривошипа до средины шейки оси.

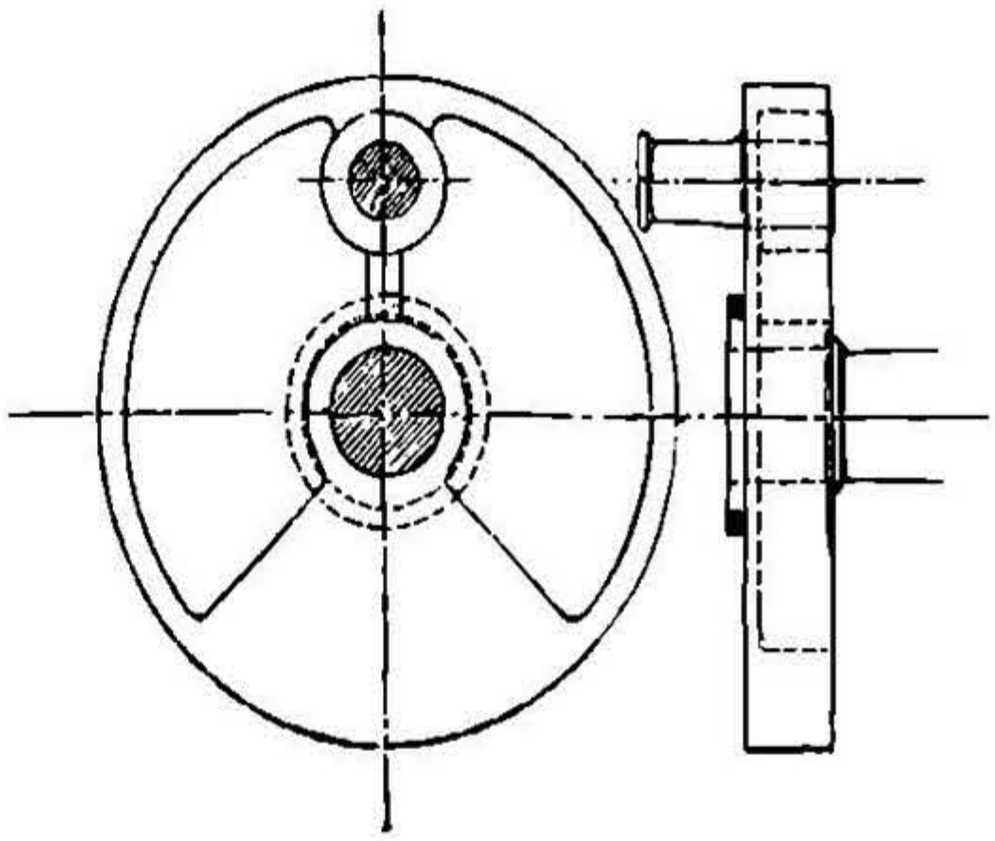
Черт. 401.



Чдрт. 402.



Черт. 403.



Примѣры кривошиповъ: черт. 401 изображаетъ желѣзный концевой кривошипъ; черт. 402—такой же кривошипъ съ противовѣсомъ; черт. 403—дисковый чугунный кривошипъ съ противовѣсомъ.

b. Колѣнчатый валъ (черт. 404, стр. 548) *).

На **цапфу** кривошипа d дѣйствуетъ изгибающій моментъ $P_1 a_1 = P_2 a_2$, причемъ:

$$P_1 = P\frac{a_2}{a_1 + a_2};\quad P_2 = P\frac{a_1}{a_1 + a_2};\ \text{для } a_1 = a_2:\quad P_1 = P_2 = \frac{P}{2}.$$

Діаметръ d цапфы получается по изгибающему моменту:

$$P_1 a_1 = P_2 a_2 = k_b \frac{\pi}{32} d^3 \backsim 0{,}1\, k_b\, d^3$$

и наибольшему давленію на подшипникъ:

$$k \leqq 60 \text{ kg/qcm} \qquad \text{(см. стр. 489).}$$

Цапфы (шейки) D_1 и D_2 вала должны быть разсчитаны по передаваемымъ крутящимъ моментамъ и моменту, изгибающему цапфу

*) Графическое опредѣленіе напряженій въ одно- и двухколѣнчатомъ валѣ въ различныхъ случаяхъ см. Рело, Der Koustrukteur, изд. 4, стр. 423 и слѣд.; Braunschweig 1882/89.

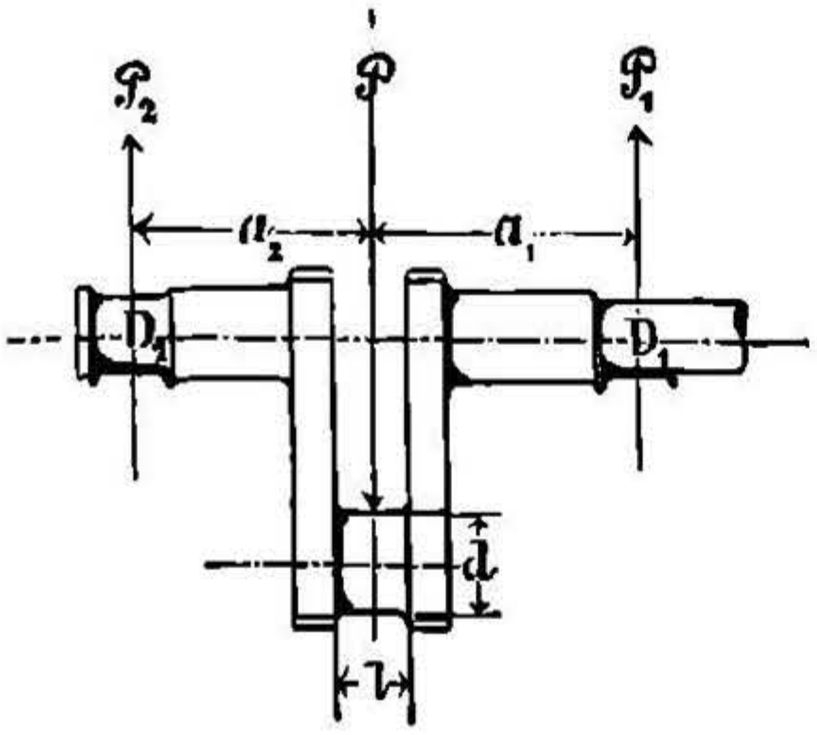
НТБ ДНУЗТ

относительно средины шейки, и давленію на подшипникъ $k < 20$ kg/qcm, лучше 12 до 15 kg (въ зависимости отъ скорости см. стр. 489).

Діаметры обѣихъ цапфъ принимаются равными между собою = наибольшему діаметру D_1 и D_2, полученному разсчетомъ.

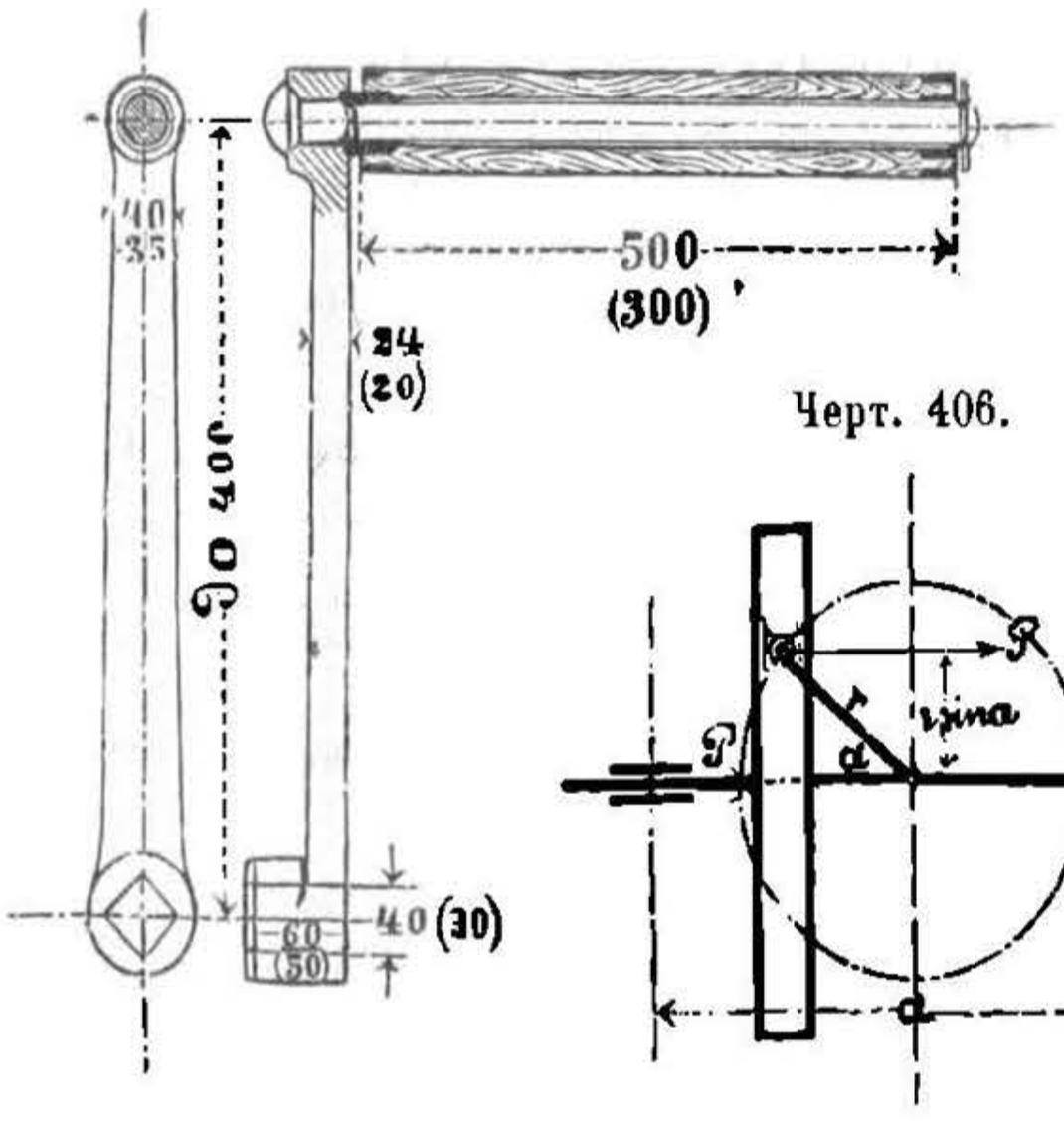
c. Рукоятки (ручные кривошипы).

Черт. 404.

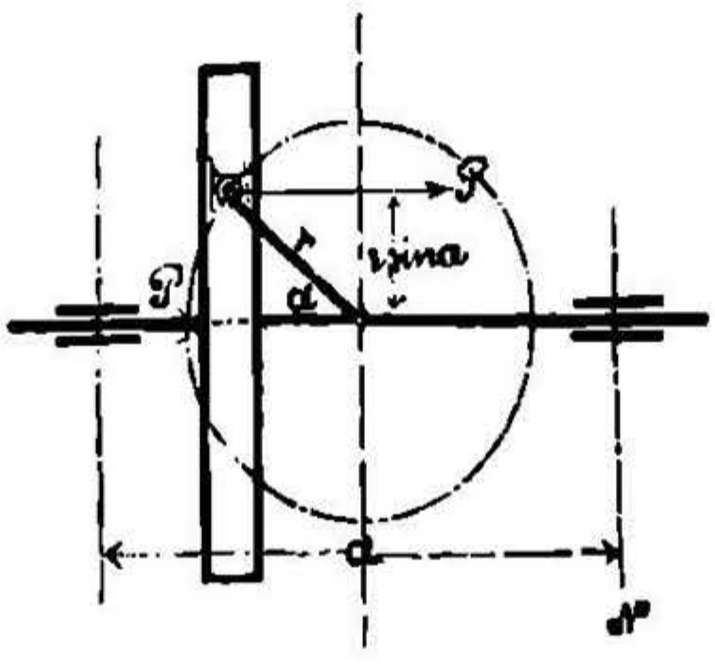


Радіусъ рукоятки = 35 до 40 cm; валъ рукоятки помѣщается на высотѣ ~1 m отъ пола или платформы для рабочаго. На черт. 405 изображена обыкновенная рукоять, причемъ большіе размѣры принимаются въ случаѣ дѣйствія 2-хъ рабочихъ; меньшіе, заключенные въ скобкахъ,— въ случаѣ дѣйствія одного рабочаго. Діаметръ вращающейся деревянной ручки или газовой трубы 40 до 50 mm, стержень ея 26 (17) mm. Діаметръ вала рукоятки 40 (30) mm; длина втулки 60 (45) mm. Давленіе на рукоятку отъ одного рабочаго въ среднемъ 10 до 15 kg (иногда до 20 kg). Скорость на окружности 0,5 до 1,0 m въ сек. Безопасныя рукоятки см. стр. 529.

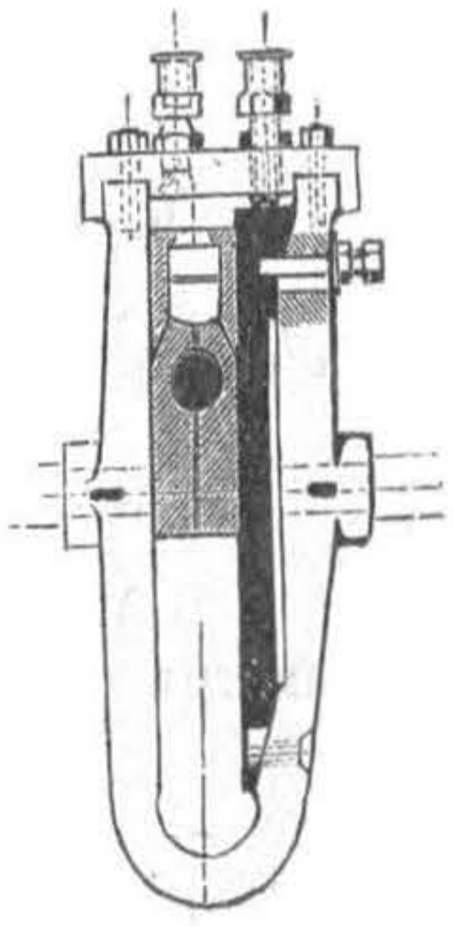
Черт. 405.



Черт. 406.



Черт. 407.



d. Кривошипъ съ кулиссою (безъ шатуна) (черт. 406).

Путь, проходимый поршнемъ, въ m: $x = r\ (1 - \cos \alpha)$.

Давленіе на направляющія въ kg:

$$N = \frac{P\, r \sin \alpha}{a} \text{ (очень велико).}$$

НТБ ДНУЗТ

Потеря работы при одномъ оборотѣ въ mkg:

$$A_r = 2\,P\,\mu \int_a^{r^2} \pi + 4\,P\mu r.$$

Отношеніе: $\frac{\text{потерянной работы}}{\text{ко всей работѣ}} = \frac{A_r}{A} = 0{,}2$ до $0{,}3$ (очень велико).

Кривошипъ съ кулиссою примѣняется, вслѣдствіе небольшого мѣста, имъ занимаемаго, въ небольшихъ машинахъ, главнымъ образомъ въ паровыхъ насосахъ прямого дѣйствія. На черт. 407 изображено приспособленіе для установки направляющей полосы.

c. Эксцентрики.

Ширина b (въ cm), т.-е. длина цапфы, вмѣсто которой ставится эксцентрикъ, должна удовлетворять условію:

$$b \geqq \frac{P\,n}{w} \text{ (см. уравненіе IV, стр. 490),}$$

гдѣ:

P среднее давленіе на эксцентрикъ въ kg,

n число оборотовъ эксцентрика въ минуту,

w число, полученное изъ опыта; w тѣмъ больше, чѣмъ меньше коэффиціентъ тренія и чѣмъ лучше отводится теплота. Въ среднемъ можно принимать:

$w = 10000$ для литого желѣза или стали (матеріалъ скобы) по чугуну (матеріалъ эксцентрика),

$w = 20000$ для бѣлаго металла (вкладышъ скобы) по чугуну.

Для паровозныхъ эксцентриковъ, подверженныхъ сильному движенію воздуха, можно w выбирать больше, чѣмъ въ обыкновенныхъ случаяхъ.—Далѣе:

d наибольшій діаметръ эксцентрика въ cm (см. черт. 408),

D діаметръ вала въ cm,

s наименьшая толщина втулки эксцентрика въ cm,

x толщина обода въ cm, соотвѣтственно высотѣ заплечика цапфы діаметромъ D_0 (см. ниже и стр. 489).

ϱ эксцентриситетъ въ cm.

Имѣемъ: $d = D + 2\,s + 2\,x + 2\,\varrho.$

Если D_0 діаметръ вала (въ cm), соотвѣтствующій передаваемому крутящему моменту $M_d = Pr = 0{,}2\,k_d\,D_0^3$ (см. стр. 398), то для чугунныхъ эксцентриковъ можно выбирать:

$s = 0{,}2\,(D_0 + {}^1/_2\,D) + 0{,}5$ cm до $s = 0{,}25\,(D_0 + {}^1/_2\,D) + 0{,}5$ cm.

Эксцентрикамъ изъ литого желѣза или изъ стали придаютъ толщину стѣнки s, меньшую на $20—30\,{}^0/_0$.

Работа давленія эксцентрика P (въ cmkg) въ теченіе одного оборота: $A = P.4\,\varrho,$

потеря работы, вслѣдствіе тренія эксцентрика, въ теченіе одного оборота: $A_1 = P\,\mu_1\,\pi\,d,$

потеря работы, вслѣдствіе тренія вала, въ теченіе одного оборота: $A_2 = P\mu'_1\,\pi\,D,$

НТБ ДНУЗТ

коэффиціентъ полезнаго дѣйствія:

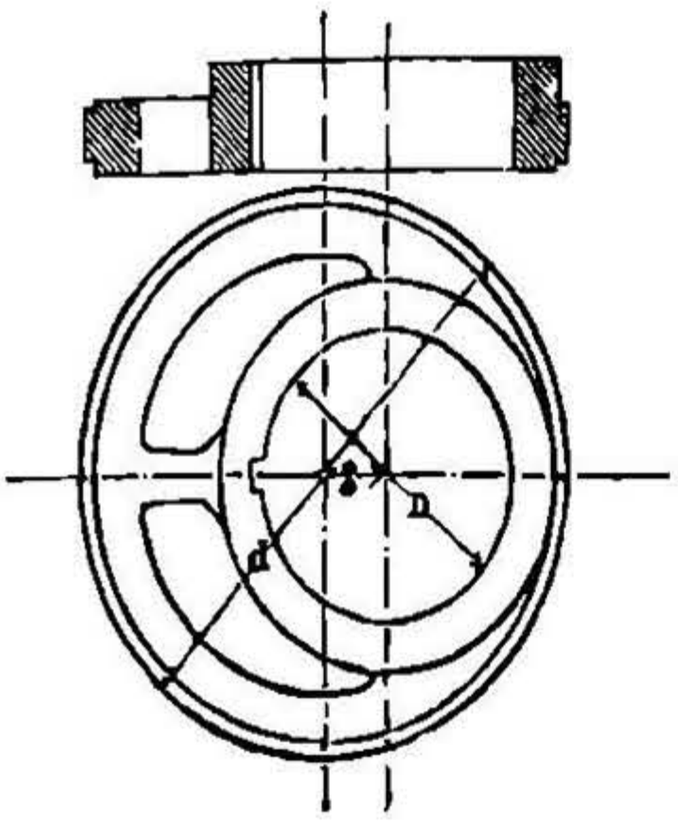
$$\eta = \frac{A}{A + A_1 + A_2} = \frac{1}{1 + \mu_1 \frac{\pi}{4} \frac{d}{\varrho} + \pi_1' \frac{\mu}{4} \frac{D}{\varrho}};$$

напр., при $\varrho = 60$ mm, $D = 200$ mm, $d = 400$ mm, $\mu_1' = \mu_1 = 0{,}06$, имѣемъ $\eta = 0{,}68$.

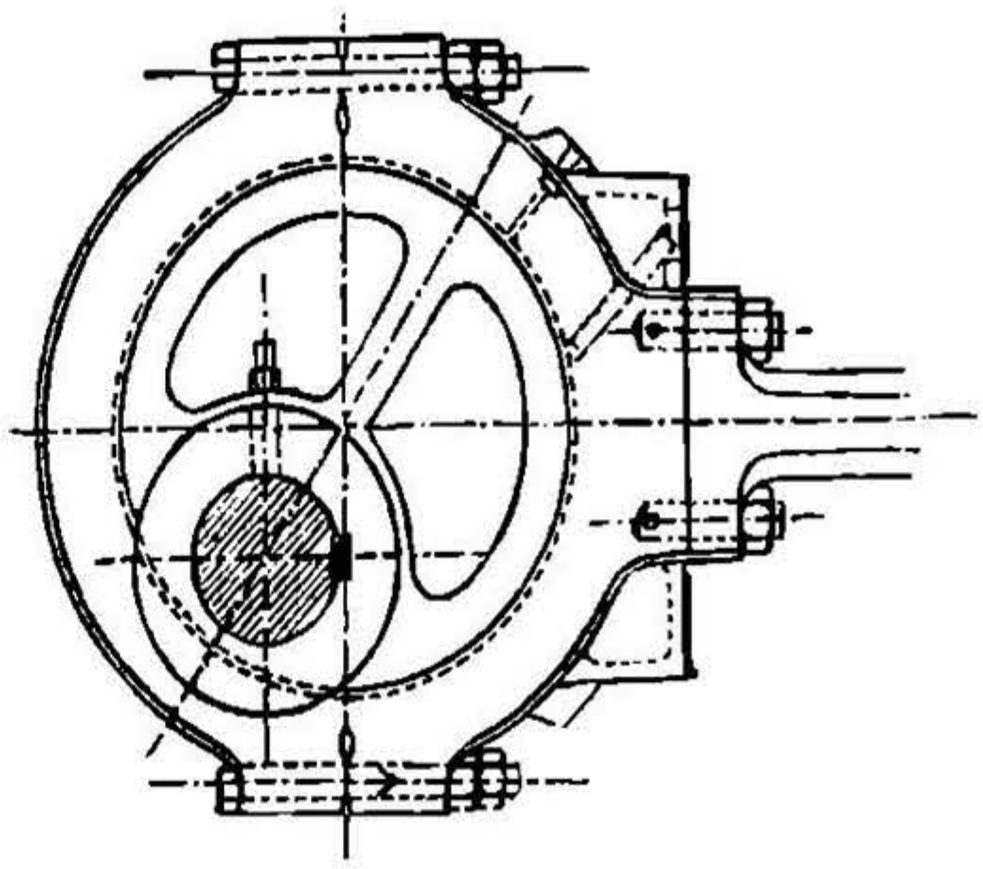
Шпонки для укрѣпленія эксцентриковъ на валу можно выбирать по табл. стр. 465. Рекомендуется выбирать длинныя втулки, съ цѣлью правильной насадки эксцентриковъ.

Примѣры эксцентриковъ: черт. 408 и 409. Эксцентриковыя шайбы (диски) изготовляются составными, изъ 2-хъ частей (у двухцилиндровыхъ машинъ или въ томъ случаѣ, когда валъ въ томъ мѣстѣ гдѣ сидятъ эксцентрики, тоньше), съ тѣмъ, чтобы имѣть возможность предварительно насадить кривошипы въ горячемъ состояніи на валъ.

Черт. 408.



Черт. 409.



D. Шатуны.

a. Стержни шатуновъ.

Обозначимъ черезъ:

P наибольшее значеніе силы, дѣйствующей по шатуну, въ kg,
L длину шатуна отъ центра пальца кривошипа до центра цапфы ползуна въ cm,
J наименьшій экваторіальный моментъ инерціи сѣченія шатуна въ срединѣ, въ cm^4,
E модуль упругости матеріала шатуна въ kg/qcm,
$\mathfrak{S}$ коэффиціентъ безопасности противъ продольнаго изгиба (стр. 348 и 349),
r радіусъ кривошипа въ cm,
n число оборотовъ въ минуту.

НТБ ДНУЗТ

1. Шатуны для малыхъ и среднихъ скоростей.

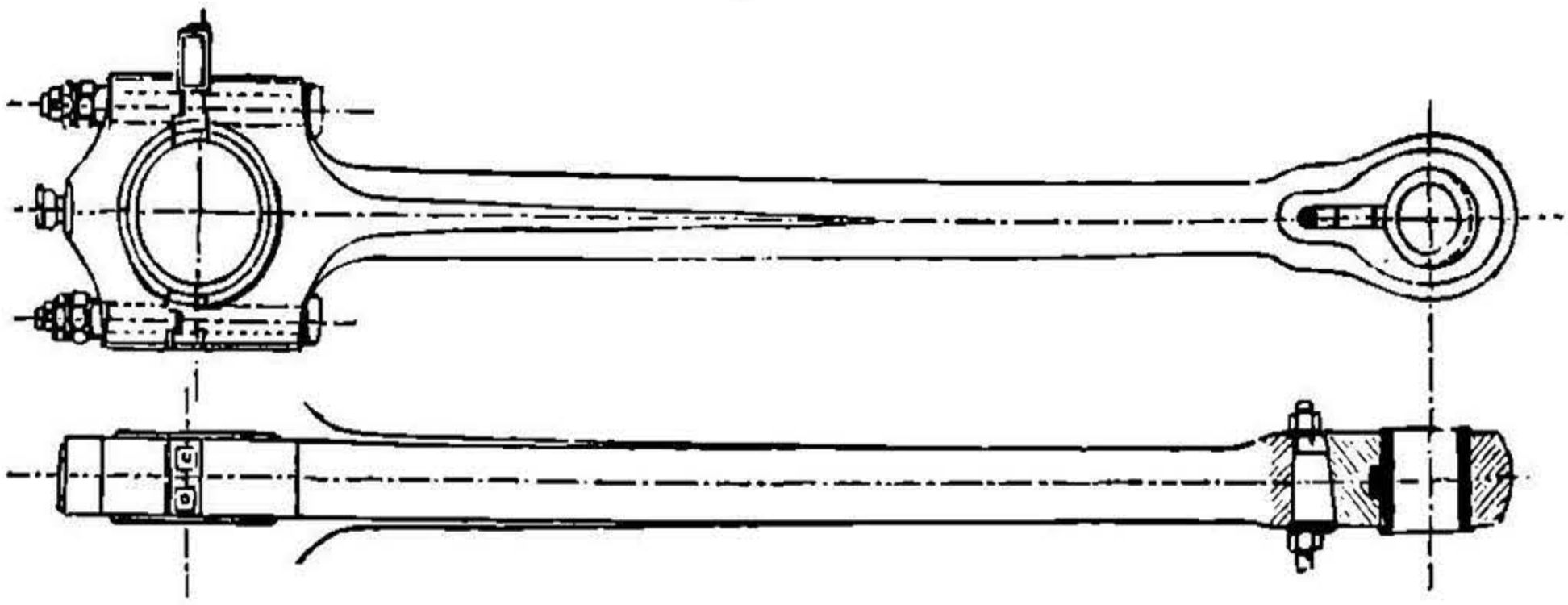
1. **Шатуны съ круглымъ поперечнымъ сѣченіемъ** (діаметромъ d_m въ срединѣ):

$$P = \frac{\pi^2}{\mathfrak{S}} E \frac{J}{L^2} \sim 40000 \frac{d_m^4}{L^2} \text{ (случ. 2, стр. 347),}$$

гдѣ $\mathfrak{S} = 25$, $E = 2000000$ kg/qcm.

Діаметръ шатуна у кривошипа уменьшается до $0{,}8\ d_m$, а у крестовины до $0{,}7\ d_m$.

Черт. 410.



При большихъ цапфахъ кривошипа (напр., въ колѣнчатыхъ валахъ) увеличиваютъ сѣченіе шатуна по направленію къ кривошипной головкѣ (въ отношеніи до 1 : 1,3), или поступаютъ, какъ показано на черт. 410. Въ тихоходныхъ машинахъ слѣдуетъ принимать $\mathfrak{S}$ до 33; при перемѣнѣ направленія силы P, сопровождающейся ударами (возможными, напр., въ насосахъ) $\mathfrak{S}$ должно быть 40 до 60 и больше.

2. **Шатуны съ прямоугольнымъ поперечнымъ сѣченіемъ** (шириною b cm и высотою $h = 1{,}75\,b$ до $2\,b$ cm въ срединѣ):

$$P = \frac{\pi^2}{\mathfrak{S}} E \frac{1}{12} \frac{b^3 h}{L^2},$$

откуда, при $\mathfrak{S} = 15$, $h = 1{,}8\,b$, $E = 2\,000\,000$ kg/qcm:

для сварочнаго желѣза $P = 200000 \frac{b^4}{L^2}$;

а при $\mathfrak{S} = 15$, $h = 1{,}5\,b$, $E = 120000$ kg/qcm (см. стр. 349):

для дерева $P = 10\,000 \frac{b^4}{L^2}$.

Высоты сѣченій у головокъ $1{,}2\,h$ и $0{,}8\,h$; ширина b—постоянная.

2. Шатуны для большихъ скоростей.

Примѣромъ этихъ шатуновъ служатъ шатуны **паровозные** (см. ч. II, желѣзнодорожное дѣло). При прямоугольномъ поперечномъ сѣченіи, шириною b и высотою h cm, имѣемъ для:

НТБ ДНУЗТ

$$\mathfrak{S} = {}^{20}/_{3} \text{ до } {}^{10}/_{3}, \quad h = 2\,b, \quad E = 2000000 \text{ kg/qcm:}$$

$$P = 500000\,\frac{b^4}{L^2} \text{ до } 1000000\,\frac{b^4}{L^2}.$$

При быстромъ переходѣ отъ растяженія къ сжатію не можетъ произойти измѣненій въ формѣ сѣченія шатуна; это обстоятельство позволяетъ принимать меньшую величину $\mathfrak{S}$ и получить возможно легкій шатунъ.

Для уменьшенія вѣса употребляются иногда шатуны двутаврового поперечнаго сѣченія.

Разсчетъ **сцѣпныхъ шатуновъ** у паровозовъ дѣлается въ томъ предположеніи, что движущая сила ведущаго шатуна распредѣляется поровну на всѣ три сцѣпленныя оси. Вышеприведенная большая величина коэффиціента $\mathfrak{S}$ $(= {}^{20}/_{3})$ служитъ достаточною гарантіею прочности даже на случай скольженія одной изъ сдвоенныхъ осей.

Всѣ шатуны должны удовлетворять, слѣд. условію прочности:

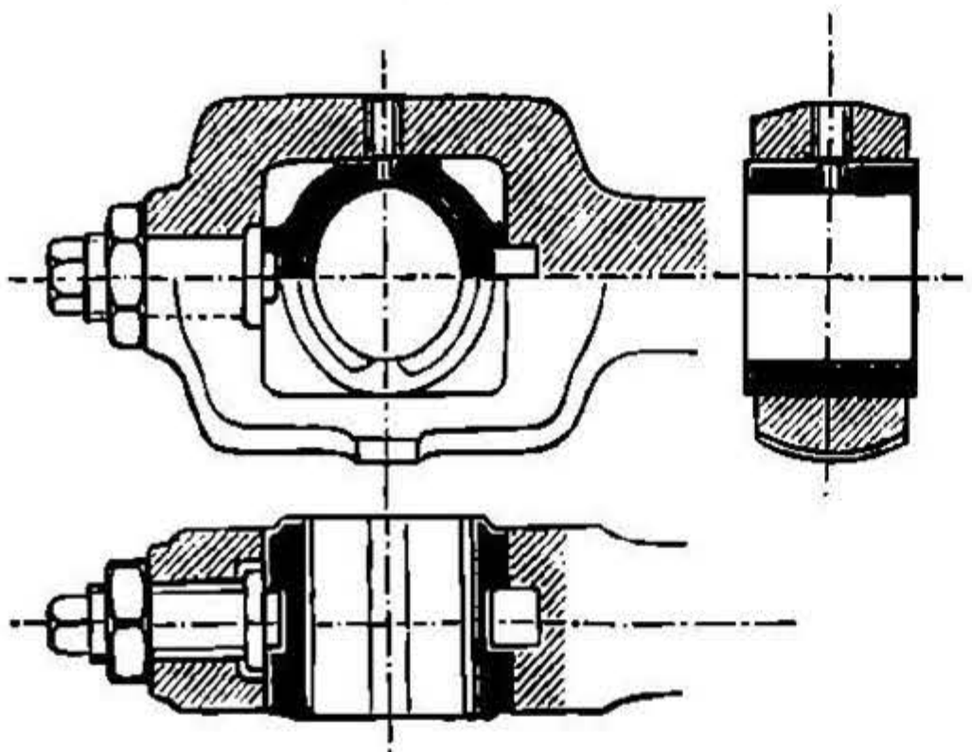
для **желѣза**
$$\frac{P}{b\,h} + \frac{1}{30}\left(\frac{n}{1000}\right)^2 \frac{L^2\,r}{h} \leqq 400 \text{ kg/qcm},$$

для **литой стали:**
$$\frac{P}{b\,h} + \frac{1}{30}\left(\frac{n}{1000}\right)^2 \frac{L^2\,r}{h} \leqq 500 \text{ kg/qcm}.$$

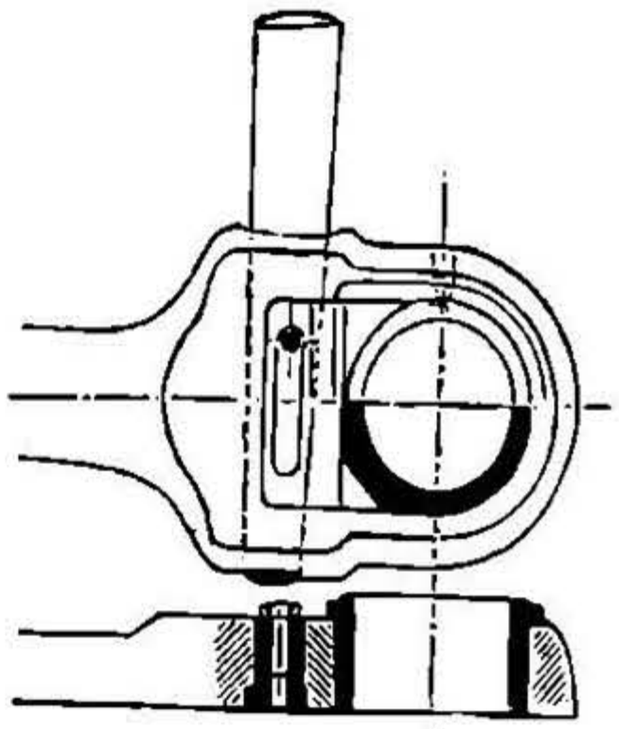
b. Головки шатуновъ.

Головка, охватывающая **цапфу кривошипа**, сомкнутая (черт. 411, 412, 413, 418, 419)—установка посредствомъ нажимного винта

Черт. 411.



Черт. 412.

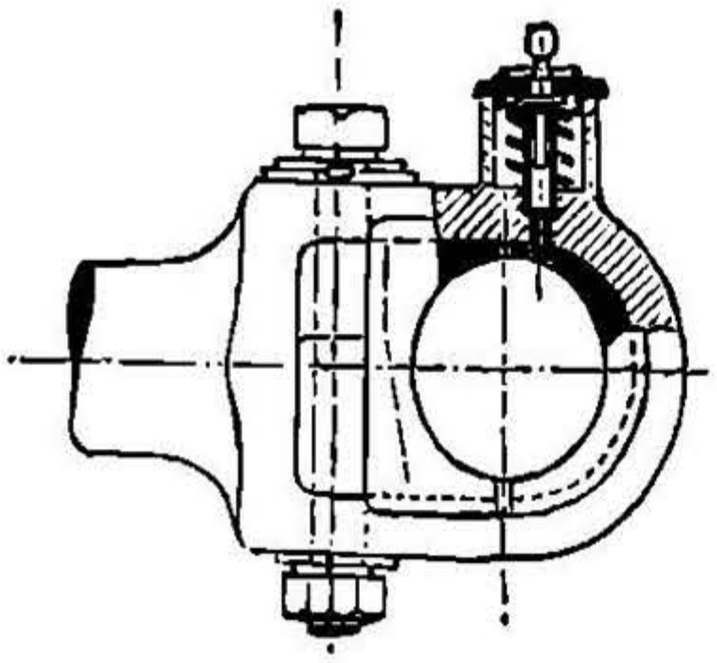


(черт. 411 и 419) или помощью клина (черт. 412, 413 и 418)—или открытая, вродѣ подшипника, по черт. 417 и 420, или со скобой, по черт. 421.—Въ зависимости отъ конструкціи **крейцкопфа**, относящаяся къ нему головка шатуна выполняется вродѣ подшипника (черт. 416 и 420) или вилкообразною, причемъ крейцкопфный болтъ закрѣпленъ въ головкѣ шатуна (черт. 418 и 421), или вращается въ ней (черт. 420 сверху). Установительныя приспособленія въ двухъ головкахъ одного шатуна должны быть такъ

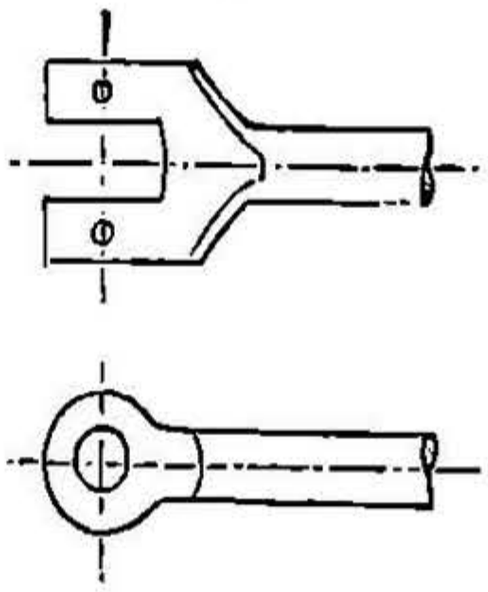
НТБ ДНУЗТ

устроены, чтобы длина шатуна L отъ средины до средины цапфъ оставалась неизмѣнной (см. шатунъ пароходной машины черт. 420

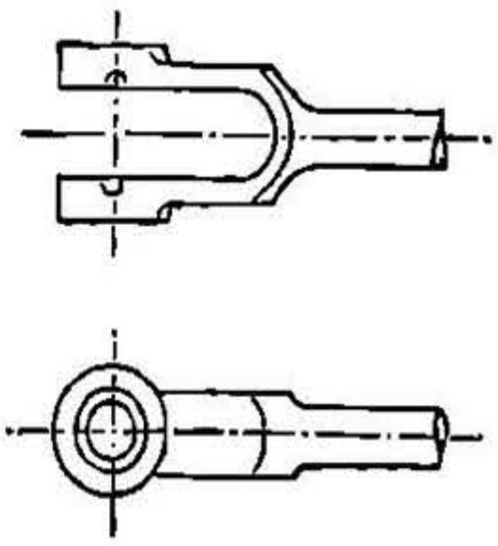
Черт. 413.



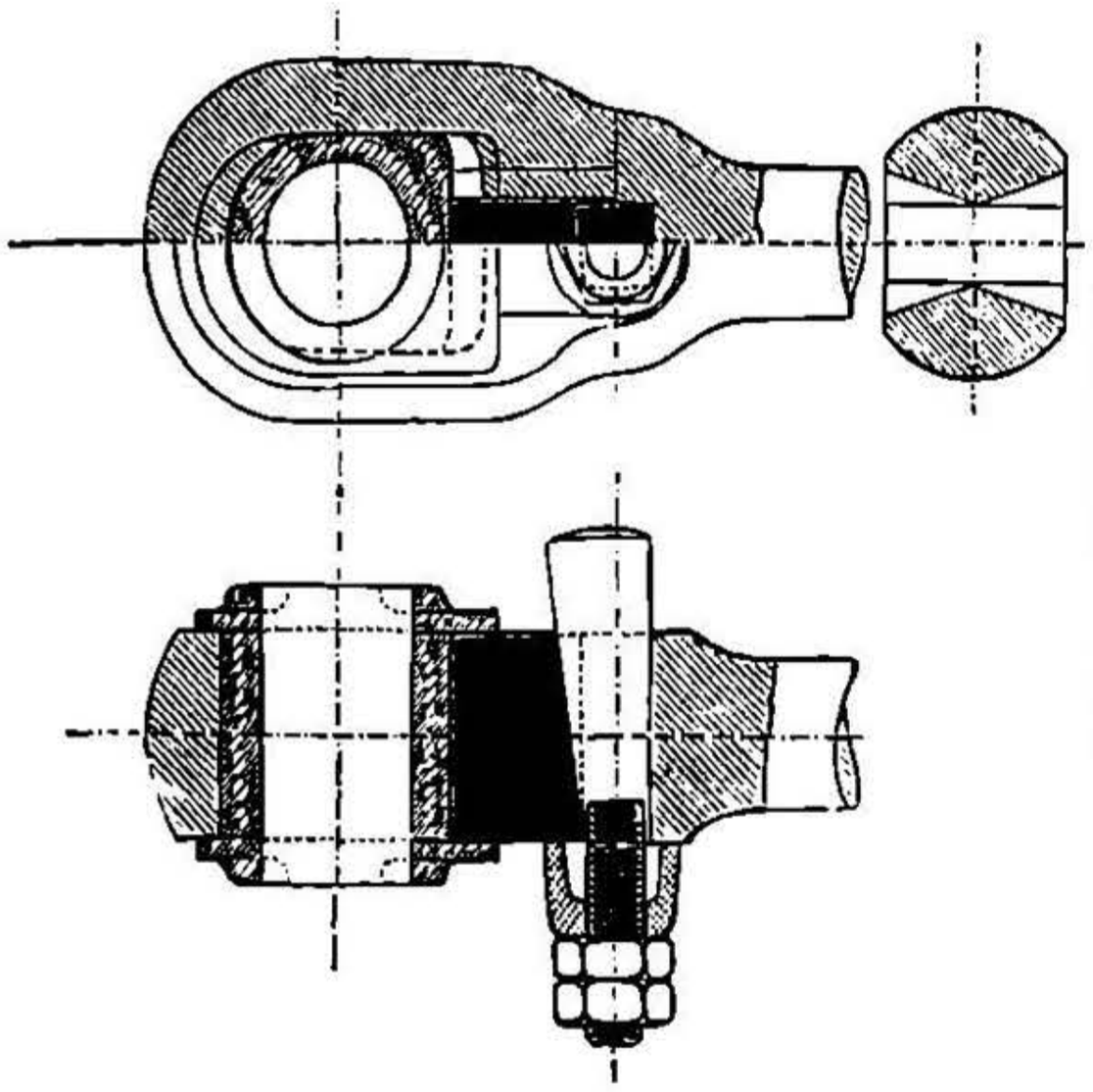
Черт. 414.



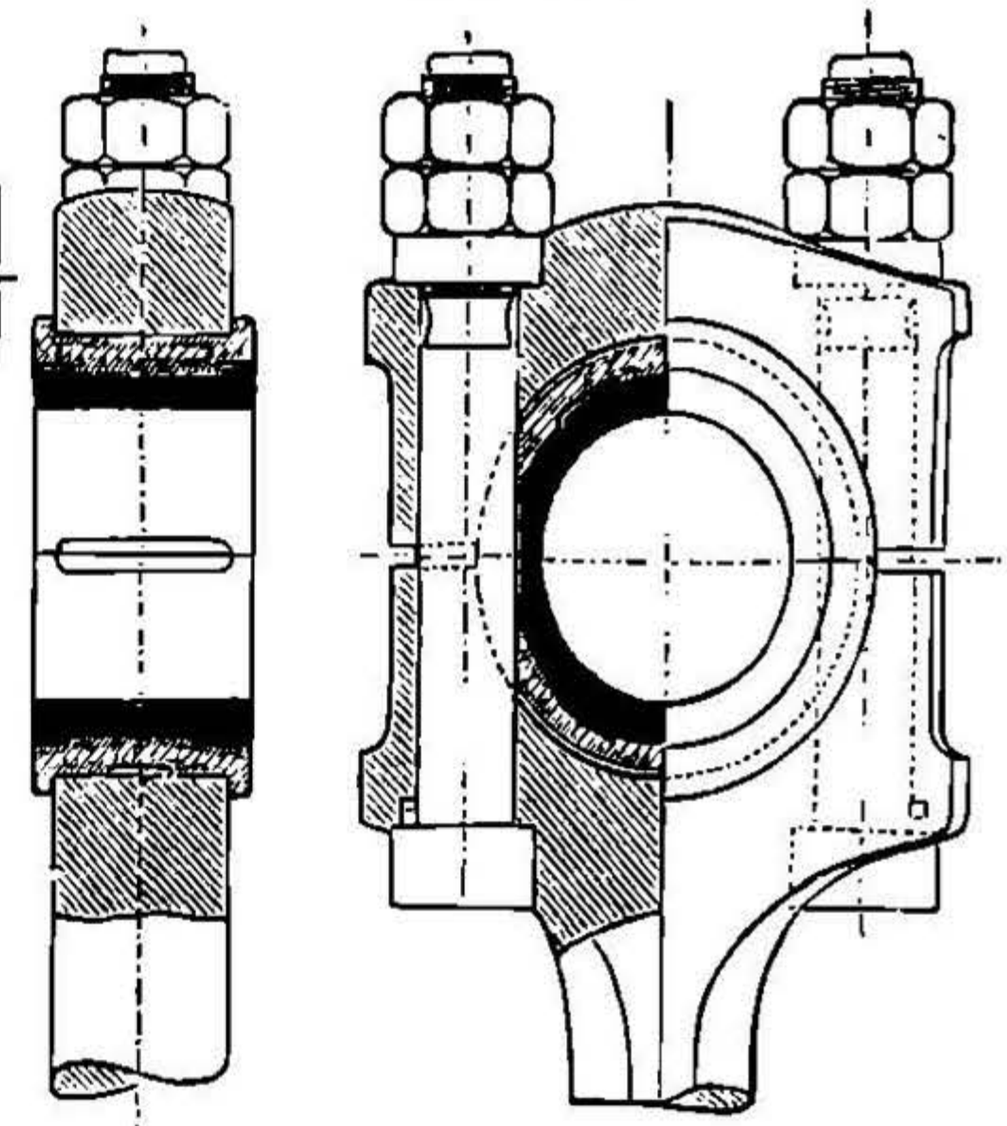
Черт. 415.



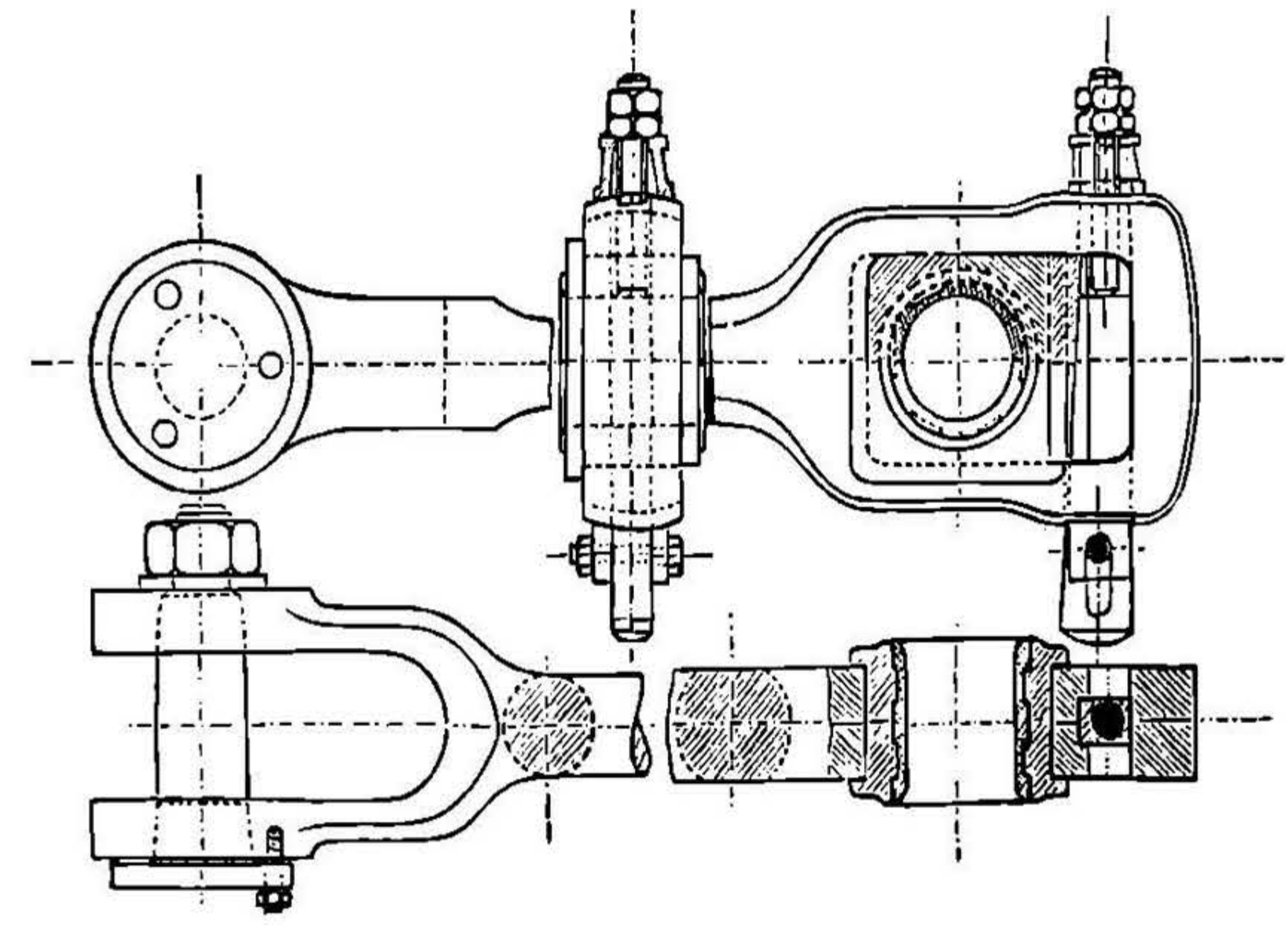
Черт. 416.



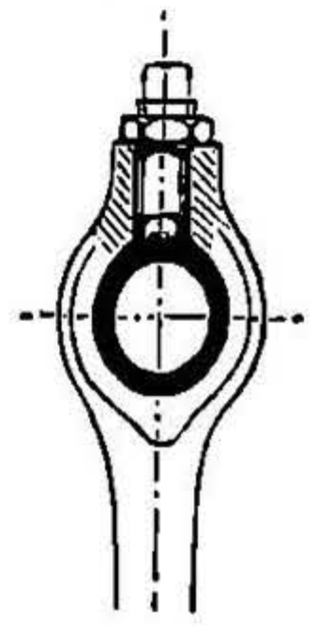
Черт. 417.



Черт. 418.



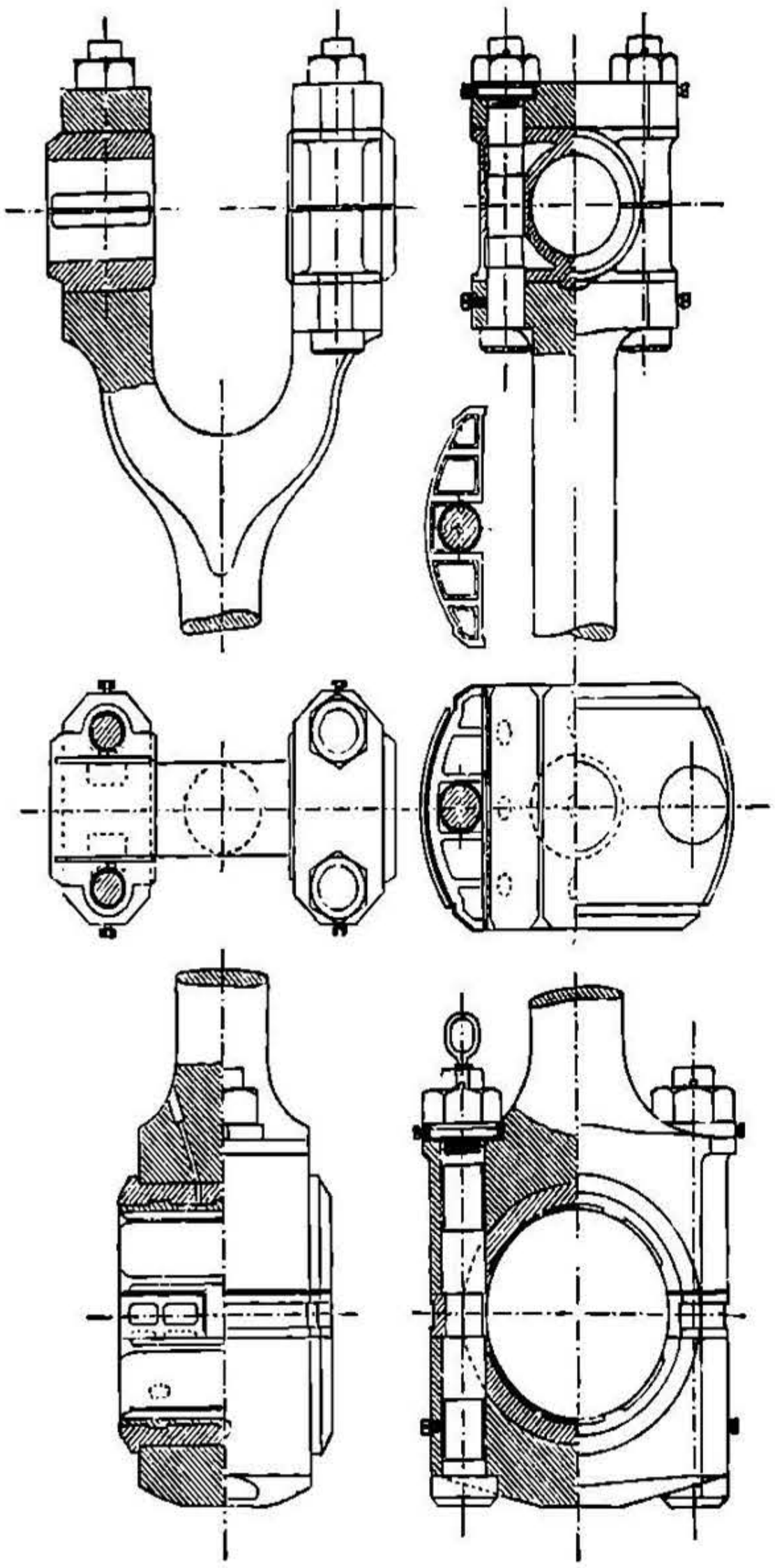
Черт. 419.



НТБ ДНУЗТ

а также парныя головки машины Зульцера, черт. 417 и 425, стр. 553 и 556). Это условіе не всегда соблюдается.

Черт. 420.



Опредѣливъ діаметръ стержня d_m по условію.

$$P = 40000 \frac{m}{L^2}, \text{ откуда } d_m = 10{,}5 \text{ cm},$$

намѣчаютъ приблизительно размѣры **лѣвой головки** шатуна, а затѣмъ надежность этихъ размѣровъ провѣряется;

принимая, напр.: $a_1 = 4$ cm, $a = 4{,}6$ cm, $a_2 = 10$ cm, получимъ $a_3 = 2{,}7$ cm.

Напряженіе въ сѣченіи AB есть результатъ перемѣннаго растяженія и сжатія силою $^1/_2 P$ и изгиба моментомъ $^1/_2 P\,(^1/_2 a - z)$, гдѣ z разстояніе центра тяжести сѣченія въ cm.

Напр., для средней высоты сѣченія $= 3{,}3$ cm и

$$\frac{a}{2} - z = \frac{4{,}6}{2} - \frac{3{,}3}{2} = 0{,}65 \text{ cm},$$

нормальное напряженіе отъ растяженія или сжатія будетъ:

$$\sigma_1 = \frac{3900}{10 \cdot 3{,}3} = 118 \text{ kg/qcm},$$

Примѣръ разсчета шатуна (черт. 421).

$P = 7800$ kg; $n = 40$; $L = 250$ cm.

Цапфа кривошипа (изъ литой стали) разсчитывается по стр. 488 — 489; при $k_b = 500$ kg/qcm, $k = 60$ kg/qcm, имѣемъ: $d = 10$ cm, $l = 13$ cm (поэтому $b = 11{,}6$ cm).

Цапфа крестовины (изъ литой стали): при $k = 80$ kg/qcm, $l_1 = 1{,}5\, d_1$ имѣемъ:

$d_1 \backsim 8$ cm; $l_1 = 12$ cm.

Толщина клина:

$$s_3 = {}^1/_4\, b \backsim 3 \text{ cm}.$$

По $s_3 s_4 k = 0{,}5\, P$, при давленіи $k = 450$ kg/qcm между скобой и клиномъ, имѣемъ:

$$s_4 = 3 \text{ cm}.$$

Толщина желѣзной скобы s_5 опредѣляется по условію сопротивленія скобы изгибу, а именно:

$$\frac{P}{2} x = k_b \frac{b s_5^2}{6},$$

откуда при $k_b = 600$ kg/qcm и $x = 4{,}4$ cm:

$$s_5 = 3{,}8 \text{ cm}.$$

Средняя высота клина s_6, подверженнаго изгибу, опредѣляется по

$$\frac{1}{3} \frac{P}{2} x = k_b \frac{s_3 s_6^2}{6},$$

откуда при $k_b = 1000$ kg/qcm (литая сталь):

$$s_6 = 3{,}4 \text{ cm}.$$

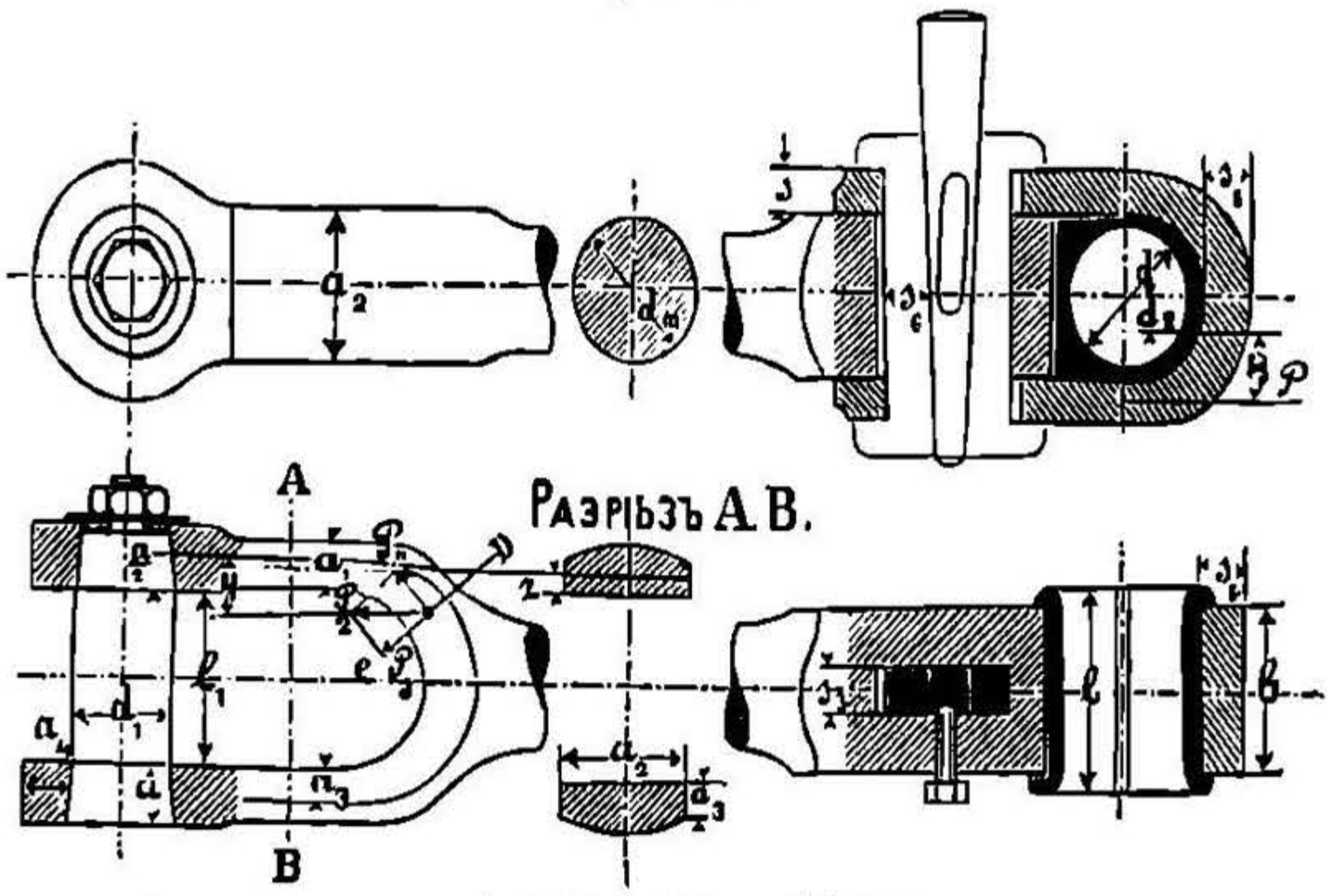
Если клинъ укрѣпляется винтомъ, то tg половины угла при вершинѣ клина принимается въ 1 : 20, такъ что при опусканіи клина на 8 cm вкладыши подшипника сближаются на 0,8 cm.

НТБ ДНУЗТ

а напряженіе отъ изгиба:

$$\sigma_2 = \frac{3900 \cdot 0{,}65}{^1/_6 \cdot 10 \cdot 3{,}3^2} = 140 \text{ kg/qcm.}$$

Черт. 421.



Общее наибольшее напряженіе $118 + 140 = 258$ kg/qcm, тогда какъ для желѣза можно безопасно допускать 300 kg/qcm (см. III, таблица на стр. 341).

Принявъ поэтому: $a_1 = 3{,}6$ cm, $a = 4{,}2$ cm, $a_2 = 10$ cm, получимъ:

$$\sigma_1 + \sigma_2 = 135 + 180 = 315 \text{ kg/qcm,}$$

что еще можетъ быть допущено.

Сѣченіе CD подвержено дѣйствію срѣзывающей силы P_s (ею можно пренебречь), нормальной силы P_n и изгибающаго момента $^1/_2 P y$.

Для нашего примѣра:

$$P_n = 2250 \text{ kg}, \qquad y = 3{,}6 \text{ cm}, \qquad ^1/_2 P y = 3900 \cdot 3{,}6,$$

и потому: $\sigma_1 + \sigma_2 = 331$ kg/qcm,

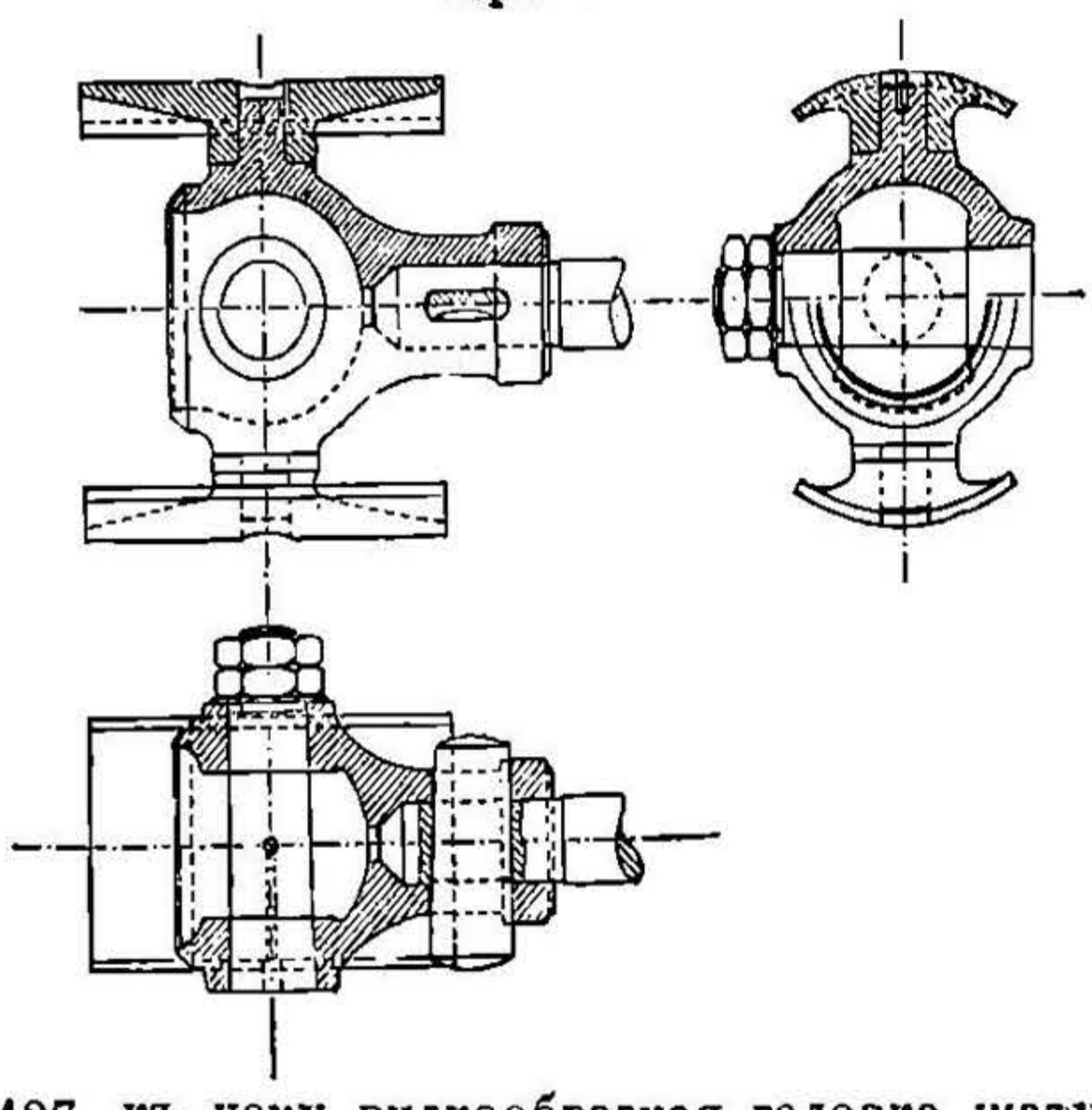
а это напряженіе можетъ быть безопасно допущено.

a_3 опредѣляется по: $\frac{P}{2} \frac{d_1 + a_4}{8} = k_b \frac{a a_4^2}{6}$,

для $k_b = 600$ kg/qcm: $a_3 = 3{,}7$ cm.

E. Крестовины (кулаки, крейцкопфы).

Черт. 422.

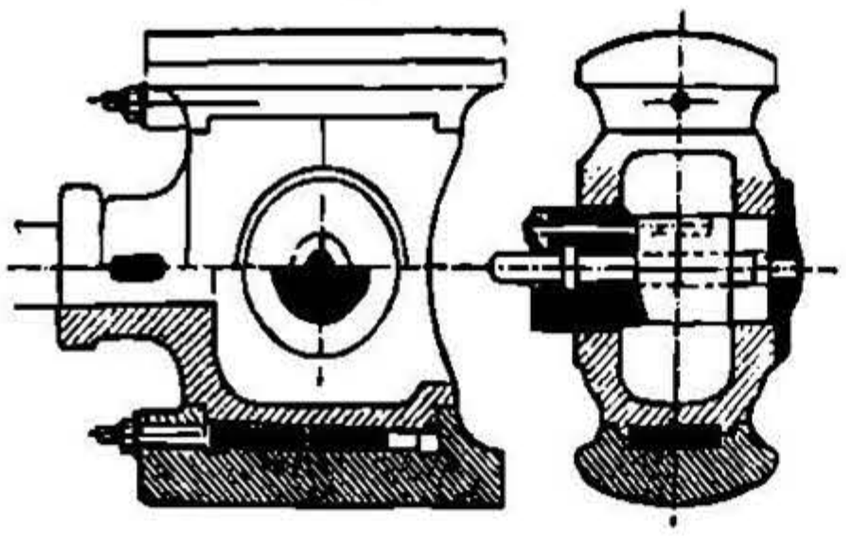


Примѣнявшаяся раньше почти исключительно конструкція, при которой въ вилкообразномъ крейцкопфѣ закрѣпленъ крейцкопфный болтъ (черт. 422, 423 и 424), все болѣе вытѣсняется противоположной конструкціей: крейцкопфъ исполненъ въ видѣ подшипника (черт. 425 и 426), а шатунъ—вилкообразный. Для судовыхъ машинъ наиболѣе употребительный по черт. 427, къ нему вилкообразная головка шатуна черт. 420 (вверху);

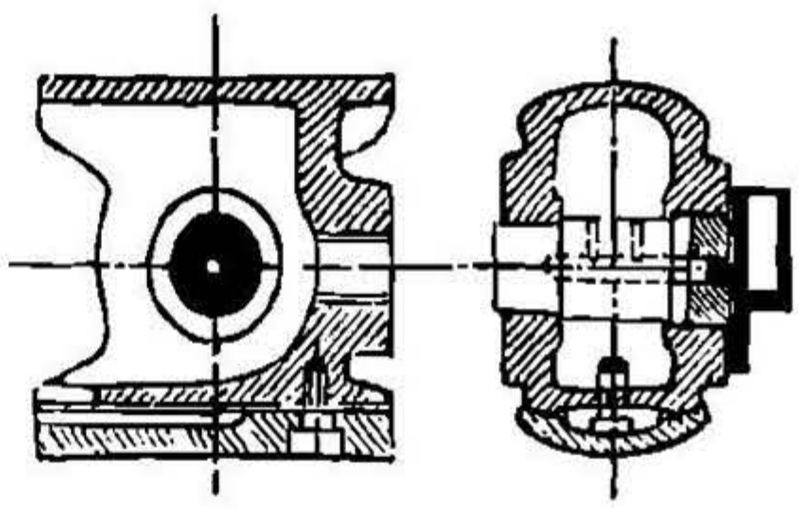
НТБ ДНУЗТ

для быстроходныхъ машинъ часто стержень и крейцкопфъ изъ одного куска (черт. 426, крейцкопфъ вертикальной паровой машины).

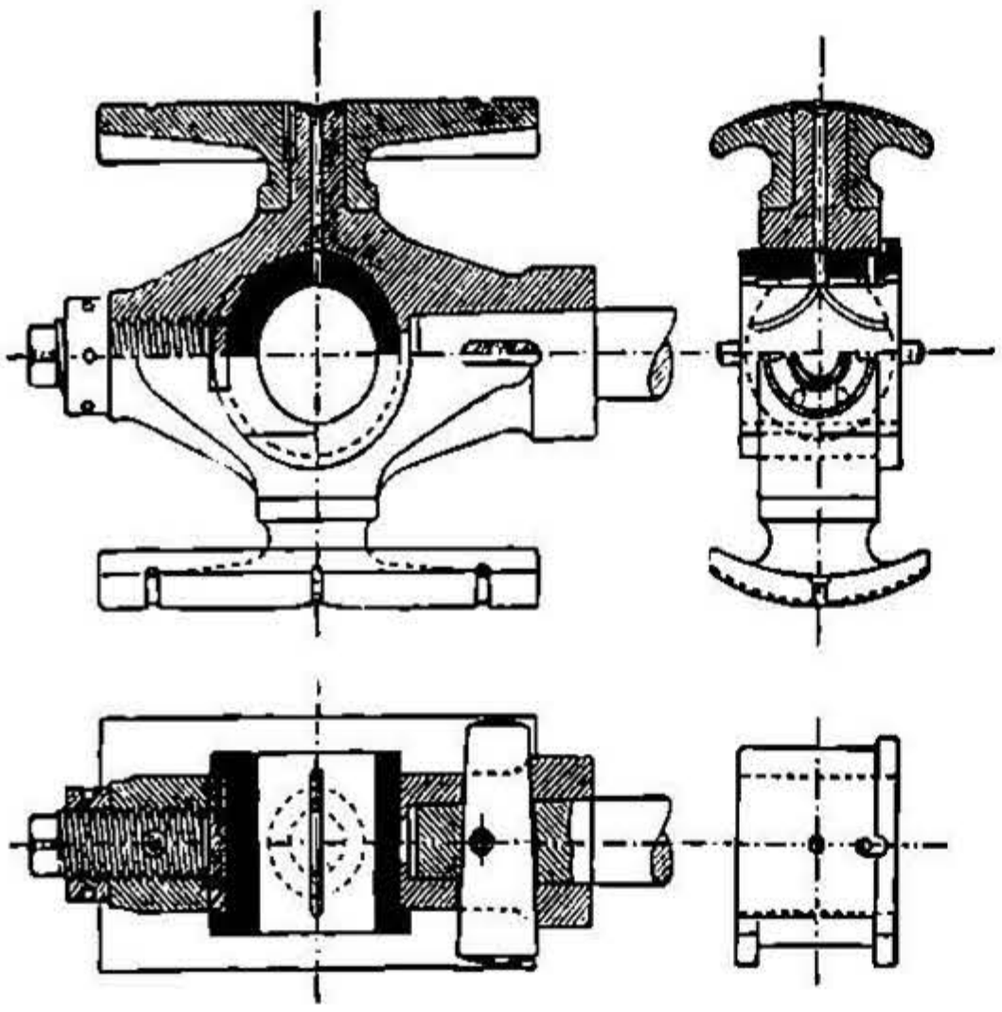
Черт. 423.



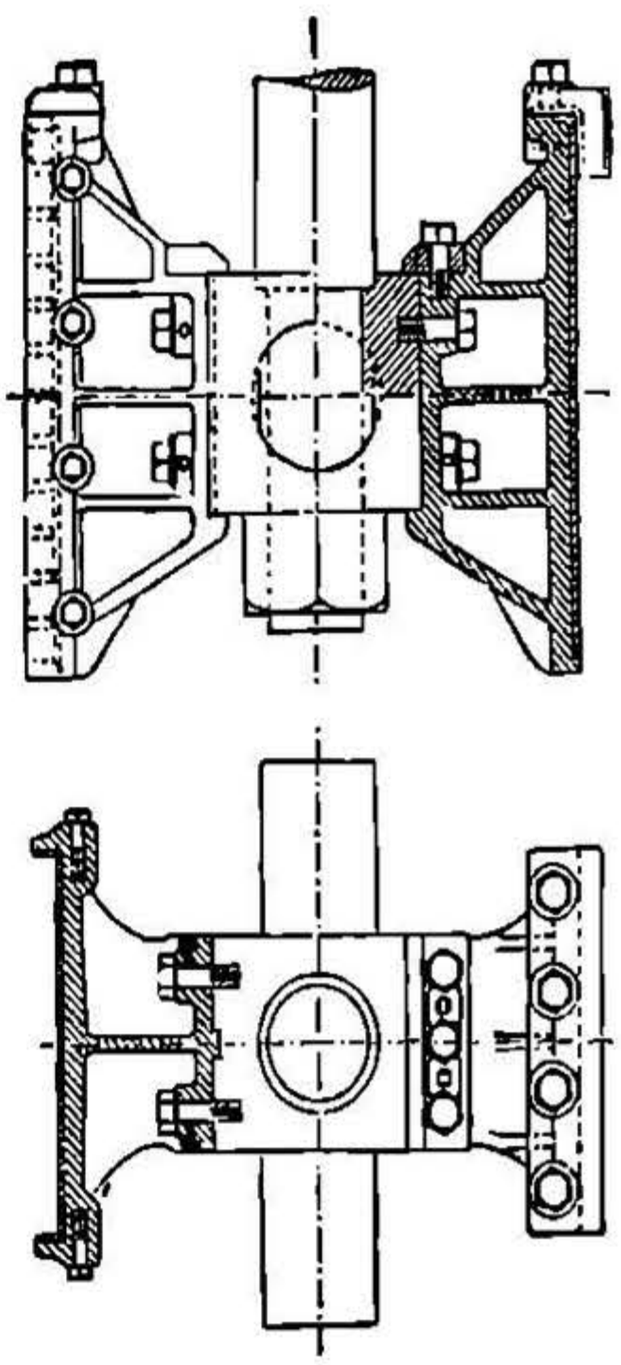
Черт. 424.



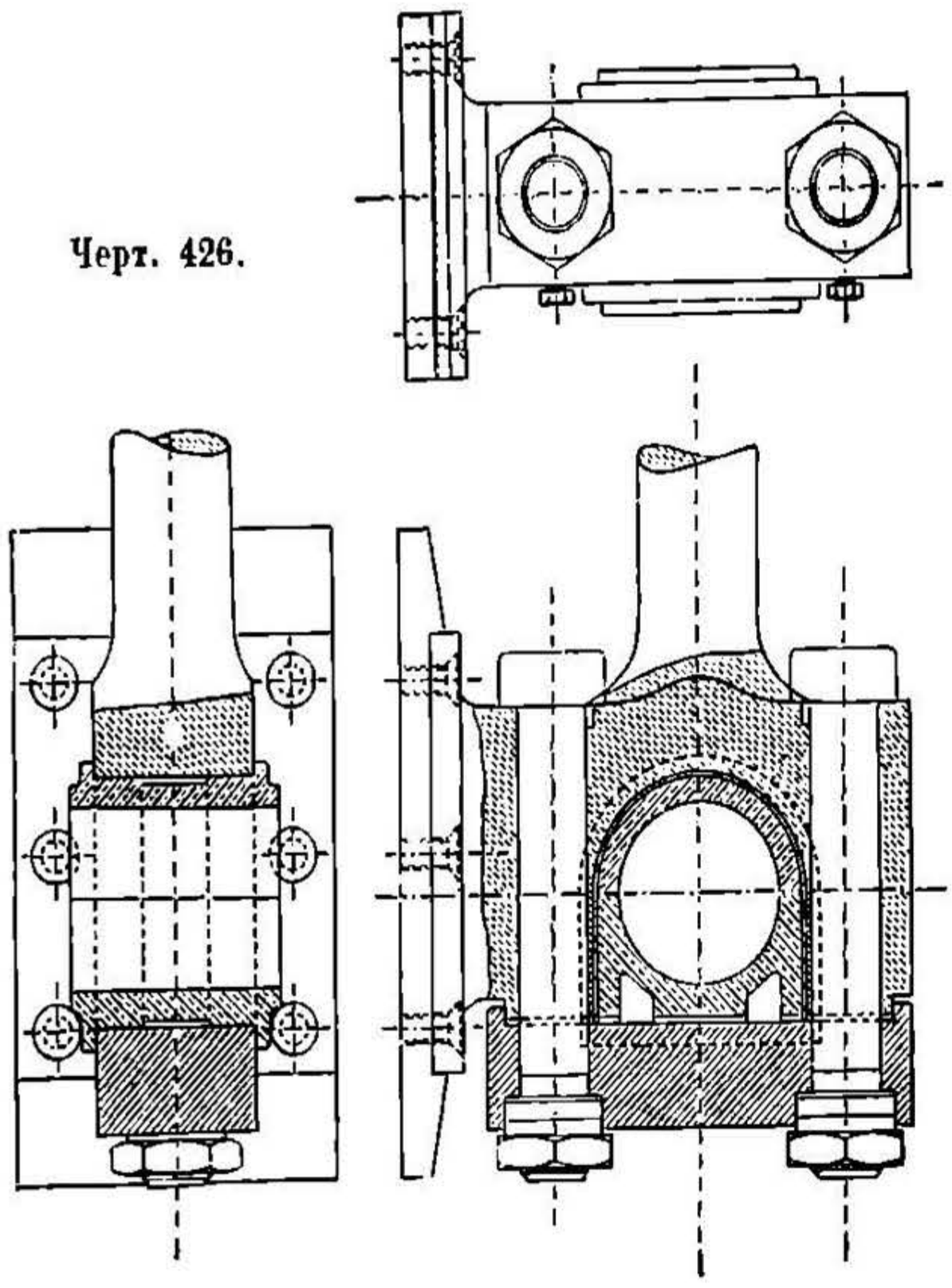
Черт. 425.



Черт. 427.



Черт. 426.



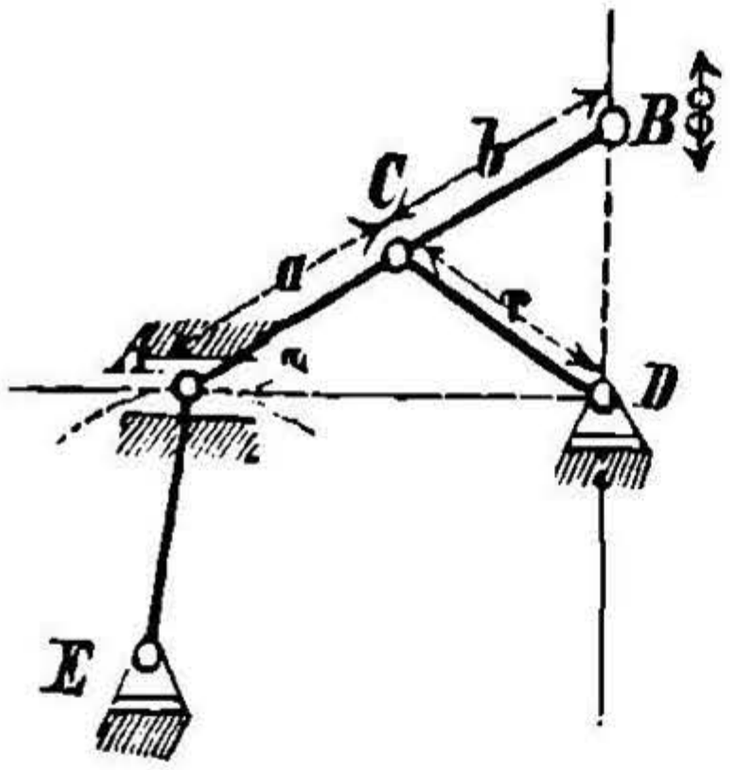
Нормальное давленіе на направляющія въ постоянныхъ машинахъ не должно превосходить 2 до 3 kg/qcm. Направляющія должны быть такой толщины и такъ сконструированы, чтобы вредный для машины прогибъ ихъ былъ невозможенъ. (Конструкція направляющихъ приведена въ отдѣлѣ паровыхъ машинъ).

НТБ ДНУЗТ

F. Шарнирные механизмы для полученія прямолинейнаго движенія *).

a. Эллиптическія коромысла.

Черт. 428.



Обозначимъ черезъ (черт. 428 до 432):

AB главное коромысло,
α половину угла его отклоненія,
CD обратное коромысло,
C ведущую точку,
D неподвижную точку (ось вращенія),
B точку, которой надо сообщить прямолипейное движеніе.

1. Коромысло Эванса (черт. 428).

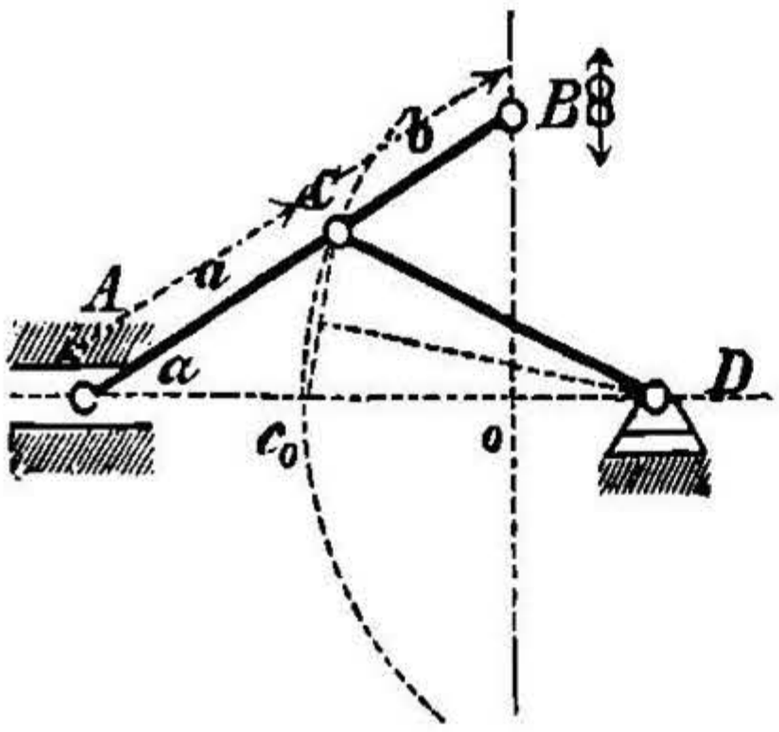
Уголъ $ADB = 90^0$, $a = b = r$. Заставляя двигаться точку A по AD, получимъ точное эллиптическое коромысло; заставляя же точку A двигаться по окружности радіуса EA, получимъ приближенное коромысло Эванса. Чѣмъ больше EA и чѣмъ меньше уголъ α, тѣмъ точнѣе коромысло. Слѣдуетъ выбирать:

$$\alpha < 20^0; \qquad EA \geqq BD.$$

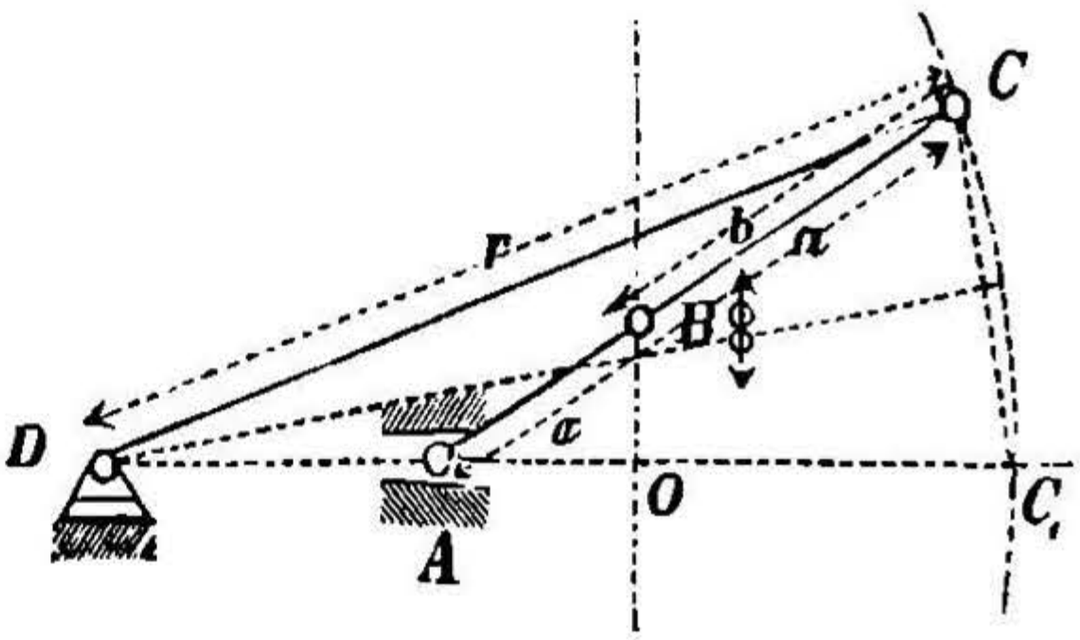
2. Приближенное эллиптическое коромысло.

Смотря по положенію C относительно A и B, различаютъ три рода эллиптическихъ коромыселъ.

Черт. 429.



Черт. 430.



1) Точка C находится между A и B (черт. 429).
2) Точка C „ внѣ точекъ A и B, за точкой B (черт. 430).
3) Точка C „ внѣ точекъ A и B, за точкой A (черт. 431).

*) См. „Kinematisches Skizzenbuch“, изданіе общества „Hütte“, I часть, Берлинъ, 1880/1892.—См. также Риттерсгаузъ, Gelenkgeradführungen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1877, стр. 217; Мюллеръ, Zeitschr. f. Mathem. u. Physik, т. 43, стр. 36.

НТБ ДНУЗТ

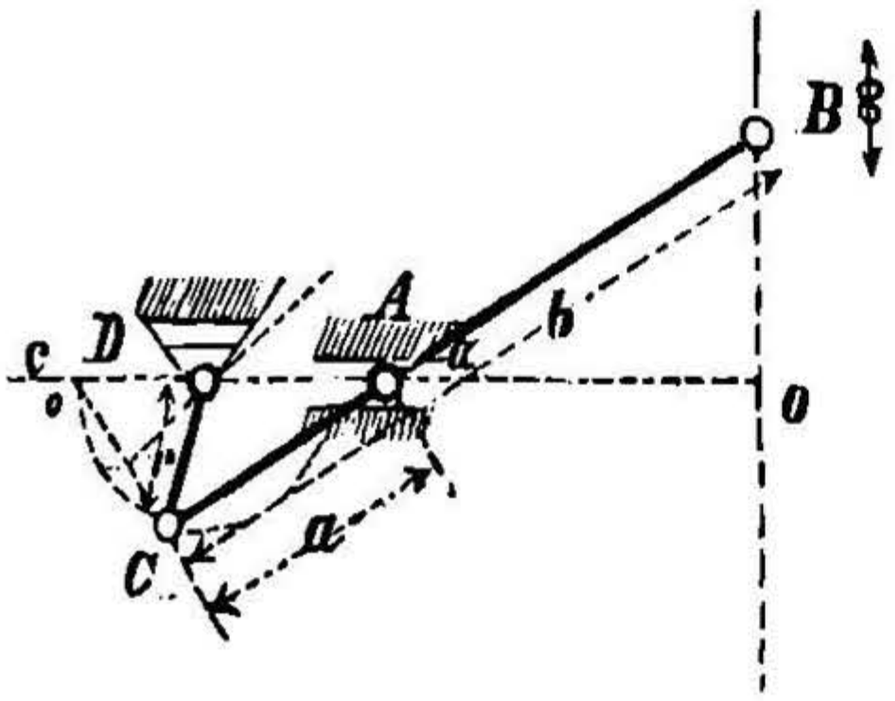
Во всѣхъ трехъ коромыслахъ прямолинейный путь точки A можетъ быть замѣненъ круговымъ.

Коромысла третьяго рода даютъ наибольшее отклоненіе точки B отъ прямолинейнаго пути.

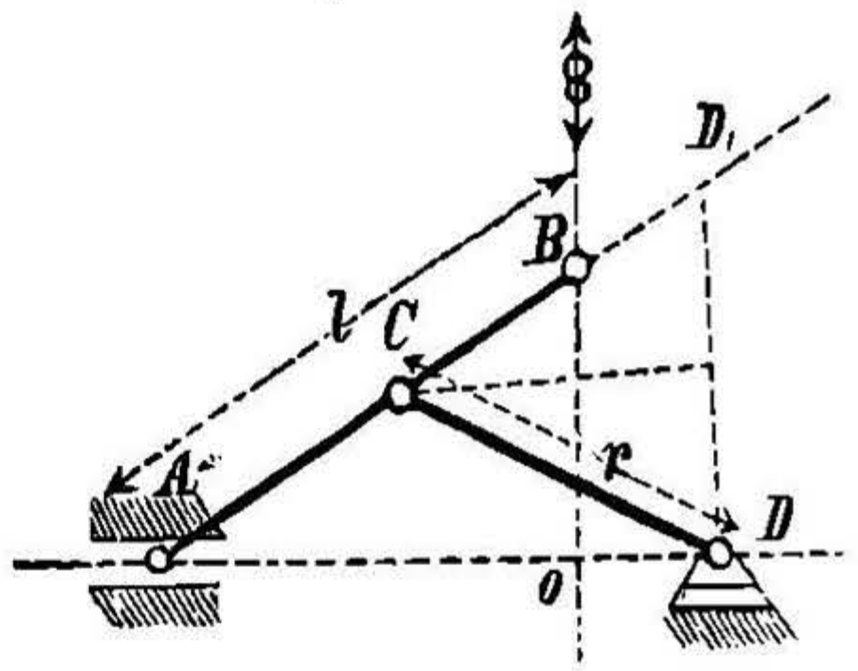
Опредѣленіе обратнаго коромысла.

1. **Дана точка C; требуется найти точку D** (черт. 429 до 431). Начертивъ главное коромысло въ его крайнемъ положеніи, откладываемъ $OC_0 = BC = b$, проводимъ линію C_0C, въ срединѣ

Черт. 431.



Черт. 432.



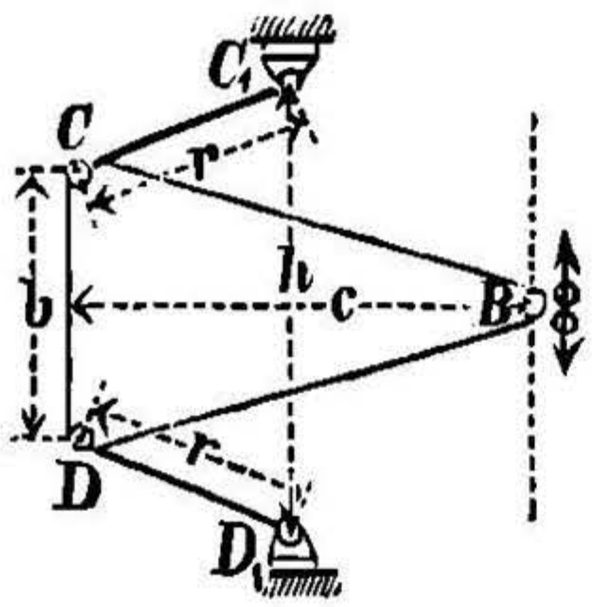
которой возставляемъ перпендикуляръ; послѣдній пересѣкается съ горизонталью черезъ A въ искомой точкѣ D.

Если уголъ α очень малъ, то приблизительно будемъ имѣть:

$$r : a = a : b.$$

2. **Дана точка D; требуется опредѣлить точку C** (черт. 432). Взявъ крайнее положеніе главнаго коромысла AB, продолжимъ линію AB и откладываемъ $BD_1 = OD$; затѣмъ проводимъ линію D_1D. Перпендикуляръ, возставленный изъ средины D_1D, пересѣкаетъ главное коромысло въ искомой точкѣ C. Въ коромыслахъ (черт. 430 и 431) второго и третьяго рода надо откладывать $BD_1 = OD$ отъ точки B и черезъ точку A.

Черт. 433.



b. Треугольное коромысло Роберта.

получится, если принять (черт. 433):

$$CC_1 = DD_1 = r; \qquad \frac{r}{h} = 0{,}584;$$

$$\frac{b}{h} = 0{,}593; \qquad \frac{c}{h} = 1{,}112.$$

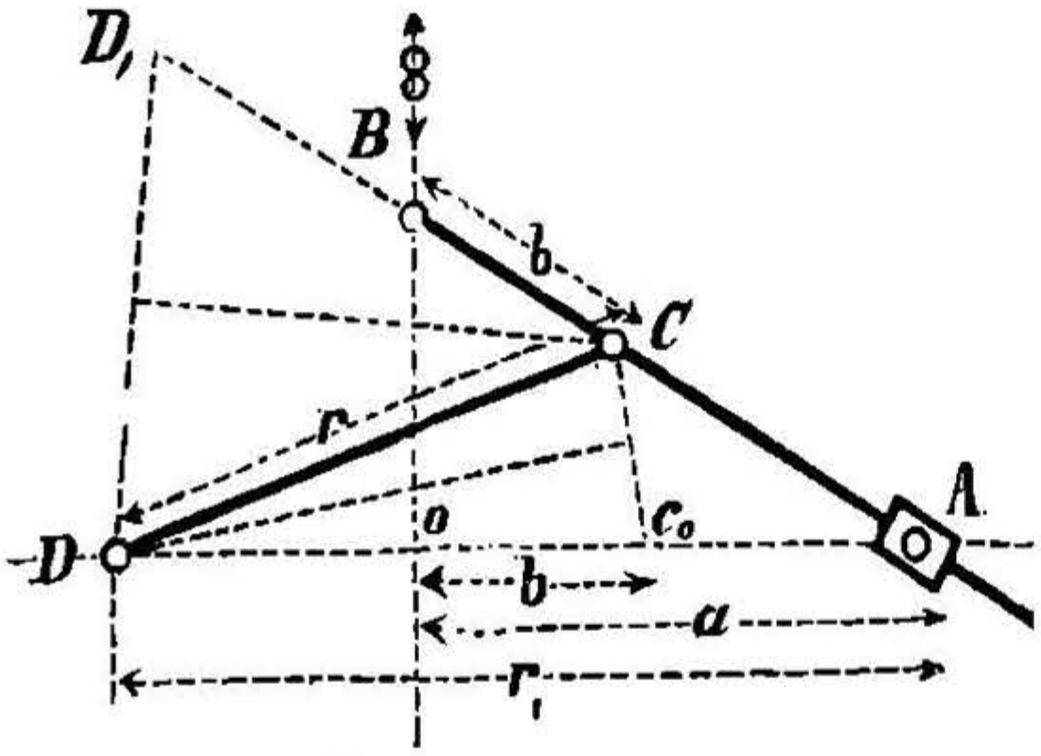
c. Конхоидальное коромысло.

Конхоиду см. стр. 120 и 121.

Пусть (черт. 434): AB главное коромысло, CD обратное, C ведущая, а D неподвижная точка обратнаго коромысла.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 434.



Смотря по тому, находится ли точка C между A и B, или внѣ точекъ A и B за точкой B, или внѣ точекъ A и B за точкой A,—различаютъ конхоидальныя коромысла перваго, втораго и третьяго рода. (Аналогично съ **a. 2.**)

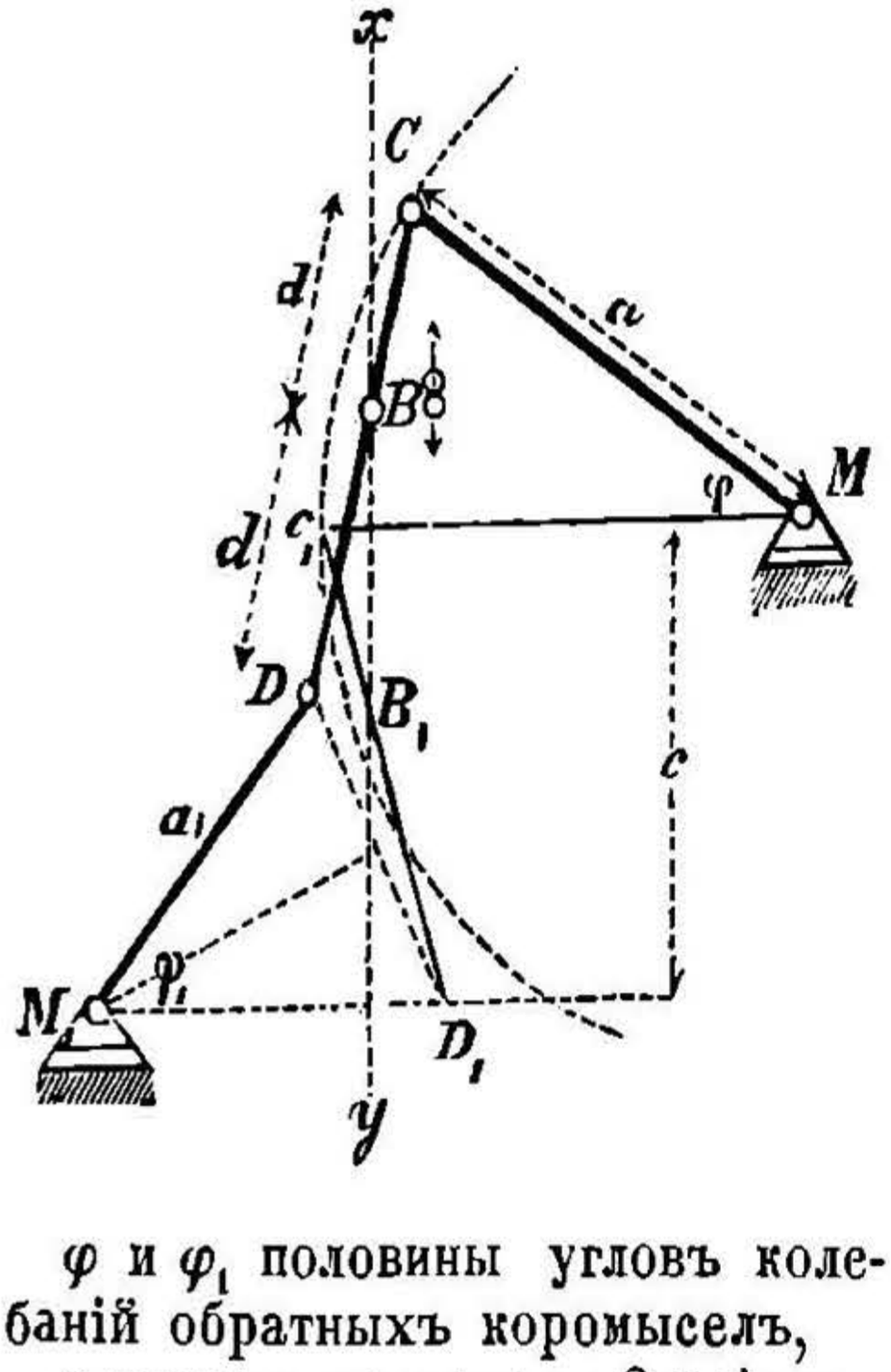
Обратное коромысло опредѣляется такъ же, какъ и въ приближенномъ эллиптическомъ коромыслѣ (см. стр. 558).

Въ коромыслѣ второго рода, при $r = r_1$, получается, хотя и короткое, но весьма хорошее направленіе по прямой линіи.

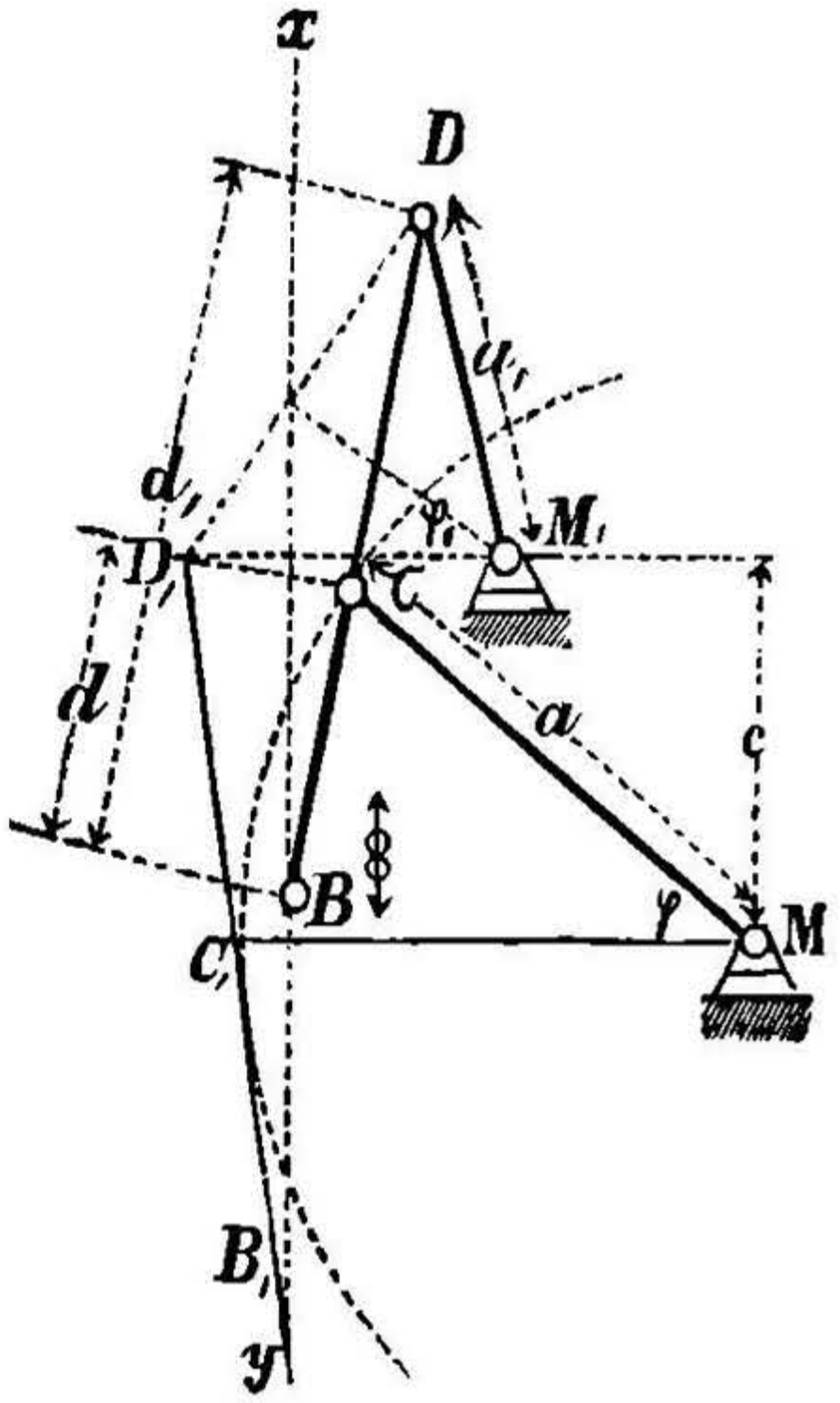
d. Лемнискатоидальное коромысло (черт. 435 и 436).

Обозначимъ черезъ:
a и a_1 длины обратныхъ коромыселъ,
d и d_1 соотвѣтствующіе отрѣзки соединительной тяги,

Черт. 435.



Черт. 436.



φ и φ_1 половины угловъ колебаній обратныхъ коромыселъ,
s высоту подъема $= 2\,a \sin \varphi = 2\,a_1 \sin \varphi_1$,
c проекцію линіи, соединяющей неподвижныя точки M и M_1 коромыселъ, на направленіе xy,
e и e_1 стрѣлы дугъ, описанныхъ при движеніи конечными точками C и D обратныхъ коромыселъ: $e = a\,(1 - \cos \varphi)$;
$e_1 = a_1\,(1 - \cos \varphi_1)$.

НТБ ДНУЗТ

1. Даны: коромысло a, его неподвижная точка M, отрѣзки соединительной тяги d и d_1 и точка B, движеніе которой должно совершаться по прямой линіи; требуется найти длину a_1 обратнаго коромысла и его неподвижную точку M_1.

Уголъ φ извѣстенъ, слѣд., можно опредѣлить s и e. Чертимъ коромысло a въ его крайнемъ положеніи MC; въ этомъ положеніи устанавливаемъ соединительную тягу такъ, чтобы точка B находилась на xy, т.-е. на линіи, дѣлящей пополамъ стрѣлу дуги, описанной изъ точки C, и наносимъ точку D. Затѣмъ ищемъ положеніе D_1 конечной точки соединительной тяги при среднемъ положеніи коромысла a_1 (окружность, описанная изъ C_1, средняго положенія точки C, радіусомъ $CD = d_1 \pm d$, пересѣкаетъ въ точкѣ D_1 линію, проведенную параллельно MC_1 въ разстояніи $^1/_2 s$ отъ D) и соединяемъ D съ D_1. Перпендикуляръ въ срединѣ линіи DD_1 пересѣкается съ линіей, проведенной изъ D_1 параллельно C_1M, въ искомой неподвижной точкѣ M_1; этимъ же опредѣляется искомая длина a_1 коромысла M_1D.

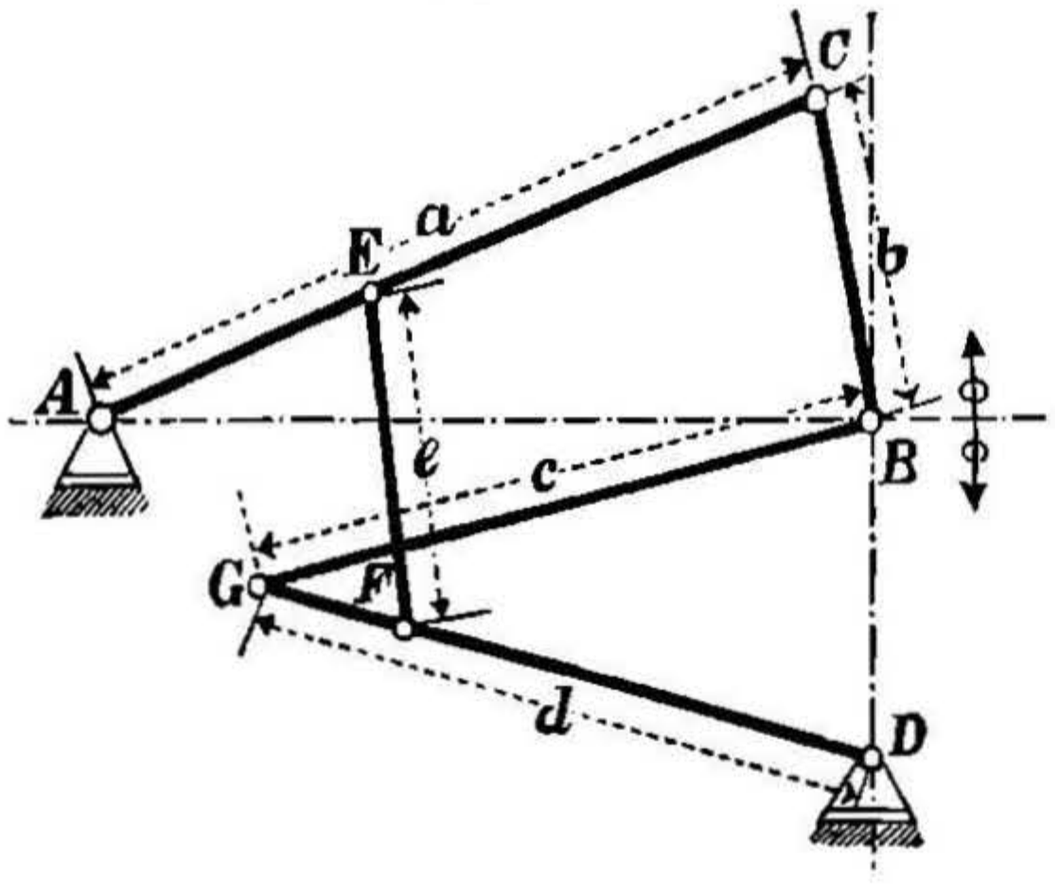
2. Даны: оба коромысла a и a_1, разстояніе между ними c, когда они параллельны, и высота подъема; требуется найти положеніе точки B, долженствующей двигаться по прямой линіи, и положеніе неподвижныхъ точекъ M и M_1.

Опредѣливъ φ, φ_1, e, e_1 и проведя a и a_1 перпендикулярно къ направленію xy и въ разстояніи c такъ, чтобы e и e_1 раздѣлились пополамъ, найдемъ въ M и M_1 неподвижныя точки. Въ крайнемъ своемъ положеніи DC пересѣкаетъ xy въ точкѣ B, которая и будетъ двигаться по прямой линіи.

Весьма хорошее направленіе получается, если принять (черт. 435):
$a = a_1 \geqq {}^3/_2 s$, $\varphi = \varphi_1 \leqq 19^1/_2^0$, $e = e_1 \leqq {}^1/_{26} s$, $d = d_1 \geqq {}^2/_7 s$.

e. Параллелограммъ Чебышева.

Черт. 437.



Прямолинейный путь долженъ касаться дуги, описываемой точкой C.

Должно быть (черт. 437):

$b = e =$ половинѣ хода точки B,

$CE = DF = 0{,}618\, a$.

$d = c = 0{,}809\, a$.

Точка D должна лежать на направленіи прямолинейнаго пути.

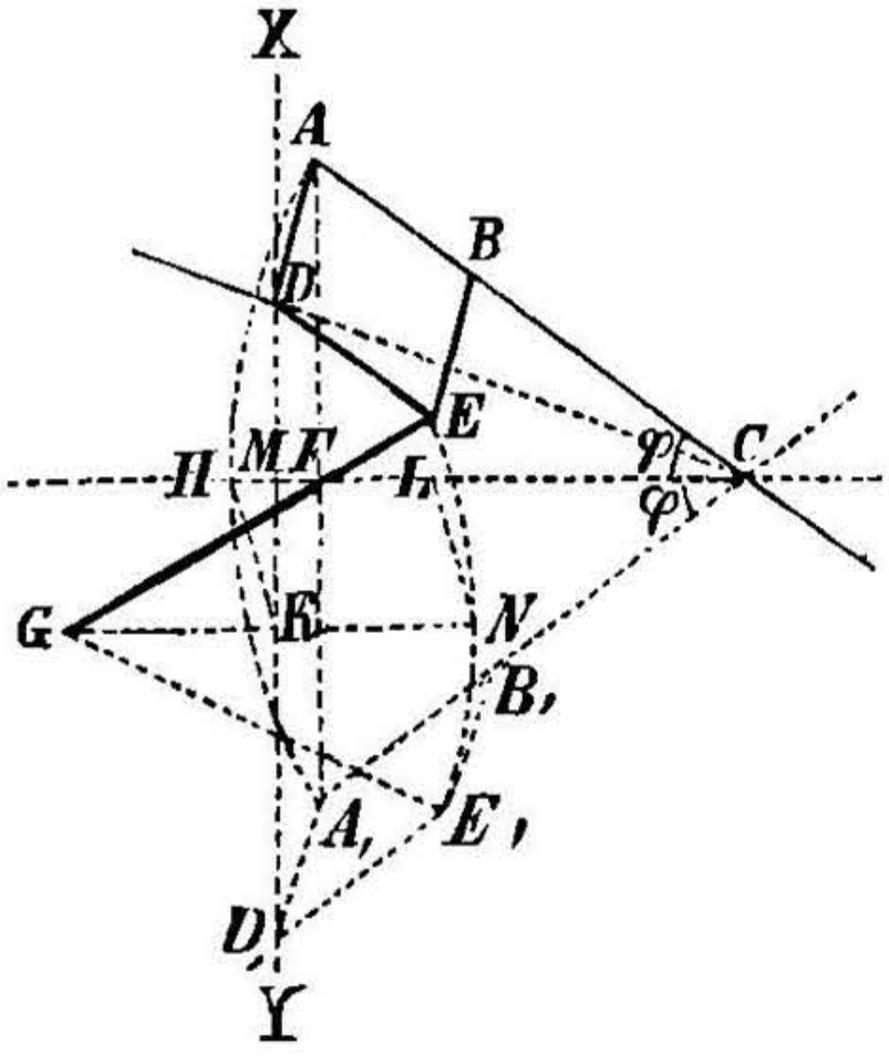
f. Параллелограммъ Уатта.

Построеніе. Пусть (черт. 438) C ось вращенія перваго обратнаго коромысла, ACA_1 уголъ колебаній 2φ; AA_1 его хорда, равная дан-

НТБ ДНУЗТ

пому ходу s; $HM = MF$; черезъ точку M проведемъ $XY \parallel AA_1$, отложимъ $AD = HK = A_1D_1 =$ произвольно взятой длинѣ подвѣски и $AB = HL = A_1B_1 =$ данной сторонѣ параллелограмма. Дополнимъ параллелограммы:

Черт. 438.



$ABED$, $HLNK$ и $A_1B_1E_1D_1$, тогда центръ (G) круга, проходящаго черезъ точки E, N и E_1, будетъ осью вращенія второго обратнаго коромысла, $GE = GN = GE_1$ его длина, и каждая точка прямой CD будетъ двигаться по прямой линіи.

Принявъ, какъ это дѣлается обыкновенно, $AB = CB$, получимъ ось вращенія второго обратнаго коромысла въ точкѣ K, и длина его равна $KE = AB = CB$.

VII. ЦИЛИНДРЫ НАСОСОВЪ И ПРЕССОВЪ, ТРУБЫ, ЗАДВИЖКИ И КЛАПАНЫ.

A. Цилиндры.

Матеріалъ для цилиндровъ обыкновенно чугунъ, также литая сталь, бронза, фосфористая бронза, дельта-металлъ и другіе сплавы (ковкій матеріалъ примѣняется рѣдко). Чугунъ для цилиндровъ долженъ обладать прочностью, плотностью и не быть слишкомъ мягкимъ. Вертикальной отливкой при достаточной прибыли (приливъ въ формѣ) достигается необходимая плотность чугуна, при равномѣрной толщинѣ стѣнокъ.

a. Цилиндры насосовъ и прессовъ.

1. Толщина s **стѣнокъ** чугунныхъ **насосныхъ цилиндровъ**, не растачиваемыхъ (діаметромъ D cm), зависитъ, главнымъ образомъ, отъ условій ихъ изготовленія, доставки и установки; обыкновенно (въ cm):

$s = {}^1/_{50}\,D + 1{,}0$ cm при отливкѣ въ вертикальномъ положеніи,
$s = {}^1/_{40}\,D + 1{,}2$ cm при отливкѣ въ горизонтальномъ положеніи.

НТБ ДНУЗТ

Разсчитывая цилиндръ на сопротивленіе внутреннему давленію p_i kg/qcm и принимая во вниманіе возможное неправильное положеніе сердечниковъ, толщину стѣнокъ опредѣляютъ по **1.**, стр. 422, съ прибавленіемъ 0,3 до 0,6 cm (см. также стр. 565).

Въ виду возможныхъ ударовъ въ насосахъ и др., принимаютъ для обыкновеннаго чугуна $k_z < 200$ kg/qcm.

Необходимо принимать б о л ь ш у ю изъ двухъ величинъ по разсчету.

Высверливаемымъ цилиндрамъ, поверхность которыхъ должна быть вполнѣ правильна, и которые послѣ нѣкотораго изнашиванія должны быть еще нѣсколько разъ растачиваемы, придается толщина стѣнокъ на 0,5 до 1,0 cm больше предыдущей. Для **стальныхъ** литыхъ цилиндровъ (при высокомъ давленіи) $k_z \leqq 500$ kg/qcm; притомъ $s \leqq 1{,}5$ cm.

2. Цилиндры прессовъ разсчитываются по **1.** стр. 422 (см. также стр. 565), причемъ для k_z принимается:

$k_z =$ 300 до 600 kg/qcm для чугуна *) и бронзы,
$k_z =$ 500 „ 1000 „ „ фосфористой бронзы,
$k_z =$ 1000 „ 1200 „ „ стального литья,
$k_z =$ 900 „ 1800 „ „ желѣза (заварной желѣзной квадратной полосы, изогнутой по винтовой линіи).

Высшіе предѣлы для k_z слѣдуетъ принимать лишь въ случаяхъ крайней необходимости.

Въ цилиндрахъ литой стали рекомендуется допускать напряженіе k_z, въ зависимости отъ гарантируемыхъ заводомъ качествъ стали **).

Если поршень пресса подверженъ дѣйствію извѣстной силы P (въ kg), то r_a будетъ minimum при $p_i = 0{,}36\, k_z$, а именно:

$$r_{a\,\min} = 1{,}5\, r_i, \quad \text{или} \quad s_{\min} = 0{,}5\, r_i \text{ (см. стр. 422, 1).}$$

b. Паровые цилиндры.

Толщина стѣнокъ s принимается обыкновенно:

$s = {}^1/_{50}\, D + 1{,}3$ cm, при вертикальной отливкѣ,
$s = {}^1/_{40}\, D + 1{,}5$ cm, при горизонтальной отливкѣ,

гдѣ D внутренній діаметръ расточеннаго цилиндра въ cm.

Дальнѣйшее относительно паровыхъ цилиндровъ см. отдѣлъ VII, въ деталяхъ паровыхъ машинъ.

---

*) Трудность изготовленія плотныхъ чугунныхъ цилиндровъ для прессовъ растетъ вмѣстѣ съ толщиной стѣнокъ. Посредствомъ повторительной переплавки чугунныхъ чушекъ и выливанія чугуна въ доски, а также иногда добавленіемъ въ вагранку сварочнаго желѣза (металлъ Стирлинга), можно получить литье, для котораго можно допустить напряженіе $k_z = 500$ до 750 kg/qcm. При формовкѣ надо обращать особенное вниманіе на постепенный переходъ очертаній поверхности.

**) Австрійско-германскіе заводы, работающіе трубы по системѣ Манесмана, допускаютъ для мартеновской стали $k_z = 1250$ до 3000 kg/qcm, и для тигельной стали $k_z = 2000$ до 4500 kg/qcm.

НТБ ДНУЗТ

B. Трубы.

a. Общія положенія.

Внутренній діаметръ трубопровода опредѣляется по условію, чтобы сопротивленія отъ тренія или скорость протекающей по нему жидкости или газа не выходили изъ извѣстныхъ предѣловъ.

Въ сооруженіяхъ значительныхъ размѣровъ (водо- и газопроводы и др.) наивыгоднѣйшій діаметръ трубъ опредѣляется съ такимъ разсчетомъ, чтобы сумма процентовъ и погашенія затраченнаго капитала (она увеличивается съ діаметромъ трубъ) и стоимости эксплоатаціи (она уменьшается съ увеличеніемъ діаметра) была наименьшая *).

Трубы для горячихъ жидкостей и паровъ проектируются съ разсчетомъ на возможныя температурныя измѣненія формы. Это достигается примѣненіемъ толстыхъ эластичныхъ прокладокъ изъ резины или азбеста, лучше вставкой компенсаторовъ и пружинящихъ трубъ (стр. 583).

При измѣнѣніи направленія оси трубы необходимо принимать въ разсчетъ усилія, дѣйствующія по оси трубы.

b. Чугунныя трубы.

Въ зависимости отъ способа соединенія двухъ трубъ, различаются трубы съ раструбами и трубы съ фланцами. — Способъ изготовленія, доставки и укладки трубъ, а также добавочныя напряженія отъ внѣшнихъ силъ, получающіяся, напр., при подземныхъ трубопроводахъ отъ неравномѣрной укладки или отъ осѣданія почвы,—обусловливаетъ большую **толщину стѣнокъ**, сравнительно съ получаемой изъ разсчета по **1.** стр. 422, соотв. по стр. 565.

Если D внутренній діаметръ трубопровода въ cm, то толщина стѣнокъ s въ cm:

$$s = {}^1/_{60}\, D + 0{,}7 \text{ cm, при вертикальной отливкѣ,}$$
$$s = {}^1/_{50}\, D + 0{,}9 \text{ cm, при горизонтальной отливкѣ.}$$

Эти формулы относятся до давленія не свыше 10 kg/qcm (пробное давленіе не больше 20 kg/qcm), при условіи отсутствія значительныхъ температурныхъ измѣненій въ трубопроводѣ. Паропроводы, внутр. діам. свыше $D = 10$ cm, должны имѣть толщину стѣнокъ трубъ s, увеличенную на 12,5 до 25%. При меньшемъ внутреннемъ давленіи толщину стѣнокъ можно уменьшить.

Толщина стѣнокъ трубъ при **высокомъ давленіи** (напр. напорныхъ водопроводныхъ трубъ) опредѣляется изъ уравн. I, на стр. 422, и къ полученной величинѣ, при вертикальной отливкѣ, слѣдуетъ прибавлять 0,7 cm; причемъ p_i = наибольшему рабочему да-

*) См. P. Willner Zeitschr. d. V. d. Ing. 1890, стр. 103, 150, и R. Mehmke, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1890, стр. 1008.

НТБ ДНУЗТ

вленію въ kg/qcm и $k_z = 200$ kg/qcm. При горизонтальной отливкѣ слѣдуетъ къ вычисленной величинѣ прибавлять болѣе 0,7 cm.

Горизонтальная отливка трубъ представляетъ устарѣлый пріемъ изготовленія трубъ. Болѣе совершенная отливка—вертикальная, съ значительной прибылью; она даетъ плотныя трубы безъ шва, съ равномѣрною толщиною стѣнокъ. Отливка трубъ раструбомъ кверху.

Трубы испытываются **пробнымъ давленіемъ**, превосходящимъ нормальное рабочее давленіе въ два раза; въ исключительныхъ случаяхъ пробное давленіе увеличивается. Обстукиваніемъ молотокъ стѣнокъ трубы, находящейся подъ пробнымъ гидравлическимъ давленіемъ, можно обнаружить тѣ трубы, въ стѣнкахъ которыхъ при охлажденіи трубы вызываются значительныя внутреннія напряженія; такая труба должна быть забракована.

Испытанія на изгибъ, произведенныя въ Фридрихъ-Вильгельмсгютте (Мюльгеймъ), съ нормальными раструбными трубами (стр. 566), по способу нагрузки № 2, стр. 374, дали при свободной длинѣ $l = 2{,}62$ m слѣдующія предѣльныя значенія для разрушающаго груза P въ kg. Для различныхъ внутреннихъ діаметровъ найдено:

$D =$	80	mm	$P =$	1400 до 1770	kg.
	100	„	=	2060 „ 2780	„
	125	„	=	2930 „ 4120	„
	175	„	=	7350 „ 9200	„
	200	„	=	10140 „ 13280	„

На черт. 439 (стр. 566) и 440 (стр. 567) показаны двойной штриховкой тѣ части раструба и фланца, для которыхъ указаны вѣса на стр. 566 и 567. Переходъ отъ фланца къ цилиндрической трубѣ производится отъ толщины $= d$ до s, съ уклономъ въ 1 : 5 (черт. 440). Для того, чтобы не обтачивать всей поверхности фланца, къ нему приливается заплечикъ.

Напряженіе фланцевыхъ болтовъ, показанныхъ въ нормальныхъ размѣрахъ (стр. 567), при большихъ діаметрахъ трубъ и при давленіи 10 kg/qcm оказывается слишкомъ высокимъ, что слѣдуетъ имѣть въ виду при возрастаніи давленія.

Для **предохраненія отъ ржавчины** чугунныя водопроводныя и газопроводныя трубы асфальтируются. Трубы (предварительно испытанныя давленіемъ) тщательно очищаются и нагрѣтыя до 100—150° опускаются на нѣкоторое время въ смолу; внутренняя поверхность раструба и наружняя поверхность цилиндрической трубы, входящая въ раструбъ, покрываются при этомъ известковымъ молокомъ и остаются свободными отъ смолы. По другому способу, предварительно нагрѣтыя трубы покрываются асфальтомъ при помощи волосяныхъ щетокъ по всей поверхности, кромѣ внутренности раструба и наружней части трубы, въ него входящей.

Водопроводныя и газопроводныя трубы (раструбныя) уплотняются при помощи пеньковаго каната, хорошо просмоленнаго, и свинцовой заливки. Канатъ и затѣмъ свинцовая заливка заколачиваются молоткомъ и зачеканиваются. Для фланцевыхъ соединеній употребляются прокладки въ видѣ колецъ (шайбъ) съ металлическими сѣтками или безъ оныхъ, свинецъ, картонъ, сурикъ, азбестовый картонъ; для паропроводовъ профилированныя кольца красной мѣди.

(Продолженіе на стр. 568).

НТБ ДНУЗТ

Значенія ξ для вычисленія толщины стѣнокъ трубъ съ внутреннимъ давленіемъ.

$$s = 0{,}5\left(\sqrt{\frac{k_z + 0{,}4p_i}{k_z - 1{,}3p_i}} - 1\right)D = \xi D,$$

соотвѣтственно I уравненію K. Баха (стр. 422), если s толщина стѣнокъ трубы въ cm, D внутренній діаметръ трубы въ cm, k_z допускаемое напряженіе на растяженіе для матеріала трубы въ kg/qcm и p_i наибольшее внутреннее рабочее давленіе въ kg/qcm.

p_i kg/qcm	k_z въ kg/qcm.									
	100	140	180	200	300	400	500	600	800	1000
10	0,0467	0,0324	0,0248	0,0223	0,0146	0,0109	0,0087	0,0072	0,0054	0,0039
12	0,0572	0,0394	0,0301	0,0269	0,0176	0,0131	0,0104	0,0087	0,0065	0,0052
14	0,0681	0,0467	0,0355	0,0317	0,0207	0,0154	0,0122	0,0102	0,0076	0,0060
16	0,0795	0,0541	0,0410	0,0366	0,0238	0,0176	0,0140	0,0116	0,0087	0,0069
18	0,0915	0,0618	0,0467	0,0416	0,0269	0,0199	0,0158	0,0130	0,0097	0,0077
20	0,1040	0,0697	0,0525	0,0467	0,0301	0,0223	0,0176	0,0146	0,0109	0,0087
25	0,1383	0,0906	0,0675	0,0599	0,0383	0,0281	0,0223	0,0184	0,0137	0,0109
30	0,1775	0,1134	0,0835	0,0738	0,0467	0,0342	0,0269	0,0223	0,0165	0,0131
35	0,2231	0,1383	0,1003	0,0885	0,0554	0,0403	0,0317	0,0261	0,0193	0,0154
40	0,2773	0,1657	0,1187	0,1040	0,0644	0,0467	0,0366	0,0301	0,0223	0,0176
45	0,3431	0,1962	0,1383	0,1206	0,0738	0,0532	0,0416	0,0342	0,0252	0,0199
50	0,4258	0,2303	0,1594	0,1383	0,0835	0,0599	0,0467	0,0383	0,0281	0,0223
55	0,5345	0,2686	0,1822	0,1572	0,0936	0,0667	0,0519	0,0425	0,0311	0,0246
60	0,6871	0,3132	0,2071	0,1775	0,1040	0,0738	0,0572	0,0467	0,0342	0,0269
65	0,9256	0,3647	0,2344	0,1994	0,1150	0,0810	0,0626	0,0510	0,0373	0,0293
70	1,3856	0,4258	0,2644	0,2231	0,1264	0,0885	0,0681	0,0554	0,0403	0,0317
80		0,5929	0,3351	0,2773	0,1508	0,1040	0,0795	0,0644	0,0467	0,0366
90		0,8881	0,4258	0,3431	0,1775	0,1206	0,0915	0,0738	0,0532	0,0416
100		1,6213	0,5488	0,4258	0,2071	0,1383	0,1040	0,0835	0,0599	0,0467
110			0,7303	0,5345	0,2401	0,1572	0,1172	0,0936	0,0667	0,0519
120			1,0411	0,6871	0,2773	0,1775	0,1311	0,1040	0,0738	0,0572
130			1,7962	0,9256	0,3196	0,1994	0,1457	0,1150	0,0810	0,0626
140				1,3856	0,3685	0,2231	0,1612	0,1264	0,0885	0,0681
150				3,1056	0,4258	0,2490	0,1775	0,1383	0,0961	0,0738
160					0,4946	0,2773	0,1949	0,1508	0,1040	0,0795
180					0,6871	0,3431	0,2332	0,1775	0,1206	0,0915
200					1,0411	0,4258	0,2773	0,2071	0,1383	0,1040
220					2,1322	0,5345	0,3288	0,2401	0,1572	0,1172
240						0,6871	0,3903	0,2773	0,1775	0,1311
260						0,9256	0,4656	0,3196	0,1994	0,1457
280						1,3856	0,5607	0,3685	0,2231	0,1612
300						3,1056	0,6871	0,4258	0,2490	0,1775
320							0,8672	0,4946	0,2773	0,1949
340							1,1557	0,5792	0,3085	0,2134
360							1,7430	0,6871	0,3431	0,2332

Примѣръ. Для $P_i = 60$ kg/qcm, $k_z = 180$ kg/qcm если $D = 140$ mm, необходимая толщина стѣнокъ $s = 0{,}2071 \cdot 140 = 29$ mm.

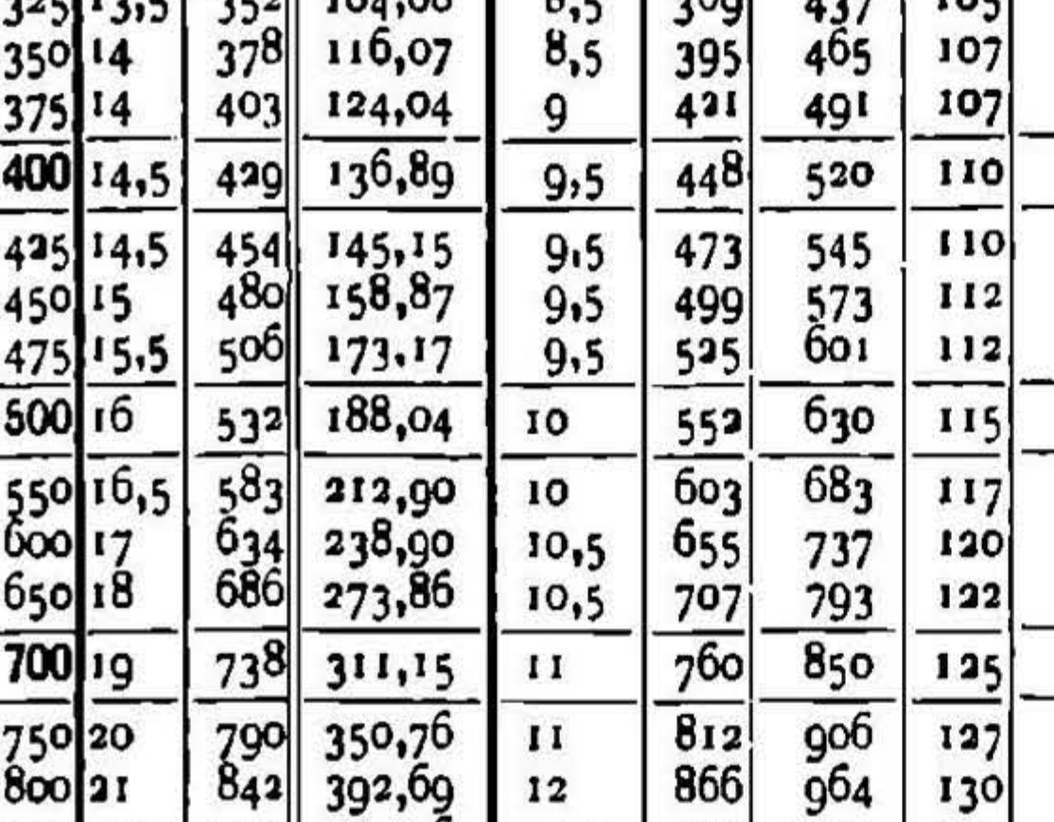
НТБ ДНУЗТ

Нормальные размѣры чугунныхъ

Таблица составлена обществомъ германскихъ инженеровъ,

Внутренній діаметръ D.	Нормальная толщина стѣнокъ s.	Наружній діаметръ D_1.	Вѣсъ 1 пог. т. цилиндрич. трубы (безъ раструба или фланца).	Трубы съ раструбами (черт. 439).								
				Толщина прокладываемой набивки f.	Внутр. діаметръ раструба D_2.	Наружній діаметръ раструба D_3.	Внутрен. длина раструба t.	Длина прокладываемой набивки $t' = t - 1{,}5\ s$.	Употребительная полезная длина трубы L.	Вѣсъ раструба.	Вѣсъ трубы съ раструб. при вышеприведенной полезной длинѣ.	Вѣсъ пог. метра трубы (считая съ растр.) при полез. длинѣ /
mm	mm	mm	kg	mm	mm	mm	mm	mm	m	kg	kg	kg
40	8	56	8,75	7	70	116	74	62	2	2,68	20,18	10,09
50	8	66	10,57	7,5	81	127	77	65	2	3,14	24,28	12,14
60	8,5	77	13,26	7,5	92	140	80	67	2	3,89	30,41	15,21
70	8,5	87	15,20	7,5	102	150	82	69	3	4,35	49,95	16,65
80	9	98	18,24	7,5	113	163	84	70	3	5,09	59,81	19,94
90	9	108	20,29	7,5	123	173	86	72	3	5,70	66,57	22,19
100	9	118	22,34	7,5	133	183	88	74	3	6,20	73,22	24,41
125	9,5	144	29,10	7,5	159	211	91	77	3	7,64	94,94	31,65
150	10	170	36,44	7,5	185	239	94	79	3	9,89	119,21	39,74
175	10,5	196	44,36	7,5	211	267	97	81	3	12,00	145,08	48,36
200	11	222	52,86	8	238	296	100	83	3	14,41	172,99	57,66
225	11,5	248	61,95	8	264	324	100	83	3	16,89	202,71	67,57
250	12	274	71,61	8,5	291	353	103	84	4	19,61	306,05	76,51
275	12,5	300	81,85	8,5	317	381	103	84	4	22,51	349,91	87,48
300	13	326	92,68	8,5	343	409	105	85	4	25,78	396,50	99,13
325	13,5	352	104,08	8,5	369	437	105	85	4	28,83	445,15	111,29
350	14	378	116,07	8,5	395	465	107	86	4	32,23	496,51	124,13
375	14	403	124,04	9	421	491	107	86	4	34,27	530,43	132,61
400	14,5	429	136,89	9,5	448	520	110	88	4	39,15	586,71	146,68
425	14,5	454	145,15	9,5	473	545	110	88	4	41,26	621,82	155,46
450	15	480	158,87	9,5	499	573	112	89	4	44,90	680,38	170,10
475	15,5	506	173,17	9,5	525	601	112	89	4	48,97	741,65	185,41
500	16	532	188,04	10	552	630	115	91	4	54,48	806,64	201,66
550	16,5	583	212,90	10	603	683	117	92	4	62,34	913,94	228,49
600	17	634	238,90	10,5	655	737	120	94	4	71,15	1026,75	256,69
650	18	686	273,86	10,5	707	793	122	95	4	83,10	1178,54	294,64
700	19	738	311,15	11	760	850	125	96	4	98,04	1342,64	335,66
750	20	790	350,76	11	812	906	127	97	4	111,29	1514,33	378,58
800	21	842	392,69	12	866	964	130	98	4	129,27	1700,03	425,01
900	22,5	945	472,76	12,5	970	1074	135	101	4	160,17	2051,21	512,00
1000	24	1048	559,76	13	1074	1184	140	104	4	195,99	2435,03	608,76
1100	26	1152	666,81	13	1178	1296	145	106	4	243,76	2911,00	727,75
1200	28	1256	783,15	13	1282	1408	150	108	4	294,50	3427,10	856,78

Черт. 439.



Стѣнкамъ водопроводныхъ трубъ, подверженныхъ давленію въ 10 атмосферъ и испытанныхъ на давленіе въ 20 атмосферъ, придается нормальная толщина. Для среднихъ давленій, обыкновенно имѣющихъ мѣсто въ водопроводахъ (4 до 7 атмосферъ), допускается уменьшеніе толщины стѣнокъ и вѣса трубъ. Для трубъ, подверженныхъ небольшому давленію (газопроводы, воздухопроводы и канализаціонныя трубы), также допускается уменьшеніе толщины стѣнокъ и вѣса. Трубы, предназнача-

НТБ ДНУЗТ

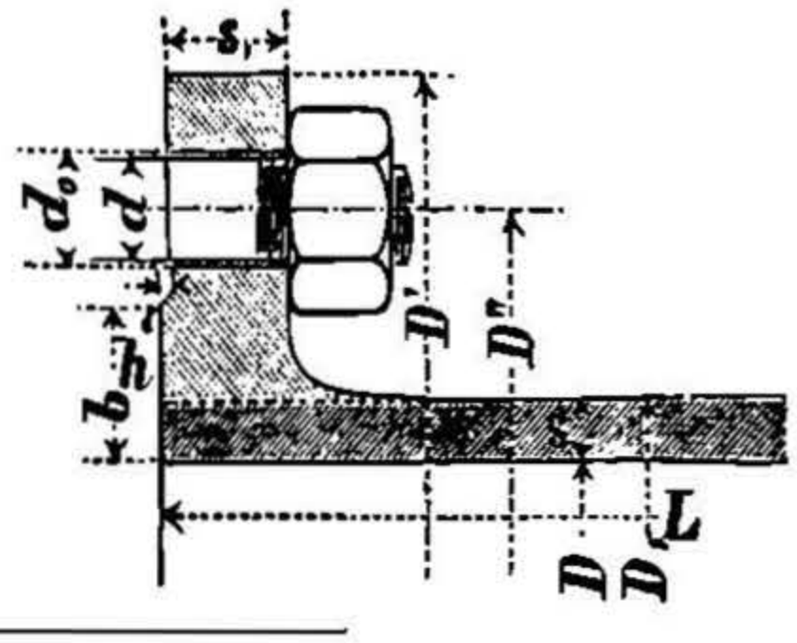
трубъ съ раструбами и фланцами.

спеціалистовъ по газо- и водопроводному дѣлу, попѣрена въ 1882 г.

Трубы съ фланцами (черт. 440).

Діаметръ фланцевъ D'. mm	Толщина фланцевъ s_1. mm	Ширина b / Вышина h заплечика фланц. mm / mm	Діамет. окружности болт. D''. mm	Число болтовъ.	Діаметръ болтовъ d mm / Дюйм.	Длина болтовъ l mm	Діаметръ отверстій для болтовъ d_0. mm	Употребител. длина трубъ L. m	Вѣсъ фланца. kg	Вѣсъ трубы при вышеприведенной длинѣ. kg	Вѣсъ 1 пог. мет. трубы (считая вѣсъ фланц.) при полез. длинѣ L. kg *)	Внутренній діаметръ D. mm
140	18	25 / 3	110	4	12,7 / 1/2	70	15	2	1,89	21,28	10,64	40
160	18	25 / 3	125	4	15,9 / 5/8	75	18	2	2,41	25,96	12,98	50
175	19	25 / 3	135	4	15,9 / 5/8	75	18	2	2,96	32,44	16,22	60
185	19	25 / 3	145	4	15,9 / 5/8	75	18	3	3,21	52,02	17,34	70
200	20	25 / 3	160	4	15,9 / 5/8	75	18	3	3,84	62,40	20,80	80
215	20	25 / 3	170	4	15,9 / 5/8	75	18	3	4,37	69,61	23,20	90
230	20	28 / 3	180	4	19,0 / 3/4	85	21	3	4,96	76,94	25,65	100
260	21	28 / 3	210	4	19,0 / 3/4	85	21	3	6,26	99,82	33,27	125
290	22	28 / 3	240	6	19,0 / 3/4	85	21	3	7,69	124,70	41,57	150
320	22	30 / 3	270	6	19,0 / 3/4	85	21	3	8,96	151,00	50,33	175
350	23	30 / 3	300	6	19,0 / 3/4	85	21	3	10,71	180,00	60,00	200
370	23	30 / 3	320	6	19,0 / 3/4	85	21	3	11,02	207,89	69,30	225
400	24	30 / 3	350	8	19,0 / 3/4	100	21	3	12,98	240,79	80,26	250
425	25	30 / 3	375	8	19,0 / 3/4	100	21	3	14,41	274,37	91,46	275
450	25	30 / 3	400	8	19,0 / 3/4	100	21	3	15,32	308,68	102,89	300
490	26	35 / 4	435	10	22,2 / 7/8	105	25	3	19,48	351,20	117,07	325
520	26	35 / 4	465	10	22,2 / 7/8	105	25	3	21,29	390,79	130,26	350
550	27	35 / 4	495	10	22,2 / 7/8	105	25	3	24,29	420,70	140,23	375
575	27	35 / 4	520	10	22,2 / 7/8	105	25	3	25,44	461,55	153,85	400
600	28	35 / 4	545	12	22,2 / 7/8	105	25	3	27,64	490,73	163,58	425
630	28	35 / 4	570	12	22,2 / 7/8	105	25	3	29,89	536,39	178,80	450
655	29	40 / 4	600	12	22,2 / 7/8	105	25	3	32,41	584,33	194,78	475
680	30	40 / 4	625	12	22,2 / 7/8	105	25	3	34,69	633,50	211,17	500
740	33	40 / 5	675	14	25,4 / 1	120	28,5	3	44,28	727,26	242,42	550
790	33	40 / 5	725	16	25,4 / 1	120	28,5	3	47,41	811,52	270,51	600
840	33	40 / 5	775	18	25,4 / 1	120	28,5	3	50,13	921,84	307,28	650
900	33	40 / 5	830	18	25,4 / 1	120	28,5	3	56,50	1046,45	348,82	700
950	33	40 / 5	880	20	25,4 / 1	120	28,5	3	59,81	1171,90	390,63	750

Черт. 440.



емыя для паропроводовъ, подверженныя частымъ измѣненіямъ температуры, а вслѣдствіе этого и различнымъ внутреннимъ усиліямъ, равно какъ и трубы, подверженныя разнымъ внѣшнимъ вліяніямъ, должны имѣть болѣе толстыя стѣнки и соотвѣтственно большій вѣсъ.

Наружній діаметръ трубъ (D_1) **сохраняется неизмѣннымъ**, и для измѣненія толщины мѣняется лишь внутренній діаметръ (D) трубы. Кромѣ того, должны быть безъ измѣненія сохранены размѣры внутренней формы раструба и толщина свинцовой заливки f.

*) Умножая цифры (въ kg) таблицы на 0,744, получимъ вѣсъ 1 пог. фута въ рус. фунт.
5,210 „ „ 1 „ саж. „ „ „
1,737 „ „ 1 „ арш. „ „ „

НТБ ДНУЗТ

Вѣсъ прямыхъ нормальныхъ трубъ, опредѣленный вычисленіемъ, уклоняется вслѣдствіе условій производства не болѣе, чѣмъ на $\pm$ 3%, отъ данныхъ вышеприведенной таблицы.

При опредѣленіи вѣса трубъ удѣльный вѣсъ чугуна принятъ $= 7{,}25$.

Отверстія для болтовъ во фланцахъ трубъ, уложенныхъ на мѣсто, не должны приходиться въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ ось трубы.

Нормальныя фасонныя части и задвижки для чугунныхъ трубопроводовъ.

Части A и B (черт. 441 и 442).

$a = 0{,}2\,D + 0{,}5\,d + 100$ mm,
$l = 0{,}1\,d + 120$ mm,
$t =$ глубинѣ растр. на отвѣтвленіи.
$r = 0{,}05\,d + 40$ mm.

D Діаметръ главной трубы. mm	d Діаметръ отростка. mm	L Полезн. длина. m
40 до 100	40 до 100	0,8
125 „ 325	40 „ 325	1,0
350 „ 500	40 „ 300	1,0
	325 „ 500	1,25
550 „ 750	40 „ 250	1,00
	275 „ 500	1,25
	550 „ 750	1,50

Часть C (черт. 443).

$a = 0{,}1\,D + 0{,}7\,d + 80$ mm,
$c = 0{,}1\,D + 80$ mm,
$l = 0{,}75\,a$,
$r = d$.

D Діаметръ главной трубы. mm	d Діаметръ отростка. mm	L Полезн. длина. m
40 до 100	40 до 100	0,8
125 „ 275	40 „ 275	1,0
300 „ 425	40 „ 250	1,0
	275 „ 425	1,25
450 „ 600	40 „ 250	1,00
	275 „ 425	1,25
	450 „ 600	1,50
650 „ 750	40 „ 250	1,00
	275 „ 425	1,25
	450 „ 600	1,50
	650 „ 750	1,75

Часть E (черт. 445).

$L = 300$ mm для $D \leqq 40$ mm.

Часть F (черт. 446).

$L = 600$ mm для $D = 40$ до 475 mm.
$L = 800$ mm „ $D = 500$ „ 750 mm.

Часть J (черт. 449).

$R = \begin{cases} 250\text{ mm для } D = 40 \text{ до } 90\text{ mm}. \\ 150 + D\text{ mm для } D \geqq 100\text{ mm}. \end{cases}$

$m = \begin{cases} 200 + D\text{ mm для } D = 40 \text{ до } 375\text{ mm}. \\ 600\text{ mm} \quad \text{„} \quad D \geqq 400\text{ mm}. \end{cases}$

Часть K (черт. 450).

$R = 10\,D$ для $D \geqq 40$ mm.

Часть L (черт. 448).

$R = 5\,D$, допуск. для $D \geqq 300$ mm.

Часть R (черт. 447).

(Переходная труба) $L = 1{,}0$ m.

Часть Ü (черт. 444).

(Надвижной раструбъ) $L = 4t$, если t глубина раструба соотв. D.

Кромѣ фасонныхъ частей **A**, **B** и **C** имѣются также части **AA**, **BB** и **CC** съ двумя діаметрально-противоположными отвѣтвленіями, размѣры—тѣ же, что и для одинарныхъ частей.

Фланцевыя фасонныя части.

Для черт. 452 до 455 имѣемъ: $L = D + 100$ mm,
для черт. 454, кромѣ того: $l = {}^1/_2\,(D + d) + 100$ mm.

Для фасонныхъ частей приняты слѣдующія обозначенія: для частей **A**, **B**, **C**: рядомъ стоящія числа (напр. **E** 300) означаютъ внутренніе діаметры; второе число подъ дробною чертою $\left(\text{напр. } \mathbf{A}\ \frac{390}{150}\right)$ означаетъ діаметръ отростка, а для отводовъ—число частей въ одномъ квадрантѣ (т.-е. $90 : \alpha$).

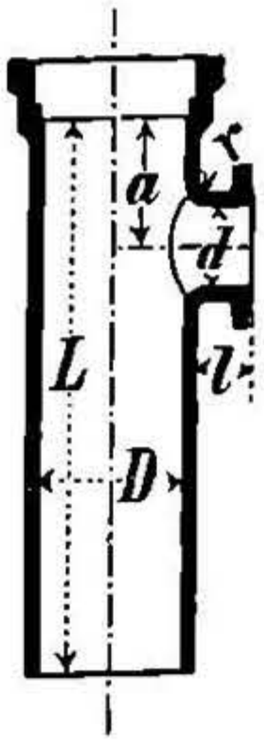
НТБ ДНУЗТ

Всѣ формы фасонныхъ частей трубопроводовъ, діаметромъ выше 750 mm, не относятся къ числу нормальныхъ.

При опредѣленіи вѣса фасонныхъ частей трубопроводовъ, слѣдуетъ къ вычислепному по нормальнымъ размѣрамъ вѣсу прибавлять 15%, а въ случаѣ отводовъ—20%. Трубопроводы, у которыхъ діаметръ отростковъ (отводовъ) болѣе 400 mm, должны имѣть большую толщину стѣнокъ (при внутреннемъ давленіи въ 2 атм. и больше), а въ случаѣ надобности—укрѣпляться ребрами.

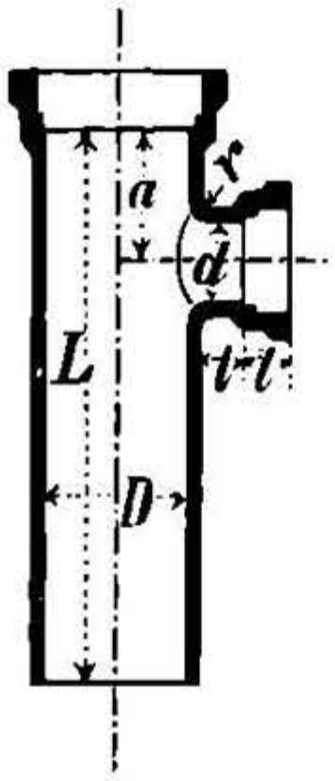
Черт. 441.

A $\frac{300}{150}$



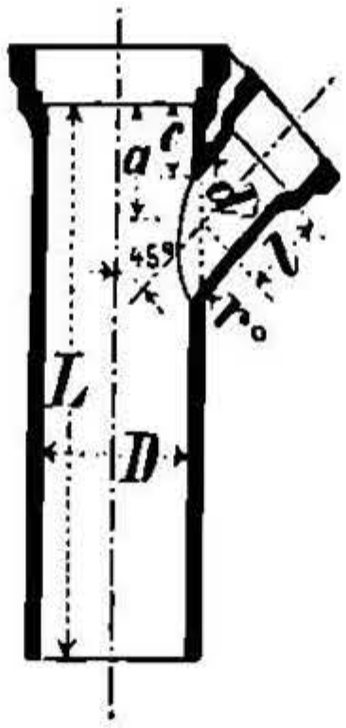
Черт. 442.

B $\frac{300}{150}$



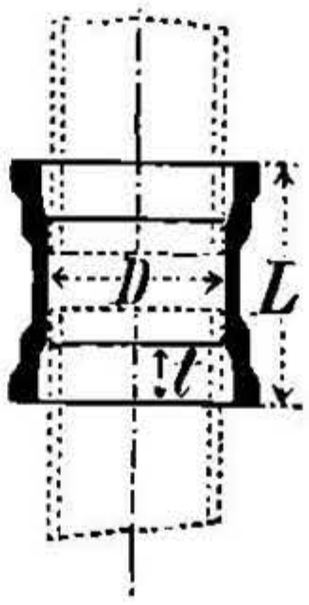
Черт. 443.

C $\frac{300}{150}$



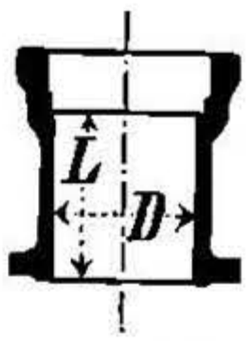
Черт. 444.

Ü 300



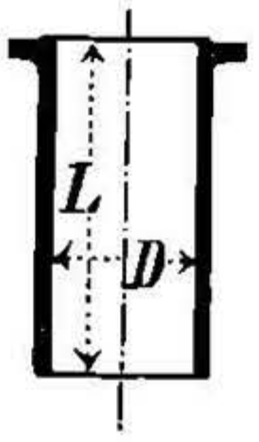
Черт. 445.

E 300



Черт. 446.

F 300

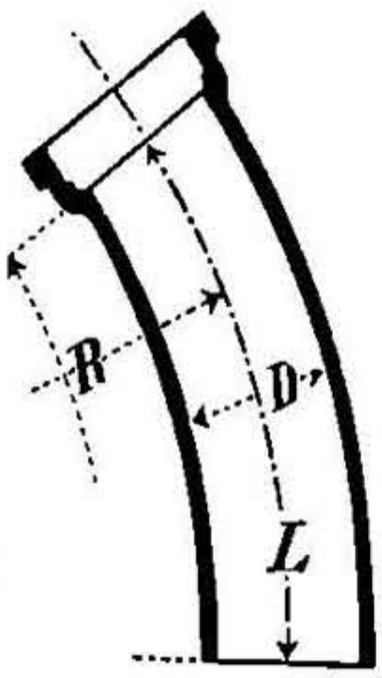


Черт. 447.

R $\frac{300}{200}$

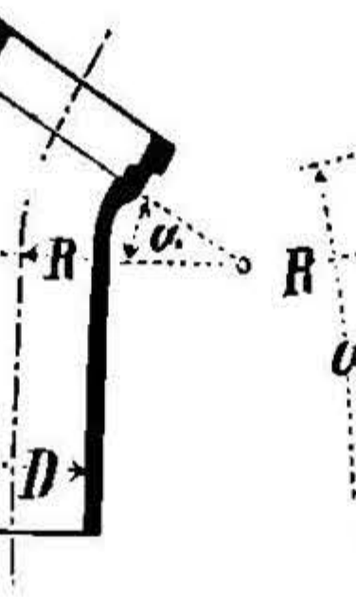
Черт. 448.

L $\frac{300}{3}$



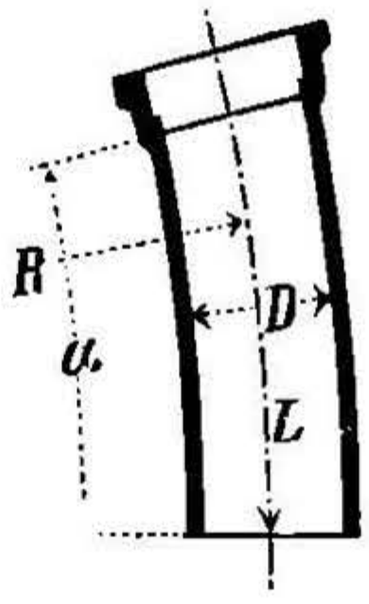
Черт. 449.

J 300

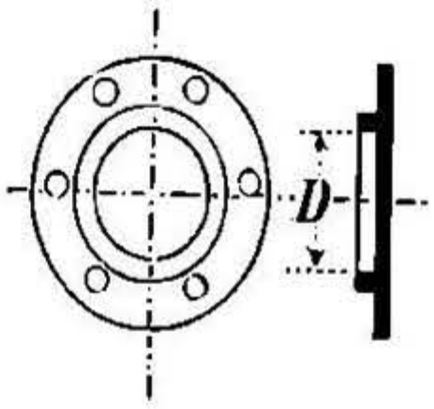


Черт. 450.

K $\frac{300}{6}$

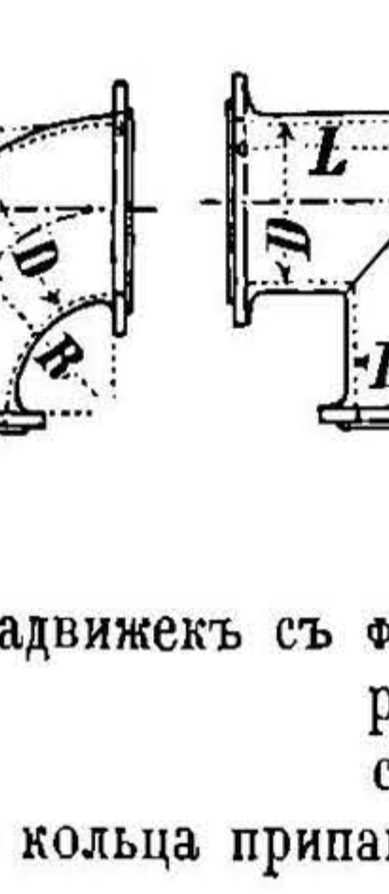


Черт. 451.



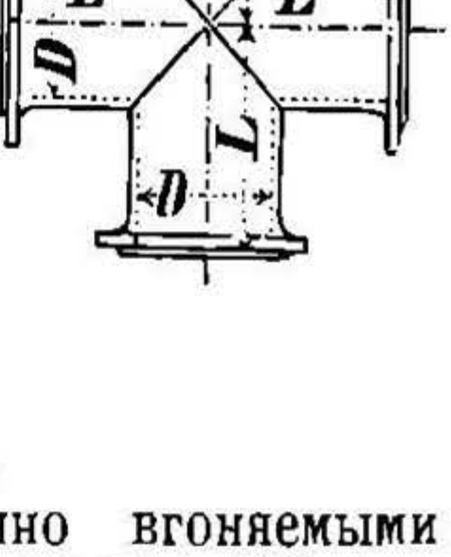
Черт. 452.

Черт. 453.



Черт. 454.

Черт. 455.



Черт. 456.

Черт. 457.

Черт. 458.

Черт. 459.

Черт. 460.

Длина задвижекъ.

Длина задвижекъ съ фланцами $L = D + 200$ mm,

„ раструбами и непосредственно вгоняемыми сѣдалищными кольцами: $L = 0{,}7\,D + 100$ mm,

если же кольца припаиваются, то $L = D - 2\,t + 250$ mm.

НТБ ДНУЗТ

Вѣсъ чугунныхъ фасонныхъ частей въ kg.

D mm	Части A (черт. 441). d (въ mm) =							Части B (черт. 442). d (въ mm) =						
	D	80	100	150	200	300	400	D	80	100	150	200	300	400
40	14							14						
50	19							19						
60	22							22						
70	27							27						
80	30	30						31	31					
90	33	32						34	33					
100	37	35	37					38	36	38				
125	54	49	51	.				55	50	52	.			
150	68	59	63	68				70	60	64	70			
175	88	79	81	84	.			90	80	82	86	.		
200	97	88	90	91	97			100	89	91	94	100		
225	106	95	97	100	104			110	96	98	102	107		
250	125	111	113	116	121			130	112	114	118	124		
275	144	126	128	131	136	.		150	127	129	133	139	.	
300	162	146	148	152	155	162		170	147	149	154	158	170	
350	241	174	148	182	187	199		250	175	179	184	190	207	
400	299	210	212	216	222	234	299	310	211	213	218	225	242	310
450	348	240	243	248	255	268	340	354	246	249	254	260	276	346
500	414	284	288	293	300	312	388	416	287	290	295	301	320	396
550	562	327	330	337	346	426	452	582	328	331	340	350	437	468
600	630	367	370	377	386	473	500	658	368	371	380	390	485	516

D mm	Части C (черт. 443). d (въ mm) =						Части D (черт.444). kg	Части E (черт.445). kg	Части F (черт.446). kg	Части K (черт. 450). Уголъ α =			
	D	80	100	150	200	300				45°	30°	22,5°	15°
40	16	.	.	.	.	.	7	9	8	7	6		.
50	21		.				8	11	10	9	7		
60	25						10	13	12	13	9		
70	31	.					12	15	14	16	13	.	
80	37	37					14	17	16	21	16	14	
90	40	39					17	19	18	25	18	16	
100	48	42	48				19	21	20	30	22	18	
125	65	57	60	.			24	26	26	45	33	28	
150	82	69	72	82	.		31	32	32	66	48	39	
175	106	88	91	101	.		38	39	40	94	66	53	
200	119	95	98	108	119		45	47	48	.	87	70	
225	132	102	105	115	126		53	55	54		112	90	.
250	152	115	118	128	139		62	62	63		142	113	83
275	178	133	136	146	157	.	71	70	71		176	140	.
300	229	149	152	162	173	229	82	78	80		215	170	123
325	255	164	167	177	188	245	91	85	90		.	202	.
350	282	179	182	192	203	261	103	95	100			240	173
375	310	199	202	212	223	281	114	104	110			272	
400	354	218	221	231	242	309	125	116	120				230
425	371	229	232	243	256	330	135	126	130			.	.
450	457	250	253	263	276	355	146	138	140			407	290
475	500	270	273	284	297	380	157	152	150			.	.
500	550	294	297	307	320	410	175	167	212				376

НТБ ДНУЗТ

Вѣсъ фасонныхъ чугунныхъ частей въ kg.

D mm	Части R (черт. 447). Внутренній діаметръ d трубы со стороны раструба въ mm.																
	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450
60	16	.															
70	19	20	.														
80	21	22	24	.													
90	23	25	27	28	.												
100	24	26	30	32	34	.											
125	27	29	32	35	37	40											
150	34	35	38	40	43	45	50	.									
175	41	43	45	47	49	51	56	62	.	.							
200		49	52	54	56	58	63	69	71	.	.						
225		.	58	61	62	64	69	75	80	82	.						
250			66	68	70	72	77	82	88	90	93						
275				76	77	79	84	90	96	102	104	105	.				
300				82	84	86	91	97	103	110	118	124	126	.			
325					94	96	100	106	112	119	126	134	136	137			
350					.	103	108	114	120	127	134	141	146	150	.		
375					.		118	124	130	136	142	148	154	162	167		
400								130	136	142	148	157	163	172	176	.	
425								.	145	154	160	166	174	184	190	198	
450									.	166	172	178	185	194	201	212	.
475											184	190	196	204	218	224	232
500												.	208	215	232	238	245
550															260	270	280

Фланцевыя фасонныя части.

(Черт. 451 до 455, стр. 569).

D Діаметръ въ свѣту. mm	Діаметръ фланца. mm	Глух. фланецъ (крышка). kg	Угольники фланцевые. kg	Т-Тройники фланцевые. kg	+-Кресты фланцевые. kg	D Діаметръ въ свѣту. mm	Діаметръ фланца. mm	Глух. фланецъ (крышка). kg	Угольники фланцевые. kg	Т-Тройники фланцевые. kg	+-Кресты фланцевые. kg
40	140	2,5	7	10	13	**225**	370	21	65	88	117
50	160	3	8	13	17	**250**	400	25	80	110	147
60	175	3,5	10	15	20	**275**	425	29	95	135	180
70	185	4	13	19	25	**300**	450	33	110	165	205
80	200	4,5	15	21	28	**325**	490	39	130	190	255
90	215	5	18	25	33	**350**	520	45	150	220	295
100	230	6	20	29	39	**375**	550	50	175	255	340
125	260	8	26	40	53	**400**	575	54	200	290	390
150	290	10	35	52	69	**425**	600	60	226	328	436
175	320	13	45	64	85	**450**	630	66	255	370	490
200	350	17	55	76	102	**475**	655	70			

НТБ ДНУЗТ

c. Желѣзныя трубы.

1. Клепаныя трубы для большихъ діаметровъ. Опредѣленіе толщины стѣнокъ s, изготовленіе см. стр. 422, 423, 437 и слѣд. Діаметръ заклепокъ зависитъ отъ s (стр. 437 и слѣд.). При опредѣленіи величины s необходимо принимать въ разсчетъ ржавленіе или износъ отъ другихъ причинъ, а равно и внѣшнія силы.

Трубы соединяются приклепанными къ нимъ угольниками, образующими фланцы. Разстояніе между дырами для болтовъ во фланцахъ зависитъ отъ разстоянія между заклепками. Если послѣднее разстояніе не превосходитъ 160 mm, то толщина угольника принимается $\geqq {}^4/_5$ діаметра болта.

2. Паяныя трубы служатъ почти исключительно для парового отопленія. Размѣры (чугунныхъ) фланцевъ и болтовъ дѣлаются согласно нормалей стр. 567.

3. Заварныя трубы, сваренныя въ притыкъ, или лучше, въ нахлестку (накладку), или безъ шва. Въ зависимости отъ назначенія трубъ—для жидкости, газа, воздуха, пара, отопленія или вентиляціи,—трубы изготовляются непокрытыми ничѣмъ или покрываются асфальтовымъ лакомъ, сурикомъ или масляной краской, покрываются цинкомъ, оловомъ или слоемъ красной мѣди (электролит. путемъ), толщиною 0,5 до 6 mm.

Трубы для значительнаго внутренняго давленія соединяются: 1) свободно вращающимися фланцами,—концы трубъ имѣютъ борты, 2) свободно вращающимися фланцами и приваренными на концахъ трубъ желѣзными бортами, которые приточены другъ къ другу, 3) то же соединеніе, какъ и предыдущее, но приваренные фланцы обточены гладко и бортовъ не имѣютъ, 5) приклепанными или припаянными неподвижными угольниками. Пробное давленіе равно полуторному—до двойного рабочаго давленія.

Заводъ Шульцъ-Кнаудтъ (въ Эссенѣ) изготовляетъ заварныя жаровыя трубы для паровыхъ котловъ діаметромъ 0,4 до 2,0 m, толщиною стѣнокъ 8 до 35 mm; длина до 10 m, вѣсъ до 5000 kg.

Газовыя трубы, сваренныя въ притыкъ, изготовляются слѣдующихъ размѣровъ (въ свѣту):
${}^1/_8$ ${}^1/_4$ ${}^3/_8$ ${}^1/_2$ ${}^5/_8$ ${}^3/_4$ ${}^7/_8$ 1 $1{}^1/_4$ $1{}^1/_2$ $1{}^3/_4$ 2 $2{}^1/_4$ $2{}^1/_2$ $2{}^3/_4$ 3 $3{}^1/_2$ 4 англ дюйма. Наиболѣе употребительны трубы отъ ${}^3/_8$ до 3 дюйм. Соединеніе газовыхъ трубъ см. часть II, производство свѣтильнаго газа.

Трубы для высокаго внутренняго давленія, для манометровъ и т. д.; толщина стѣнокъ въ среднемъ ${}^1/_4$ дюйма.

Внутренній діам. въ англ. дюйм.	${}^1/_4$	${}^3/_8$	${}^1/_2$	${}^5/_8$	${}^3/_4$	1	$1{}^1/_4$	$1{}^1/_2$	$1{}^3/_4$	2 ,
„ „ „ mm	6	10	13	16	19	25	32	38	44	51
Вѣсъ трубы въ kg на пог. m . .	2,05	2,5	2,9	3,4	3,9	4,9	6,0	7,0	7,8	9,0.

Трубы безъ шва съ продольными ребрами (Duisburger Eisen-und Stahlwerke). Трубы изготовляются діаметромъ $5{}^1/_4$ до $8{}^3/_4$ англ. дюйм., толщина стѣнокъ 3 до 10 mm, длиною 6 до 10 m (также овальнаго или квадратнаго сѣченіи). Матеріалъ—весьма тягучая

(Продолженіе см. стр. 574).

НТБ ДНУЗТ

Трубы, сваренныя въ нахлестку (накладку).

Допускаемое рабочее давленіе до 15 атмосферъ.

Наружній діаметръ.		Обыкновенная толщина стѣнокъ.	Фланецъ.		Діаметръ круга центровъ болтовъ	Болты.			Вѣсъ трубы.	
			Діаметръ.	Толщина.		Діаметръ отверстій для болтовъ.	Діаметръ.	Число.	Съ фланцемъ.	Безъ фланца.
Англ. дюйм.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Англ. дюйм.		kg. въ пог. т.	
1 1/2	38,1	2 1/4	96	8	68	11,5	3/8	4	2,20	1,97
1 5/8	41,3	2 1/4	99	8	71	11,5	3/8	4	2,40	2,17
1 3/4	44,4	2 1/4	103	8	75	11,5	3/8	4	2,57	2,32
1 7/8	47,6	2 1/4	106	8	78	11,5	3/8	4	2,74	2,49
2	50,8	2 1/2	116	10	84	15	1/2	4	3,22	2,97
2 1/8	54,0	2 1/2	121	10	89	15	1/2	4	3,50	3,15
2 1/4	57,1	2 3/4	124	10	92	15	1/2	4	4,00	3,65
2 3/8	60,3	3	129	10	97	15	1/2	4	4,60	4,20
2 1/2	63,5	3	133	12	101	15	1/2	4	4,90	4,45
2 3/4	69,8	3	140	12	108	15	1/2	4	5,40	4,90
3	76,2	3	146	12	114	15	1/2	4	5,90	5,35
3 1/4	82,5	3 1/4	163	12	126	18	5/8	4	7,05	6,35
3 1/2	88,9	3 1/4	169	14	132	18	5/8	4	7,66	6,78
3 3/4	95,2	3 1/4	175	14	138	18	5/8	4	8,17	7,30
4	101,6	3 3/4	185	14	148	18	5/8	4	10,00	9,01
4 1/4	108,0	3 3/4	191	14	154	18	5/8	4	10,60	9,56
4 1/2	114,3	3 3/4	197	14	160	18	5/8	4	11,20	10,10
4 3/4	120,7	4	204	14	167	18	5/8	4	12,63	11,46
5	127,0	4	226	16	179	21	3/4	4	13,68	12,03
5 1/4	133,4	4	231	16	184	21	3/4	4	14,35	12,65
5 1/2	139,7	4 1/2	239	16	192	21	3/4	4	16,70	14,90
5 3/4	146,1	4 1/2	245	16	198	21	3/4	6	17,40	15,55
6	152,4	4 1/2	254	16	207	21	3/4	6	18,10	16,20
6 1/4	158,8	4 1/2	261	16	214	21	3/4	6	19,10	17,00
6 1/2	165,1	4 1/2	269	16	222	21	3/4	6	19,70	17,65
6 3/4	171,5	4 1/2	275	16	228	21	3/4	6	20,60	18,30
7	177,8	4 1/2	286	18	240	21	3/4	6	21,70	19,10
7 1/2	190,5	5 1/2	300	18	253	21	3/4	6	27,70	24,90
8	203,2	5 1/2	313	20	266	21	3/4	6	29,90	26,60
8 1/2	215,9	6 1/2	327	20	280	21	3/4	6	36,70	33,20
9	228,6	6 1/2	341	20	294	21	3/4	6	38,90	35,30
9 1/2	241,3	6 1/2	354	22	306	21	3/4	8	41,40	37,20
10	254,0	6 1/2	372	22	323	21	3/4	8	44,30	39,50
10 1/2	266,7	7	385	22	336	21	3/4	8	49,50	44,50
11	279,4	7 1/2	404	25	353	21	3/4	8	55,90	49,60
11 1/2	292,1	7 1/2	417	25	365	21	3/4	8	58,70	52,10
12	304,8	7 1/2	430	25	379	21	3/4	8	61,50	54,70
12 1/2	317,5	8	442	25	392	21	3/4	8	66,00	60,50

Употребительная длина 4 до 5 или 6 m. Трубы эти примѣняются также и для **паровыхъ котловъ** (въ паровозахъ, пароходахъ и постоянныхъ водотрубныхъ и трубчатыхъ котлахъ), причемъ можно имѣть эти трубы съ увеличеннымъ или уменьшеннымъ діаметромъ на концахъ, а равно и съ напаянными наконечниками. Для **отопленія** и для паропроводовъ съ незначительнымъ внутреннимъ давленіемъ трубы эти діам. отъ 4″ имѣютъ нѣсколько меньшую толщину стѣнокъ.

НТБ ДНУЗТ

сталь Сименса-Мартена. Трубы имѣютъ два діаметрально противоположныхъ ребра, высотою 20 до 25 mm и толщиною, равною двойной толщинѣ стѣнокъ трубы; соединенія см. выше 1 до 5.

Эти трубы весьма удобны не только для трубопроводовъ, но также и для колоннъ, подпоръ для палубы судовъ, телеграфныхъ и телефонныхъ столбовъ, а также мачтъ для освѣщенія. Преимущества: небольшая толщина стѣнокъ и небольшой вѣсъ; большое сопротивленіе изгибу, дешевое соединеніе и надежная конструкція.

Спирально-заварныя трубы (Ehrhardt & Heye, Дюссельдорфъ). Матеріалъ—тягучая сталь Сименса-Мартена или тягучее сварочное желѣзо. Трубы изготовляются діам. 6 до 24 англ. дюйм., толщина стѣнокъ 2, 5 до 6 mm и опредѣленнаго наружняго діаметра 157, 182, 208, 233, 259, 311, 362, 416, 467, 517, 571 и 622 mm. Обыкновенная длина 10 до 5 m и наибольшая длина 20 до 10 m. Соединеніе или при помощи патентованныхъ скобъ Эргардта, которыя непосредственно насаживаются на бортованные концы трубъ, причемъ сберегаются фланцы и болты, или по способамъ вышеприведеннымъ въ 1 до 3.

Обсадныя трубы для буренія колодцевъ, съ длинной нарѣзкой и цилиндрическими раструбами, обыкновенно покрываются цинкомъ. Длина до 5 m. При различной толщинѣ стѣнокъ наружній діаметръ не мѣняется, уменьшается лишь внутренній діаметръ при увеличеніи толщины стѣнокъ трубы. Употребительные наружніе діаметры 33, 42, 48, 51,5, 59, 69, 76, 82 и 89 mm. Толщина стѣнокъ: 4, 4,5, 5, 6 и 7 mm.

d. Стальныя трубы безъ шва (трубы Манесмана)

германско-австрійскихъ заводовъ для изготовленія трубъ Манесмана, въ Дюссельдорфѣ.

1. Трубы безъ шва для **котловъ** и **трубопроводовъ** изготовляются соотв. даннымъ стр. 573. Кромѣ этихъ нормальныхъ трубъ, прокатываются еще трубы толщиною стѣнки большею на $^1/_4$ до 10 mm при томъ же наружнемъ діаметрѣ. Употребительная длина 4 до 6 m. Пробное давленіе 50 атм.

2. Трубы безъ шва для **трубопроводовъ высокаго давленія**, соединяющіяся на фланцахъ съ двойными бортами. Плотное соединеніе: оба двойныхъ борта имѣютъ кольцевой назъ (углубленіе), въ которомъ зажимается гутаперчевое или резновое кольцо; кольцо это удерживается отъ выдавливанія охватывающимъ мѣднымъ кольцомъ (крестообразнаго сѣченія).

Внутрен. діаметръ mm	Толщина стѣнокъ. mm	Употр. длина. m	Пробное давл. атм.	Внутрен. діаметръ. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Употр. длина. m	Пробное давл. атм.
30	3,5 и 4	5—7	25—525	125	4,5, 5 и 5,5	5—8	25—300
40	3,5 и 4	5—6	25—450	130	4,5, 5 и 5,5	5—8	25—250
50	3 и 3,5	5—6	25—425	150	5,5, и 6,5	5—8	25—250
60	3, 3,5 и 4	5—6	25—400	175	6 и 7	5—8	25—250
70	3, 3,5 и 4	5—6	25—350	191	6,5, 7 и 8	5—8	25—250
80	3,5, 4 и 4,5	5—7	25—350	207	13	4—5	375
90	3,5, 4 и 4,5	5—8	25—300	213	10	5—7	300
100	4, 4,5 и 5	5—8	25—300	216	8	5—7	25—200

НТБ ДНУЗТ

Съ увеличеніемъ пробнаго давленія въ 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 и 525 атм. выбираются большіе размѣры для фланцевъ, діаметра и числа болтовъ, для толщины стѣнокъ (при томъ же внутреннемъ діаметрѣ), такъ что предыдущая таблица охватываетъ 109 различныхъ сортовъ трубъ).

3. Стальныя трубы Манесмана съ раструбами—для замѣны обладающихъ меньшимъ сопротивленіемъ чугунныхъ трубъ съ раструбами. Употребительная длина 4 до 6 m. Пробное давленіе 70 атм. Для предохраненія отъ ржавчины асфальтируются въ горячемъ состояніи и обертываются просмоленой ютой. Обозначенія D, s и т. д. см. черт. 439, стр. 566.

Внутр. діам. D. .	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	mm
Толщина стѣн. s	3	3	3	3,25	3,5	4	4	4,5	5,5	6	„
Внутр. діам, раструба D_2. . .	60	71	81	91,5	102	113	123	149	176	202	„
Толщина раструба y . .	9	10	10	11	11	12	12	13	14	14	„
Длина раструба t. .	87	91	94	97	99	102	105	109	112	115	„
Длина набивки t'. .	62	65	67	69	70	72	74	77	79	81	„
Вѣсъ 1 ног. m. .	3,57	4,6	5,1	6,37	7,74	10,5	11,6	16,4	24,2	30,2	kg

4. Кромѣ того, изготовляются всякаго рода стальныя трубы Манесмана для велосипедовъ, трубы безъ шва газовыя, колодезныя, Перкинса (см. ч. II, четырнадцатый отдѣлъ, отопленіе), для манометровъ, для связей, трубы для котловъ Фильда, для тягъ центральнаго управленія стрѣлками, закаливаемыя трубы изъ инструментальной стали для буксъ, цапфъ и валковъ въ паровозахъ, паровыхъ машинахъ и т. д., штанги для телеграфовъ, телефоновъ, знаменъ и громоотводовъ, столбы для передачи электрическаго тока и освѣщенія, сосуды для углекислоты и т. д.

e. Гибкія трубы.

Фельтенъ и Гильомъ, въ Мюльгеймѣ (Рейнъ).

Свинцовая труба, діаметромъ 52 mm и толщиною стѣнокъ 4 mm, обертывается слоемъ пропитаннаго сукна, поверхъ котораго идетъ фасонная проволока толщиною 6,5 mm. Эта арматура, для предохраненія отъ ржавчины, покрывается болѣе толстымъ слоемъ пропитаннаго сукна, вокругъ котораго имѣется обмотка изъ оцинкованной желѣзной проволоки. Наружній діам. 82 mm, вѣсъ 20 kg/ног. m. Пробное давленіе до 50 атм. Примѣняются для водо- и керосинопроводовъ при проходѣ черезъ рѣки, озера и болота.

f. Свинцовыя и оловянныя трубы.

Примѣчанія къ стр. 576 до 579.

Сорта трубъ, отмѣченные на стр. 545 и 548 знакомъ *, не продаются кругами, а рѣжутся на прямыя трубы, обертываются соломой, или упаковываются въ планки или ящики. При свертываніи въ круги дѣлаются плоскими.

Всѣ сорта **свинцовыхъ трубъ** изготовляются: 1) непокрытыми оловомъ, 2) изнутри покрытыми сѣрнистымъ натріемъ, 3) покрытыми оловомъ изнутри и снаружи, 4) покрытыми оловомъ изнутри и снаружи, за неключеніемъ трубъ діам. 3, 4, 5, 6 и 7 mm, которыя изготовляются или непокрытыми оловомъ для покрытыми оловомъ только снаружи.

Трубы твердаго свинца изготовляются изъ мягкаго свинца съ прибавкой 10% до 15% сурьмянистаго свинца. Онѣ обладаютъ большею упругостью при измѣненіяхъ температуры по сравненію съ трубами мягкаго свинца, почему имъ отдается предпочтеніе для паропроводовъ.

НТБ ДНУЗТ

Свинцовыя и оловянныя трубы.

1. Трубы твердаго свинца *).

Діаметръ въ свѣту.	Толщина стѣнокъ	Вѣсъ погон. метра.	Наибольшая длина.	Допускаемое внутреннее давленіе.	Діаметръ въ свѣту.	Толщина стѣнокъ	Вѣсъ погон. метра.	Наибольшая длина.	Допускаемое внутреннее давленіе.	Діаметръ въ свѣту.	Толщина стѣнокъ	Вѣсъ погон. метра.	Наибольшая длина.	Допускаемое внутреннее давленіе.
mm	mm	kg	m	Атм.	mm	mm	kg	m	Атм.	mm	mm	kg	m	Атм.
13	1,5	0,8	60,0	11,5	35	3,0	4,1	16,6	8,5	52	2,0	3,9	3,1*	3,5
15	1,5	0,9	53,0	10,0	36	1,5	2,0	3,1*	4,0	52	2,5	4,9	3,1*	4,5
16	1,5	1,0	47,0	9,0	36	2,0	2,7	3,1*	5,5	52	3,0	5,9	3,1*	5,5
16	2,0	1,3	48,0	12,5	36	2,5	3,4	3,1*	6,5	52	3,5	6,9	9,1	6,5
17	1,5	1,0	47,0	8,5	38	1,5	2,1	3,1*	3,5	54	2,0	4,0	3,1*	3,5
17	2,0	1,4	47,0	11,5	38	2,0	2,8	3,1*	5,0	54	3,0	6,0	3,1*	5,5
18	1,5	1,0	47,0	8,0	38	2,5	3,6	3,1*	6,5	54	3,5	7,2	8,4	6,0
18	2,0	1,4	46,0	11,0	38	3,0	4,4	15,4	7,5	56	2,0	4,1	3,1*	3,5
19	1,5	1,1	42,0	7,5	40	1,5	2,2	3,1*	3,5	56	3,0	6,3	3,1*	5,0
19	2,0	1,5	43,0	10,5	40	2,0	3,0	3,1*	5,0	56	3,5	7,4	8,0	6,0
20	1,5	1,2	39,0	7,5	40	2,5	3,8	3,1*	6,0	59	2,0	4,3	3,1*	3,0
20	2,0	1,6	45,0	10,0	40	3,0	4,6	14,5	7,5	59	3,0	6,6	3,1*	5,0
21	1,5	1,2	41,0	7,0	41	1,5	2,3	3,1*	3,5	59	3,5	7,8	3,1*	5,5
21	2,0	1,6	44,0	9,5	41	3,0	4,7	13,8	7,0	60	2,5	5,6	3,1*	3,0
22	1,5	1,3	38,0	6,5	42	1,5	2,3	3,1*	3,5	60	3,0	6,7	3,1*	5,5
22	2,0	1,7	42,0	9,0	42	2,0	3,2	3,1*	4,5	65	2,0	4,8	3,1*	3,0
23	1,5	1,3	38,0	6,5	42	2,5	4,0	3,1*	5,5	65	3,0	7,3	3,1*	4,5
23	2,0	1,8	39,0	8,5	42	3,0	4,8	13,5	7,0	65	4,0	9,8	7,3	6,0
24	1,5	1,4	35,0	6,0	44	1,5	2,4	3,1*	3,0	68	2,5	6,3	3,1*	3,5
24	2,0	1,9	37,0	8,0	44	2,0	3,3	3,1*	4,5	68	4,0	10,3	6,8*	2,5
25	1,5	1,4	3,1*	6,0	44	2,5	4,1	3,1*	5,5	70	3,5	9,2	3,1*	3,5
25	2,0	1,9	37,0	8,0	44	3,0	5,0	13,0	6,5	75	3,5	9,8	3,1*	4,5
26	1,5	1,5	3,1*	5,5	46	1,5	2,6	3,1*	3,0	75	4,0	11,2	5,6*	5,0
26	2,0	2,0	35,0	7,5	46	2,0	3,5	3,1*	4,0	80	2,5	7,3	3,1*	3,5
27	1,5	1,5	3,1*	5,5	46	2,5	4,3	3,1*	5,0	95	3,0	10,9	4,0*	3,0
27	2,0	2,1	33,0	7,0	46	3,0	5,3	12,2	6,5	100	3,5	12,7	3,4*	4,0
28	1,5	1,6	3,1*	5,0	48	1,5	2,7	3,1*	3,0	105	3,0	10,3	3,9*	2,5
28	2,0	2,1	33 0	7,0	48	2,0	3,6	3,1*	4,0	110	4,0	14,0	5,3*	3,5
29	1,5	1,6	3,1*	5,0	48	2,5	4,5	3,1*	5,0	115	2,5	10,5	3,3*	2,0
29	2,0	2,2	31,0	6,5	48	3,0	5,5	11,6	6,0	120	3,5	16,1	4,2*	2,5
30	1,5	1,7	3,1*	5,0	48	3,5	6,4	10,0	7,0	125	2,5	12,3	4,9*	2,0
30	2,0	2,3	30,0	6,5	50	1,5	2,8	3,1*	3,0	130	4,0	19,0	4,5*	3,0
32	1,5	1,8	3,1*	4,5	50	2,0	3,7	3,1*	4,0	135	3,5	15,7	4,2*	2,5
32	2,0	2,5	3,1*	6,0	50	2,5	4,7	3,1*	5,0	140	3,0	14,3	4,2*	2,0
35	1,5	2,0	3,1*	4,0	50	3,0	5,7	11,2	6,0	160	3,0	17,5	3,1*	1,5
35	2,0	2,7	3,1*	5,5	50	3,5	6,7	9,5	7,0	180	3,0	19,9	4,2*	1,5
35	2,5	3,4	20,0	7,0	52	1,5	2,9	3,1*	2,5	200	3,5	24,1	2,2*	1,5

*) См. примѣчаніе на стр. 575.

НТБ ДНУЗТ

2. Трубы мягкаго свинца *).

Діаметръ въ свѣту. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Вѣсъ погон. метра. kg	Наибольшая длина. m	Допускаемое внутреннее давленіе. Атм.	Діаметръ въ свѣту. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Вѣсъ погон. метра. kg	Наибольшая длина. m	Допускаемое внутреннее давленіе. Атм.	Діаметръ въ свѣту. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Вѣсъ погон. метра. kg	Наибольшая длина. m	Допускаемое внутреннее давленіе. Атм.
3	1,0	0,14	77	16	13	3,0	1,7	43,5	11	22	5,5	5,4	13,1	12
3	1,5	0,23	42	25	13	3,5	2,1	34,7	13	22	6,0	6,0	11,8	13
3	2,0	0,35	28	33	13	4,0	2,4	30,4	15	23	2,5	2,3	30,8	5
4	1,5	0,29	34	18	13	4,5	2,8	26,0	17	23	3,5	3,3	21,5	7
4	2,0	0,40	62	25	13	5,0	3,2	22,8	19	23	4,5	4,4	16,0	9
4	2,5	0,57	41	31	15	2,0	1,2	53,8	6	23	6,0	6,2	11,4	13
4	3,0	0,70	33	37	15	2,5	1,6	41,6	8	24	2,5	2,4	29,5	5
5	1,5	0,4	65	15	15	3,0	1,9	38,5	10	24	3,0	3,0	23,6	6
5	2,0	0,5	58	20	15	3,5	2,3	30,5	12	24	4,0	4,0	17,7	8
5	2,5	0,7	40	25	15	4,0	2,7	27,0	13	24	5,0	5,2	13,6	10
5	3,0	0,9	32	30	15	4,5	3,1	23,5	15	24	6,0	6,4	11,0	12
6	1,5	0,4	67	12	15	5,0	3,6	20,0	16	25	2,0	1,9	37,5	4
6	2,0	0,6	48	16	16	3,0	2,1	34,0	9	25	2,5	2,5	28,4	5
6	2,5	0,8	36	20	16	4,0	2,8	25,5	12	25	3,0	3,0	23,6	6
6	3,0	1,0	29	25	16	5,0	3,7	19 5	15	25	3,5	3,6	19,7	7
7	1,5	0,5	51	10	17	2,5	1,7	37,5	7	25	4,0	4,1	17,3	8
7	2,0	0,7	40	14	17	3,5	2,5	28,8	10	25	4,5	4,7	15,0	9
7	2,5	0,9	32	17	17	4,5	3,4	21,1	13	25	5,0	5,4	13,1	10
7	3,0	1,0	29	21	18	2,5	1,8	36,0	7	25	5,5	6,0	11,8	11
8	1,5	0,5	58	9	18	3,0	2,3	31,5	8	25	6,0	6,6	10,7	12
8	2,0	0,8	56	12	18	3,5	2,7	27,0	9	26	2,5	2,5	28,4	5
8	2,5	0,9	50	15	18	4,0	3,1	23,0	11	26	3,5	3,7	19,1	6
8	3,0	1,2	38	19	18	4,5	3,6	20,0	12	26	4,5	4,9	14,5	8
9	1,5	0,6	48	8	18	5,0	4,1	17,5	14	26	5,5	6,2	11,4	10
9	2,0	0,8	60	11	18	5,5	4,6	15,6	15	27	3,0	3,2	21,8	5
9	2,5	1,0	50,4	14	18	6,0	5,1	14,1	17	27	4,0	4,4	15,9	7
9	3,0	1,3	38,7	16	19	3,0	2,4	30,0	8	27	5,0	5,7	12,2	9
9	3,5	1,6	32,5	19	19	4,0	3,3	22,0	10	27	6,0	7,1	9,8	11
10	1,5	0,6	45	7	19	5,0	4,3	16,7	13	28	2,5	2,7	25,9	4
10	2,0	0,9	75	10	19	6,0	5,3	13,5	16	28	3,0	3,3	21,2	5
10	2,5	1,1	60	12	20	2,5	2,0	36,0	6	28	3,5	3,9	17,9	6
10	3,0	1,5	44	15	20	3,0	2,4	30,0	7	28	4,0	4,5	15,5	7
10	3,5	1,7	40	17	20	3,5	2,9	25,0	8	28	4,5	5,2	13,4	8
11	1,5	0,7	38	7	20	4,0	3,4	21,0	10	28	5,0	5,9	11,8	9
11	2,0	0,9	73	9	20	4,5	3,9	18,5	11	28	5,5	6,6	10,6	9,5
11	2,5	1,2	58	11	20	5,0	4,5	16,0	12	28	6,0	7,2	9,7	10
11	3,0	1,5	44	13	20	5,5	5,0	14,4	13	29	3,0	3,4	20,5	5
11	3,5	1,8	38	16	20	6,0	5,6	12,8	15	29	4,0	4,7	14,9	7
12	1,5	0,8	32	6	21	3,0	2,6	27,5	7	29	5,0	6,1	11,4	8
12	2,0	1,0	65	8	21	4,0	3,6	19,7	9	29	6,0	7,5	9,3	10
12	2,5	1,3	58	10	21	5,0	4,6	15,4	12	30	2,5	2,9	24,1	4
12	3,0	1,6	47	12	21	6,0	5,8	12,2	14	30	3,0	3,6	19,4	5
12	3,5	1,9	38	15	22	2,5	2,2	32,2	5	30	3,5	4,2	16,6	6
12	4,0	2,3	32	16	22	3,0	2,7	26,2	7	30	4,0	4,9	14,3	6
12	4,5	2,6	25,2	18	22	3,5	3,2	22,1	8	30	4,5	5,5	12,6	7
12	5,0	3,0	24,6	20	22	4,0	3,7	19,1	9	30	5,0	6,3	11,1	8
13	2,0	1,1	62,0	7	22	4,5	4,2	16,9	10	30	5,5	7,0	10,0	9
13	2,5	1,4	46,5	9	22	5,0	4,8	14,8	11	30	6,0	7,7	11,9	10

*) См. примѣчаніе на стр. 575.

НТБ ДНУЗТ

Діаметръ въ свѣту. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Вѣсъ погон. метра. kg	Наибольшая длина. m	Допускаемое внутреннее давленіе. Атм.	Діаметръ въ свѣту. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Вѣсъ погон. метра. kg	Наибольшая длина. m	Допускаемое внутреннее давленіе. Атм.	Діаметръ въ свѣту. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Вѣсъ погон. метра. kg	Наибольшая длина. m	Допускаемое внутреннее давленіе. Атм.
32	2,5	3,1	22,5	4	44	5,0	8,7	10,3	5,5	65	9,0	23,4	4,8	6,5
32	3,0	3,8	18,6	4,5	44	5,5	9,8	9,0	6	68	4,5	11,8	6,5*	3
32	3,5	4,5	15,6	5	44	6,0	10,8	8,1	7	68	5,5	14,0	5,4*	4
32	4,0	5,1	13,6	6	44	7,0	12,7	6,7	8	68	6,0	15,9	4,7*	4,5
32	4,5	5,8	12,0	7	46	3,5	6,2	10,4	3,5	68	7,5	20,2	5,4*	5
32	5,0	6,6	11,0	8	46	4,0	7,1	9,1	4	68	8,5	22,7	4,8*	6
32	5,5	7,4	9,5	8	46	4,5	8,1	11,1	4,5	70	4,5	11,9	6,2*	3
32	6,0	8,1	11,6	9	46	5,0	9,1	9,7	5	70	5,0	13,4	5,2*	3,5
35	3,0	4,1	16,6	4	46	5,5	10,1	8,7	6	70	6,5	17,7	4,2*	4,5
35	3,5	4,8	14,1	5	46	6,0	11,1	7,8	6,5	70	7,5	20,7	5,2*	5
35	4,0	5,6	12,1	5,5	46	7,0	13,2	6,4	7	70	9,0	25,3	4,2*	6
35	4,5	6,3	10,7	6	48	4,0	7,4	8,6	4	75	5,0	14,2	5,0*	3
35	5,0	7,2	9,4	7	48	5,0	9,4	9,3	5	75	6,5	18,8	5,6*	4
35	5,5	8,0	8,5	8	48	6,0	11,5	7,4	6	75	7,5	22,0	4,8*	5
35	6,0	8,8	10,5	8	48	7,0	13,7	6,1	7	79	5,5	15,6	6,9*	3
36	3,5	4,9	13,9	5	50	4,0	7,7	8,4	4	79	7,5	21,8	4,5*	4,5
36	4,0	5,7	11,9	5,5	50	4,5	8,7	10,1	4,5	80	5,0	15,1	5,2*	3
36	4,5	6,5	10,4	6	50	5,0	9,8	8,8	5	80	7,0	21,6	4,7*	4
36	5,0	7,3	9,3	7	50	5,5	10,9	7,8	5,5	80	9,5	30,3	3,4*	5,5
36	5,5	8,1	8,4	7,5	50	6,0	12,0	7,0	6	90	4,5	16,9	2,9*	2,5
36	6,0	9,0	10,2	8	50	7,0	14,2	5,8	7	90	5,5	20,2	4,9*	3
38	3,0	4,4	15,4	4	50	8,0	16,0	7,5	8	90	6,5	23,5	5,8*	3,5
38	3,5	5,2	13,0	4,5	52	4,0	8,0	7,9	3,5	90	9,0	32,0	4,6*	4,5
38	4,0	6,0	11,3	5	52	4,5	9,0	9,3	4	90	10,5	37,9	3,6*	5,5
38	4,5	6,9	9,8	6	52	5,0	10,2	8,2	4,5	95	4,0	14,6	3,1*	2
38	5,0	7,7	8,7	6,5	52	5,5	11,3	7,4	5,5	95	6,5	23,1	5,7*	3,5
38	5,5	8,5	8,0	7	52	6,0	12,4	6,9	5,5	95	8,0	28,8	4,6*	4
38	6,0	9,2	10,0	8	52	7,0	14,7	5,7	6,5	100	3,5	12,7	3,1*	1,7
40	3,0	4,6	14,5	3,5	52	7,5	15,9	7,3	7	100	5,5	18,8	3,3*	2,7
40	3,5	5,4	12,4	4	54	4,0	8,3	10,0	3,5	100	7,5	29,0	4,3*	3,7
40	4,0	6,3	10,6	5	54	4,5	9,4	8,8	4	105	5,0	20,4	4,1*	2,3
40	4,5	7,1	9,5	5,5	54	5,0	10,4	8,0	4,5	105	7,0	26,5	4,6*	3,3
40	5,0	8,0	8,3	6	54	6,0	12,8	6,4	5,5	110	5,0	20,6	3,6*	2
40	5,5	8,9	10,2	7	54	8,5	19,0	6,0	7,5	110	8,0	34,4	3,3*	3,6
40	6,0	9,8	9,4	7,5	56	4,0	8,5	9,9	3,5	115	5,5	26,1	4,3*	2,3
41	3,5	5,6	11,6	4	56	5,0	10,9	7,7	4,5	115	7,5	32,9	3,3*	3,2
41	4,0	6,4	10,1	4,5	56	5,5	12,0	7,0	5	120	5,0	23,2	4,4*	2
41	4,5	7,3	8,9	5	56	7,5	17,0	6,7	6	120	9,0	41,3	2,4*	3,7
41	5,0	8,2	7,9	6	59	4,0	9,0	9,1	3,5	125	6,5	30,8	3,1*	2,6
41	5,5	9,1	10,0	6,5	59	5,0	11,4	7,2	4,2	125	8,5	39,4	2,5*	3,4
41	6,0	10,1	9,0	7	59	6,0	14,1	5,9	5	130	6,0	27,6	3,4*	2,3
42	3,5	5,7	11,4	4	59	7,0	16,7	6,8	6	135	7,5	37,1	2,3*	2,7
42	4,0	6,6	9,8	4,5	59	8,0	19,1	5,9	6,5	140	5,0	22,3	3,1*	1,5
42	4,5	7,5	8,6	5	60	4,5	10,3	7,8	3,5	140	7,0	39,1	3,8*	2,5
42	5,0	8,4	7,7	6	60	5,5	12,8	6,3	4,5	150	5,0	27,6	2,4*	1,5
42	5,5	9,3	9,8	6,5	60	6,5	15,4	5,2	5	150	8,0	45,1	2,8*	2,5
42	6,0	10,3	8,8	7	60	7,5	18,0	6,2	6	150	10,0	57,1	2,3*	3,2
44	3,5	5,9	11,0	4	65	5,0	12,5	6,2	3,5	160	5,0	30,7	4,2*	1,5
44	4,0	6,9	9,4	4,5	65	6,0	15,2	5,1	4,5	180	5,0	33,8	2,9*	1,4
44	4,5	7,9	8,2	5	65	7,0	17,4	6,4	5	200	5,0	35,9	1,6*	1,2

НТБ ДНУЗТ

3. Оловянныя трубы *).

Діаметръ въ свѣту. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Вѣсъ погон. метра. kg	Наибольшая длина. m	Допускаемое внутреннее давленіе. Атм.	Діаметръ въ свѣту. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Вѣсъ погон. метра. kg	Наибольшая длина. m	Допускаемое внутреннее давленіе. Атм.	Діаметръ въ свѣту. mm	Толщина стѣнокъ. mm	Вѣсъ погон. метра. kg	Наибольшая длина. m	Допускаемое внутреннее давленіе. Атм.
4	2,0	0,30	55	60	15	1,5	0,55	29,0	12	27	3,0	2,05	19,5	13,0
5	1,5	0,25	66	36	15	2,0	0,80	20,0	16	28	2,0	1,40	28,5	8,0
5	2,0	0,35	47	48	15	3,0	1,25	12,5	24	28	3,0	2,15	18,5	12,5
6	1,5	0,30	55	30	16	1,5	0,60	26,5	11	29	2,0	1,40	28,5	8,0
6	2,0	0,35	47	40	16	2,0	0,85	18,5	15	29	3,0	2,20	18,0	12,0
7	1,5	0,30	55	25	16	3,0	1,30	12,0	22	30	2,0	1,45	27,5	8,0
7	2,0	0,40	41	34	17	1,5	0,65	24,5	10	30	3,0	2,30	17,0	12,0
8	1,5	0,35	47	22	17	2,0	0,90	17,5	14	32	2,0	1,55	23,0	7,5
8	2,0	0,45	36	30	17	3,0	1,40	11,0	21	32	3,0	2,40	15,0	11,0
8	2,5	0,60	27	37	18	1,5	0,70	22,5	10	35	2,0	1,70	21,0	6,5
9	1,5	0,35	47	20	18	2,0	0,90	17,5	13	35	3,0	2,60	13,8	10,0
9	2,0	0,50	33	26	18	3,0	1,45	27,5	20	36	2,0	1,75	20,5	6,5
9	2,5	0,65	25	33	19	2,0	1,00	16,0	12	36	3,0	2,70	13,3	10,0
10	1,5	0,40	41	18	19	3,0	1,50	26,5	19	38	2,0	1,85	19,0	6,0
10	2,0	0,55	30	24	20	2,0	1,00	40,0	12	38	3,0	2,80	12,8	9,0
10	2,5	0,70	23,5	30	20	3,0	1,60	25,0	18	40	2,0	1,95	18,5	6,0
10	3,0	0,90	18,0	36	21	2,0	1,05	38,0	11	40	3,0	2,95	12,2	9,0
11	1,5	0,45	36,5	16	21	3,0	1,65	24,0	17	41	2,0	2,00	18,0	5,5
11	2,0	0,60	27,5	21	22	2,0	1,10	36,0	10	41	3,0	3,05	11,8	8,5
11	2,5	0,80	20,5	27	22	3,0	1,70	23,5	17	42	2,0	2,00	18,0	5,5
11	3,0	0,95	17,0	32	23	2,0	1,15	34,5	10	42	3,0	3,10	11,6	8,5
12	1,5	0,45	36,5	15	23	3,0	1,80	22,0	15,5	44	2,0	2,10	17,0	5,0
12	2,0	0,65	25,0	20	24	2,0	1,20	33,0	10	44	3,0	3,25	11,0	8,0
12	2,5	0,85	19,0	25	24	3,0	1,85	21,5	15	46	2,0	2,20	16,0	5,0
12	3,0	1,05	15,0	30	25	2,0	1,25	32,5	9	46	3,0	3,40	10,5	7,5
13	1,5	0,50	33,0	13	25	3,0	1,95	20,5	14	48	2,0	2,30	15,5	5,0
13	2,0	0,70	23,5	18	26	2,0	1,30	30,5	9	48	3,0	3,50	10,3	7,5
13	2,5	0,90	18,0	23	26	3,0	2,00	20,0	13,5	50	2,0	2,40	15,0	4,5
13	3,0	1,10	14,5	27	27	2,0	1,35	29,5	8,5	50	3,0	3,65	9,8	7,0

4. Оловянныя трубы, покрытыя свинцомъ *).

10	4,0	2,0	12,5	20	21	4,5	4,1	14,6	10,0	29	4,5	5,4	12,0	7,0
11	4,0	2,1	11,9	18	21	5,0	4,6	13,0	12,0	29	5,0	6,1	10,6	8,0
12	4,0	2,3	10,8	16	22	4,5	4,2	14,2	10,0	29	5,5	6,8	9,5	9,0
13	4,0	2,4	20,0	15	22	5,0	4,8	12,5	11,0	30	4,5	5,5	11,8	7,0
13	4,5	2,8	17,0	17	23	4,5	4,4	13,5	9,0	30	5,0	6,3	10,3	8,0
13	5,0	3,2	18,7	19	23	5,0	5,0	12,0	10,0	30	5,5	7,0	9,2	9,0
15	4,5	3,1	19,3	15	24	4,5	4,6	13,0	9,0	30	6,0	7,7	8,4	10,0
15	5,0	3,6	16,6	16	24	5,0	5,2	11,5	10,0	30	6,5	8,4	7,7	10,5
16	4,5	3,3	18,2	14	25	4,5	4,7	12,7	9,0	32	5,0	6,6	9,6	8,0
16	5,0	3,7	16,2	15	25	5,0	5,4	11,1	10,0	32	5,5	7,4	8,6	8,0
17	4,5	3,4	17,6	13	25	5,5	6,0	10,0	11,0	32	6,0	8,1	7,9	9,0
17	5,0	3,9	15,3	14	25	5,75	6,3	9,5	11,5	35	5,0	7,2	8,7	7,0
18	4,5	3,6	16,6	12	26	4,5	4,9	13,4	8,0	35	5,5	8,0	7,8	8,0
18	5,0	4,1	14,6	14	26	5,5	6,2	10,6	10,0	36	5,0	7,3	8,6	7,0
19	4,5	3,8	15,7	12	27	4,5	5,1	12,7	8,0	36	5,5	8,1	7,7	7,5
19	5,0	4,3	13,9	13	27	5,5	6,4	10,1	10,0	38	5,0	7,7	8,1	6,5
20	4,5	3,9	15,3	11	28	4,5	5,2	12,5	8,0	38	5,5	8,5	7,4	7,0
20	5,0	4,5	13,3	12	28	5,0	5,9	11,0	9,0	40	5,0	8,0	7,7	6,0
20	5,25	4,7	12,7	13	28	5,5	6,6	9,8	9,5	40	5,5	8,9	6,9	7,0

*) См. примѣчаніе на стр. 575.

НТБ ДНУЗТ

Оловянныя, покрытыя свинцомъ (со свинцовой рубашкой), трубы имѣютъ толщину олова 0,5 mm. Такія трубы продаются только полными кругами.

Приведенное въ таблицахъ **допускаемое внутреннее давленіе** относится только къ среднимъ температурамъ до 30°; оно опредѣлено по формулѣ II, стр. 422, причемъ принято, соотв. 5 до 6-ной прочности, допускаемое напряженіе на разрывъ для твердаго свинца $k_z = 50$ kg/qcm, для мягкаго свинца $k_z = 25$ kg/qcm и для олова $k_z = 60$ kg/qcm.

Отступленіе отъ вѣсовъ, приведенныхъ въ таблицахъ, допускается въ $\pm$ 5%.

f. Трубы красной мѣди, бронзовыя и латунныя.

Изготовляются спаянными на твердомъ припоѣ (со швомъ), длиною до 4 m, и тянутыми или прокатанными (безъ шва) въ длинахъ до 5 m, діаметромъ $D = 3$ до 250 mm, при толщинѣ стѣнокъ $s = 0{,}75$ до 6 mm. Для загнутыхъ трубъ небольшого внутренняго діаметра D радіусъ закругленія оси трубы долженъ быть $R = 2\,D$ до $3\,D$, для трубъ бо́льшихъ діаметровъ D принимаютъ $R = 4\,D$ до $5\,D$ *).

Извлеченіе изъ правилъ относительно мѣдныхъ паровыхъ трубъ для судовъ Германскаго флота **).

Для паропроводовъ высокаго давленія употребленіе паянныхъ трубъ должно быть исключено. Для подобныхъ паропроводовъ слѣдуетъ брать либо тянутыя трубы, либо трубы, склепанныя въ швѣ двойными накладками. Тянутыя и клепанныя трубы, діаметромъ 120 mm и выше, при давленіи 7 kg/qcm и выше, для паропроводовъ снабжаются приклепанными (а не припаянными) бортами. Тянутыя и клепанныя трубы при этихъ діаметрахъ обматываются стальнымъ кабелемъ (діаметромъ d), согласно нижеслѣдующей таблицы:

$D =$	120 до 150	155 до 200	205 до 250	255 до 300	305 до 350	355 до 400 mm,
$\pi d =$	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0 mm.

Кабель, для предохраненія отъ ржавчины, передъ обмоткой покрывается лакомъ. Толщина стѣнокъ s обматываемой трубы должна быть не менѣе 0,4 cm. Толщина s опредѣляется независимо отъ обмотки, по форм. II, стр. 422, по $k_z = 200$ kg/qcm. Если трубу по вычисленной толщинѣ стѣнокъ s не предполагается обмотать проволокой, то полученную толщину стѣнокъ необходимо увеличить на 0,15 cm.

---

*) Мѣдныя трубы безъ шва, изготовленныя электролитическимъ путемъ, доставляетъ Elmores Akt.-Gesellschaft, въ Шладернѣ (Sieg).

**) См. Köhn von Jaski, Versuche mit Umwicklungen von Kupferrohren, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 780 и слѣд., кромѣ того, Гамбургскія нормы 1898, 7 изд., стр 2.

НТБ ДНУЗТ

Трубы красной мѣди, бронзовыя и латунныя безъ шва
(патентъ Манесманъ)
у Генманъ въ Дуисбургѣ.

1. Трубы красной мѣди и бронзовыя. Вѣсъ пог. метра въ kg.

Діаметръ въ свѣту.	Толщина стѣнокъ въ mm.									
mm	1	$1^1/_4$	$1^1/_2$	$1^3/_4$	2	$2^1/_2$	3	$3^1/_2$	4	5
3	0,113	0,150	0,191	0,235	0,283	0,389	0,509	0,643		
5	0,170	0,221	0,276	0,334	0,396	0,530	0,679	0,841	1,018	
6	0,198	0,256	0,318	0,383	0,452	0,601	0,763	0,940	1,131	1,555
8	0,254	0,327	0,403	0,482	0,565	0,742	0,933	1,138	1,357	1,838
10	0,311	0,398	0,488	0,581	0,679	0,884	1,103	1,336	1,583	2,120
12	0,367	0,468	0,572	0,680	0,791	1,025	1,272	1,534	1,809	2,403
14	0,424	0,539	0,657	0,779	0,905	1,166	1,442	1,732	2,036	2,686
15	0,452	0,574	0,700	0,829	0,961	1,237	1,527	1,831	2,149	2,827
16	0,881	0,609	0,742	0,878	1,018	1,308	1,612	1,930	2,262	2,969
18	0,537	0,680	0,827	0,977	1,131	1,449	1,781	2,128	2,488	3,251
20	0,594	0,751	0,912	1,076	1,244	1,590	1,951	2,326	2,714	3,534
22	0,650	0,822	0,997	1,175	1,357	1,732	2,120	2,523	2,940	3,817
24	0,707	0,892	1,081	1,274	1,470	1,873	2,290	2,721	3,167	4,100
25	0,735	0,928	1,124	1,324	1,527	1,944	2,375	2,820	3,280	4,241
26	0,763	0,963	1,166	1,373	1,583	2,014	2,460	2,919	3,393	4,382
28	0,820	1,034	1,251	1,472	1,696	2,156	2,629	3,117	3,619	4,665
30	0,876	1,104	1,336	1,571	1,809	2,297	2,799	3,315	3,845	4,948
32	0,933	1,175	1,421	1,670	1,923	2,439	2,969	3,513	4,072	5,231
35	1,018	1,281	1,548	1,818	2,092	2,651	3,223	3,810	4,411	5,655
38	1,103	1,387	1,675	1,967	2,262	2,863	3,478	4,107	4,750	6,079
40	1,159	1,458	1,760	2,066	2,375	3,004	3,647	4,305	4,976	6,362
42	1,216	1,528	1,845	2,165	2,488	3,145	3,817	4,503	5,202	6,644
45	1,301	1,634	1,972	2,313	2,658	3,358	4,071	4,800	5,542	7,069
48	1,385	1,741	2,099	2,462	2,827	3,570	4,326	5,096	5,881	7,493
50	1,442	1,811	2,184	2,561	2,940	3,711	4,496	5,294	6,107	7,775
55	1,583	1,988	2,396	2,808	3,223	4,064	4,920	5,789	6,673	8,482
60	1,725	2,165	2,608	3,055	3,506	4,418	5,344	6,284	7,238	9,189
65		2,341	2,820	3,303	3,789	4,771	5,768	6,779	7,804	9,896
70		2,518	3,032	3,550	4,072	5,125	6,192	7,274	8,369	10,603
75		2,695	3,244	3,798	4,354	5,478	6,616	7,768	8,935	11,310
80		2,872	3,457	4,045	4,637	5,832	7,040	8,263	9,500	12,017
85					4,920	6,185	7,464	8,758	10,066	12,723
90					5,202	6,538	7,888	9,253	10,631	13,430
95					5,485	6,892	8,313	9,747	11,197	14,137
100							8,738	10,242	11,762	14,844

1 cbm матеріала вѣситъ 9000 kg. Такъ же изготовляются выше непоименованныя трубы діам. отъ 3 до 100 mm (цѣлыхъ) въ свѣту.

НТБ ДНУЗТ

2. Трубы латунныя.

Вѣсъ пог. метра въ kg.

Наружній діаметръ. mm	Толщина стѣнокъ въ mm.									
	1	$1^1/_4$	$1^1/_2$	$1^3/_4$	2	$2^1/_2$	3	$3^1/_2$	4	5
5	0,106									
6	0,134	0,159								
8	0,187	0,225	0,260	0,292	0,320					
10	0,240	0,292	0,340	0,386	0,427	0,501				
12	0,294	0,359	0,421	0,479	0,534	0,634	0,721			
14	0,347	0,425	0,500	0,572	0,640	0,767	0,881	0,981		
15	0,374	0,458	0,540	0,619	0,694	0,834	0,961	1,075	1,175	
16	0,400	0,491	0,580	0,666	0,747	0,901	1,041	1,168	1,282	1,468
18	0,453	0,559	0,660	0,759	0,854	1,034	1,201	1,355	1,496	1,735
20	0,507	0,625	0,740	0,852	0,961	1,168	1,362	1,542	1,709	2,002
22	0,560	0,692	0,820	0,946	1,068	1,302	1,522	1,729	1,923	2,270
24	0,614	0,760	0,901	1,040	1,174	1,435	1,682	1,916	2,137	2,537
25	0,640	0,794	0,941	1,087	1,228	1,502	1,762	2,009	2,242	2,670
26	0,667	0,826	0,981	1,134	1,281	1,568	1,842	2,103	2,350	2,804
28	0,721	0,893	1,061	1,226	1,388	1,702	2,002	2,290	2,564	3,071
30	0,774	0,960	1,141	1,320	1,495	1,836	2,163	2,477	2,777	3,338
32	0,827	1,026	1,221	1,413	1,601	1,970	2,323	2,663	2,990	3,605
34	0,881	1,093	1,301	1,507	1,708	2,103	2,483	2,850	3,205	3,872
35	0,907	1,126	1,341	1,554	1,762	2,170	2,563	2,944	3,312	4,006
38	0,988	1,226	1,462	1,693	1,922	2,370	2,804	3,224	3,632	4,406
40	1,041	1,293	1,542	1,787	2,029	2,504	2,964	3,411	3,846	4,673
42	1,094	1,359	1,622	1,881	2,136	2,637	3,124	3,598	4,059	4,940
45	1,175	1,459	1,742	2,021	2,296	2,837	3,364	3,878	4,379	5,341
48	1,255	1,559	1,862	2,161	2,456	3,037	3,605	4,159	4,701	5,742
50	1,308	1,626	1,942	2,255	2,536	3,171	3,765	4,346	4,914	6,009
55	1,442	1,793	2,142	2,488	2,830	3,505	4,165	4,813	5,445	6,672
60	1,575	1,960	2,343	2,722	3,097	3,838	4,566	5,281	5,978	7,339
65	1,707	2,126	2,543	2,955	3,364	4,172	4,967	5,748	6,512	8,007
70	1,842	2,293	2,743	3,189	3,631	4,506	5,367	6,215	7,045	8,674
75	1,975	2,463	2,943	3,423	3,898	4,840	5,768	6,682	7,579	9,341
80	2,108	2,627	3,143	3,656	4,165	5,174	6,168	7,150	8,113	10,008
85		2,792	3,342	3,886	4,432	5,507	6,569	7,617	8,647	10,676
90		2,957	3,542	4,120	4,699	5,841	6,970	8,084	9,181	11.343
95			3,742	4,357	4,964	6,171	7,370	8,552	9,715	12,010
100			3,942	4,597	5,230	6,505	7,766	9,013	10,249	12,677

1 cbm матеріала вѣситъ 8500 kg. Равнымъ образомъ изготовляются и неуказанныя выше трубы наружн. діам. отъ 5 до 100 mm (цѣлыхъ), а также толщиною стѣнокъ въ $^3/_4$ (при наружнемъ діаметрѣ 5 до 50 mm), $2^1/_4$, $2^3/_4$, $3^1/_4$, $4^1/_2$ mm (при наружнемъ діаметрѣ 10—16 до 100 mm).

НТБ ДНУЗТ

Гибкія (пружинящія) трубы красной мѣди, колѣна, тройники и кресты завода Рюмкорфъ въ Ганноверѣ.

Діаметръ въ свѣту. D	Гибкія (пружнящія) трубы красной мѣди.						Колѣна красной мѣди.		
	Толщина стѣнокъ.	Для продольнаго удлиненія въ 50 mm.			Для продольнаго удлиненія въ 100 mm.			Приблизительный вѣсъ красной мѣди въ kg при толщинѣ стѣнокъ въ mm:		
		Вѣсъ красной мѣди.	Разстояніе между фланцами.	Общая высота.	Вѣсъ красной мѣди.	Разстояніе между фланцами.	Общая высота.			
mm	mm	kg	mm	mm	kg	mm	mm	2,5	3,0	3,5
40	2,5	6,5	500	590	7,0	500	665	1,2	1,4	1,7
50	„	9,0	500	625	9,5	500	730	1,6	1,8	2,1
60	„	10,0	500	660	12,0	600	800	1,9	2,2	2,6
70	„	13,5	600	700	15,5	600	860	2,3	2,5	3,2
80	„	17,0	600	745	18,5	700	925	2,8	3,2	3,8
90	3,0	25,0	750	775	27,5	700	990	3,2	3,6	4,2
100	„	28,0	750	870	33 0	800	1130	4,0	5,0	5,5
125	„	37,0	750	970	46,0	800	1290	5,9	6,6	7,3
150	3,5	59,0	1000	1090	72,5	1000	1440	8,0	9,0	10,0
175	„	72,0	1000	1160	98,0	1000	1630	10,0	11,3	12,3
200	„	85,0	1000	1240	126,0	1250	1750	12,5	14,0	15,3
225	4,0	120,0	1250	1330	168,5	1250	1925	14,8	16,5	18,3
250	„	133,5	1250	1500	205,0	1500	2100	18,0	20,0	22,0
275	„	155,0	1250	1600	249,5	1500	2250	20,5	23,1	25,5
300	„	180,0	1250	1700	295,0	1600	2400	24,0	26,5	29,5

Удлиненіе желѣзнаго трубопровода при разницѣ температуры въ 100^0 составляетъ 1,2 mm на пог. метръ длины трубопровода.

Гибкія (пружнящія) трубы должны быть вставлены въ трубопроводъ въ растянутомъ состояніи, причемъ величина этого растяженія должна составлять одну треть общаго удлиненія трубопровода, для котораго гибкая труба предназначена.

Діаметръ въ свѣту. D mm	Тройники красной мѣди. Толщина стѣнокъ. mm: 2,5	3,0	3,5	4,0	4,5 — Приблизительный вѣсъ одной штуки въ kg.	Діаметръ въ свѣту. D mm	Тройники красной мѣди. Толщина стѣнокъ. mm: 2,5	3,0	3,5	4,0	4,5 — Приблизительный вѣсъ одной штуки въ kg.
40	2,5	3,0	3,6	4,4	5,0	125	9,5	12,4	14,9	17,9	21,5
50	3,0	3,6	4,4	5,0	6,0	150	11,6	14,0	16,8	20,0	24,0
60	3,6	4,3	5,0	6,0	6,8	175	14,5	17,4	20,9	25,0	30,0
70	4,4	5,0	6,0	6,8	8,2	200	18,5	22,0	26,2	31,0	37,2
80	5,0	6,0	6,8	8,0	9,6	225	22,0	26,4	31,5	37,6	45,0
90	6,0	6,8	8,0	9,6	11,6	250	26,5	31,8	37,2	44,6	53,5
100	6,8	8,2	9,9	11,9	14,3						

Діаметръ въ свѣту. D mm	Кресты красной мѣди. Толщина стѣнокъ. mm: 2,5	3,0	3,5	4,0	4,5 — Приблизительный вѣсъ одной штуки въ kg.	Діаметръ въ свѣту. D mm	Кресты красной мѣди. Толщина стѣнокъ. mm: 2,5	3,0	3,5	4,0	4,5 — Приблизительный вѣсъ одной штуки въ kg.
40	3,4	4,2	4,8	5,4	6,8	125	12,5	15,0	18,5	24,0	30,0
50	4,0	4,8	5,4	6,8	8,2	150	15,5	19,6	24,0	30,0	35,0
60	4,8	5,4	6,8	8,2	9,4	175	20,8	25,0	30,0	35,0	42,0
70	5,4	6,8	8,2	9,4	11,0	200	25,0	30,0	35,0	42,0	49,0
80	6,8	8,2	9,4	11,0	13,0	225	30,0	36,0	42,0	49,0	56,0
90	8,2	9,4	11,0	13,0	17,5	250	35,0	42,0	49,0	56,0	63,0
100	9,4	11,0	13,0	17,5	24,0						

НТБ ДНУЗТ

Длина колѣнъ 90^0 (отъ оси до края), тройниковъ и крестовъ, какъ у нормальныхъ фланцевыхъ фасонныхъ чугунныхъ частей (см. черт. 452, 453 и 455, стр. 569). $L = D + 100$ mm, гдѣ D діаметръ трубы въ свѣту. Діаметры фланцевъ и окружности болтовъ приведены въ табл. стр. 567.

C. Клапаны.

a. Самодѣйствующіе клапаны.

Самодѣйствующіе тарельчатые и коническіе клапаны насосовъ, воздуходувокъ и т. д. должны имѣть **направляющія**. Поверхности тренія этихъ направляющихъ должны быть достаточно велики для того, чтобы по возможности уменьшить износъ этихъ поверхностей и устранить возможность боковыхъ отклоненій оси клапана. Для небольшихъ давленій и створныхъ клапановъ направляющія не требуются. Шаровые клапаны, вслѣдствіе недостаточнаго ихъ направленія, примѣнимы только для второстепенныхъ цѣлей. Хорошее направленіе движенія клапановъ достигается при возможно низкомъ положеніи центра тяжести клапана и возможно большемъ пониженіи клапанной коробки, съ тѣмъ, чтобы струя жидкости внутри коробки не могла отклоняться отъ оси послѣдней.

Поверхности соприкосновенія (уплотненія). Какъ клапанъ, такъ и сѣдалище — оба дѣлаются металлическими, или же клапанъ снабжается упругой прокладкой (кожа, твердая резина, вулканизированный каучукъ и т. д.); ширина уплотняющей поверхности опредѣляется по допускаемому давленію на сѣдалище k (въ kg/qcm) изъ: $$Vp = Sk,$$ гдѣ

V верхняя поверхность клапана, на которую передается давленіе. въ qcm.

S поверхность соприкосновенія сѣдалища съ клапаномъ въ qcm,

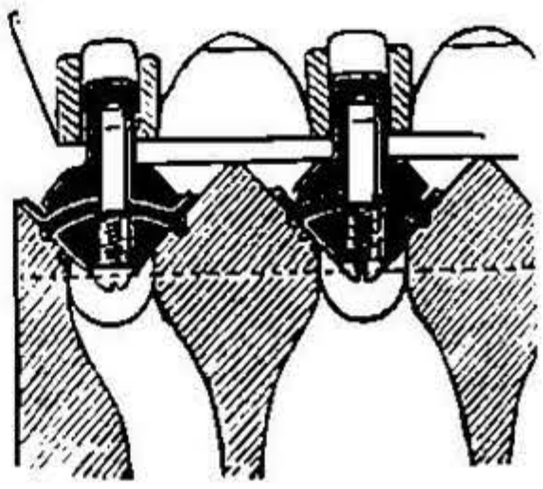
p давленіе жидкости на клапанъ въ kg/qcm.

Наибольшее допускаемое давленіе k на поверхность соприкосновенія (при отсутствіи ударовъ):

для бронзы . . .	до 150	kg/qcm,
фосфористой бронзы .	200	
„ чугуна. . . .	„ 80	„
„ твердой резины и кожи . .	„ 50	„

Для возможности примѣнять упругія прокладки и при большихъ давленіяхъ жидкости **уравновѣшеніе** матеріала прокладки (давленіе жидкости p вмѣсто k) производится по системѣ Ферниса (черт. 456), причемъ (металлическая) поверхность, на которую передается давленіе, отдѣлена отъ поверхности уплотненія.

Черт. 456.



Ходъ (высота подъема) h въ cm односѣдалищнаго **клапана** опредѣляется, при условіи постоянства скорости воды, проходящей черезъ сѣдалище и выпускное отверстіе клапана, по формулѣ:

$$f = uh,$$

гдѣ f площадь пропускного отверстія клапана въ qcm,

НТБ ДНУЗТ

u длина окружности отверстія клапана (наименьшая) въ cm.

Для кругового сѣченія діаметромъ d имѣемъ $h = 0{,}25\,d$.

Вслѣдствіе гидравлическихъ сопротивленій принимаютъ h нѣсколько болѣе $0{,}25\,d$.

Закрываніе клапановъ въ поршневыхъ насосахъ должно происходить въ тотъ моментъ, когда происходитъ **перемѣна хода поршня**; иначе, вслѣдствіе внезапныхъ измѣненій (увеличеній или уменьш.) скорости массы воды, неизбѣжны удары; вслѣдствіе этого въ поршневыхъ насосахъ приходится иногда отступать отъ вышеприведенныхъ правилъ; а именно, ходъ клапановъ h долженъ быть тѣмъ меньше, чѣмъ больше скорость поршня и чѣмъ быстрѣе происходитъ перемѣна его хода. (Зависимость между нагрузкой на клапанъ P и h приведена ниже).

Ходъ клапана h зависитъ отъ **дѣйствительной нагрузки** на клапанъ P (= вѣсу клапана въ водѣ + давленіе пружины на клапанъ).

Если:

P дѣйствительная нагрузка на клапанъ, при которой послѣдній въ приподнятомъ положеніи находится въ равновѣсіи въ струѣ движущейся воды, въ kg,

d діаметръ пропускного отверстія въ m,

$f = {}^1/_4\,\pi d^2$ сѣченіе пропускного отверстія въ qm,

v скорость, съ которою вода протекаетъ черезъ отверстіе f сѣдалища клапана, въ m/sec.,

ζ коэффиціентъ сопротивленія при проходѣ воды черезъ клапанъ, зависитъ отъ всѣхъ гидравлическихъ сопротивленій, при проходѣ воды черезъ клапанъ (см. стр. 243 и 257),

α, β, γ, λ и μ — опытные коэффиціенты,

g ускореніе отъ силы тяжести = 9,81 m/sec^2.,

i число реберъ въ случаѣ черт. 459,

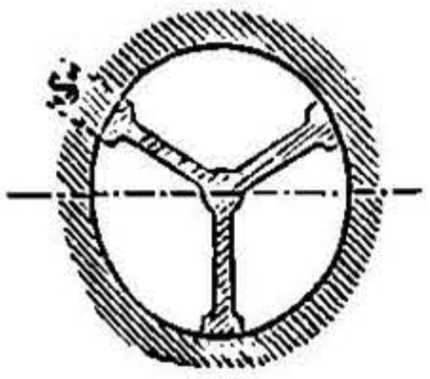
s ширина реберъ (черт. 457), измѣренная на окружности πd, въ m,

$b = {}^1/_2(d_1 - d)$ ширина (радіальная) плоскости соприкасанія въ m (черт. 458 до 462),

h ходъ клапана въ m,

то, по Баху *), въ зависимости отъ формы клапана (см. ниже):

Черт. 457.



$$1)\quad P = 1000\,f\,\frac{v^2}{2\,g}\left[\,\lambda + \left(\frac{d}{4\,\mu\,h}\right)^2\right],$$

$$2)\quad P = 1000\,f\,\frac{v^2}{2\,g}\left[\,\lambda + \left(\frac{f}{\mu\,(\pi\,d - i\,s)\,h}\right)^2\right],$$

*) См. C. Bach, Versuche über Ventlbelastung und Ventilwiderstand, Berlin 1884, его же Versuche zur Klarstellung der Bewegung selbstthätiger Pumpenventile, Stuttgart 1887; кромѣ того, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1886, стр. 421, 475, 801, 1036 и 1058; и 1887, стр. 41 и 61. См. также Tobell, Pumpen- und Gebläseventile, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1889, стр. 25 и 1150; 1890, стр. 325.—Westphal, Grössenbestimmung von Pumpenventilen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1893, стр. 381.

НТБ ДНУЗТ

$$3)\quad \zeta = \alpha + \beta\left(\frac{d}{h}\right)^2 \qquad 4)\quad \zeta = \alpha + \beta\left(\frac{d^2}{(\pi d - is)h}\right)^2$$

$$5)\quad \zeta = \alpha + \beta\left(\frac{d}{h}\right) + \gamma\left(\frac{d}{h}\right)^2$$

Для 5 формъ клапановъ, показанныхъ на черт. 458 до 462, въ предположеніи что $^1/_4\,\pi\,(d_2^2 - d_1^2) = 1{,}8\,.\,^1/_4\,\pi\,d^2 = 1{,}8\,f$, имѣемъ:

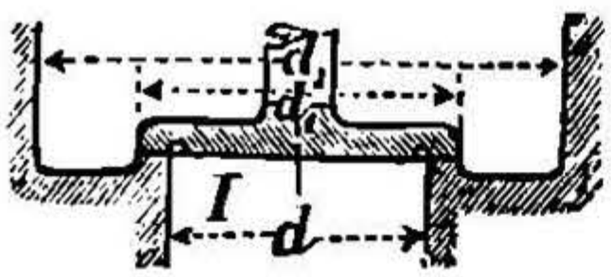
I. **Для черт. 459** (тарельчатые клапаны безъ нижняго направленія), если $b = 0{,}10\,d$ до $0{,}25\,d$ и $h = 0{,}10\,d$ до $0{,}25\,d$:

Въ формулѣ 1) $\lambda = 2{,}5 + 19\,\dfrac{b - 0{,}1\,d}{\quad}$ и $\mu = 0{,}60$ до $0{,}62$.

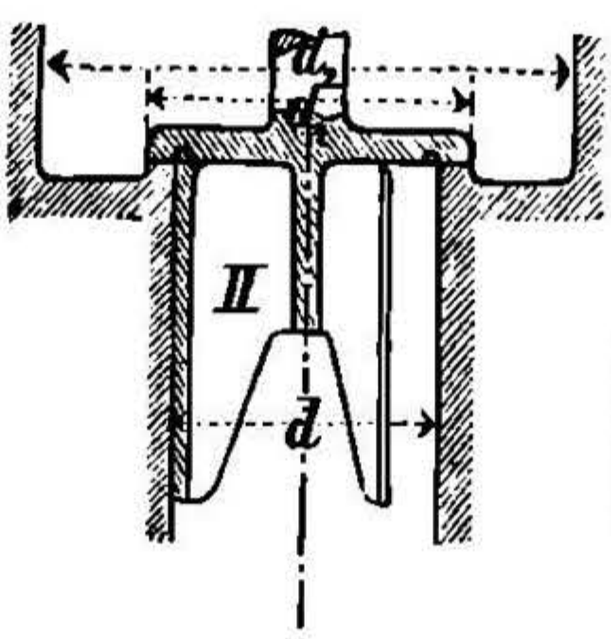
Въ формулѣ 3) $\alpha = 0{,}55 + 4\,\dfrac{b \quad 0{,}1\,d}{d}$ и $\beta = 0{,}16$ до $0{,}15$.

Первыя значенія μ и β имѣютъ мѣсто при широкой, вторыя значенія—при узкой поверхности уплотненія.

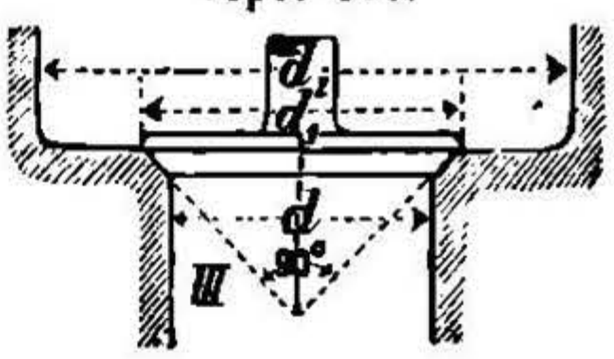
Черт. 458.



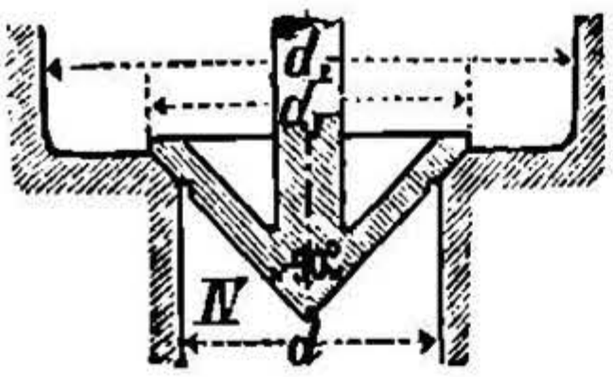
Черт. 459.



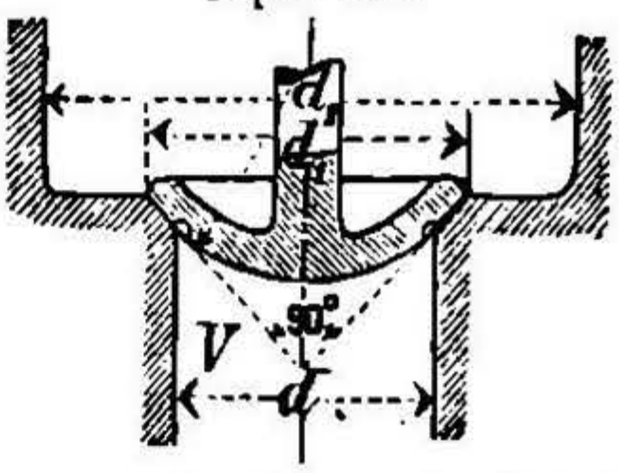
Черт. 460.



Черт. 461.



Черт. 462.



II. **Для черт. 459** (тарельчатые клапаны съ нижнимъ направленіемъ), если $b = 0{,}10\,d$ до $0{,}25\,d$ и $h = 0{,}125\,d$ до $0{,}25\,d$:

Въ формулѣ 2) λ и $\mu = 10\%$ меньше, нежели у I.

Въ формулѣ 4) $\alpha = 0{,}8$ до $1{,}6$ больше принятаго для I и $\beta = 1{,}75$ до $1{,}70$.

III. **Для черт. 460** (коническіе клапаны съ плоской нижней поверхностью), если $b = 0{,}1\,d$ и $h = 0{,}10\,d$ до $0{,}15\,d$:

Въ формулѣ 1) $\lambda = -\,1{,}05$ и $\mu = 0{,}89$;

Въ формулѣ 5) $\alpha = 2{,}60$, $\beta = -\,0{,}80$ и $\gamma = 0{,}14$.

IV. **Для черт. 461** (коническіе клапаны съ конической нижней поверхностью), если $h = 0{,}125\,d$ до $0{,}25\,d$:

Въ формулѣ 1) $\lambda = 0{,}38$ и $\mu = 0{,}68$;

Въ формулѣ 3) $\alpha = 0{,}60$ и $\beta = 0{,}15$.

V. **Для черт. 462** (коническіе клапаны съ шаровой нижней поверхностью), если $= 0{,}10\,d$ до $0{,}25\,d$:

Въ формулѣ 1) $\lambda = 0{,}96$ и $\mu = 1{,}15$:

Въ формулѣ 5) $\alpha = 2{,}70$, $\beta = -\,0{,}80$ и $\gamma = 0{,}14$.

Своевременное закрываніе клапановъ насоса имѣетъ мѣсто, по Баху *), въ томъ случаѣ, когда число оборотовъ n, ходъ поршня s (въ m), или средняя скорость поршня $c_m = s\,n : 30$ (въ m/sec), дѣйствующая на клапанъ нагрузка P (въ kg) и площадь поршня F (въ qcm) находятся въ слѣдующей зависимости:

$$P = \frac{1}{\varepsilon}\,n\,c_m\,F = \frac{1}{30\,\varepsilon}\,n^2\,s\,F.$$

*) См. К. Бахъ, Versuche über Ventilbelastung und Ventilwiderstand. Berlin, 1884.

НТБ ДНУЗТ

Значенія постоянной ε приведены въ томъ же сочиненіи.

Длина окружности клапана u (въ m) получается при помощи выраженія $uhv = F c_m$, если задаться нѣкоторою среднею скоростью воды v между клапаномъ и сѣдалищемъ ($v = 1{,}0$ до $2{,}5$ m въ сек. для поршневыхъ насосовъ), высотою h, c_m и F.

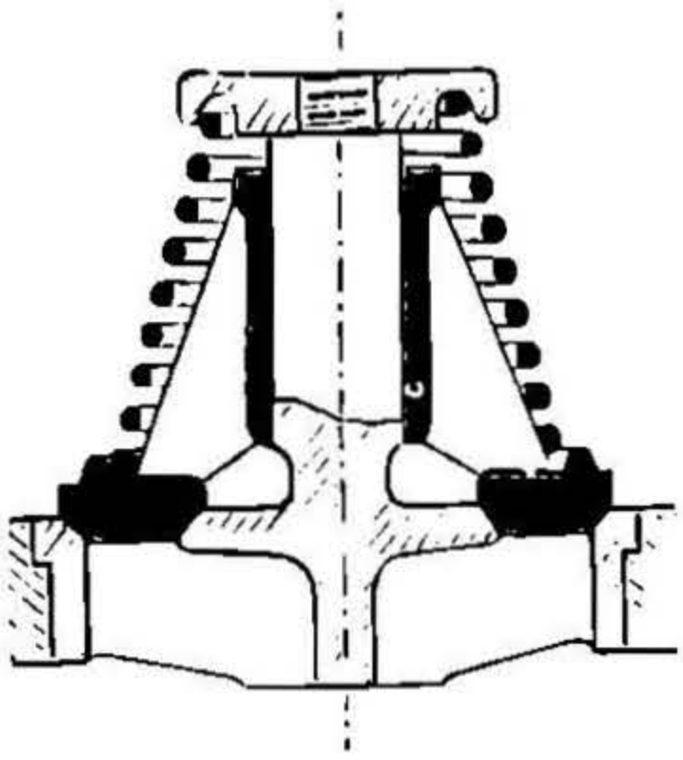
Увеличеніе u при небольшой высотѣ подъема клапана h достигается слѣдующимъ образомъ:

a) Соединеніемъ нѣсколькихъ небольшихъ односѣдалищныхъ клапановъ на одномъ общемъ сѣдалищѣ, расположенномъ въ одной или нѣсколькихъ плоскостяхъ (этажами), причемъ:

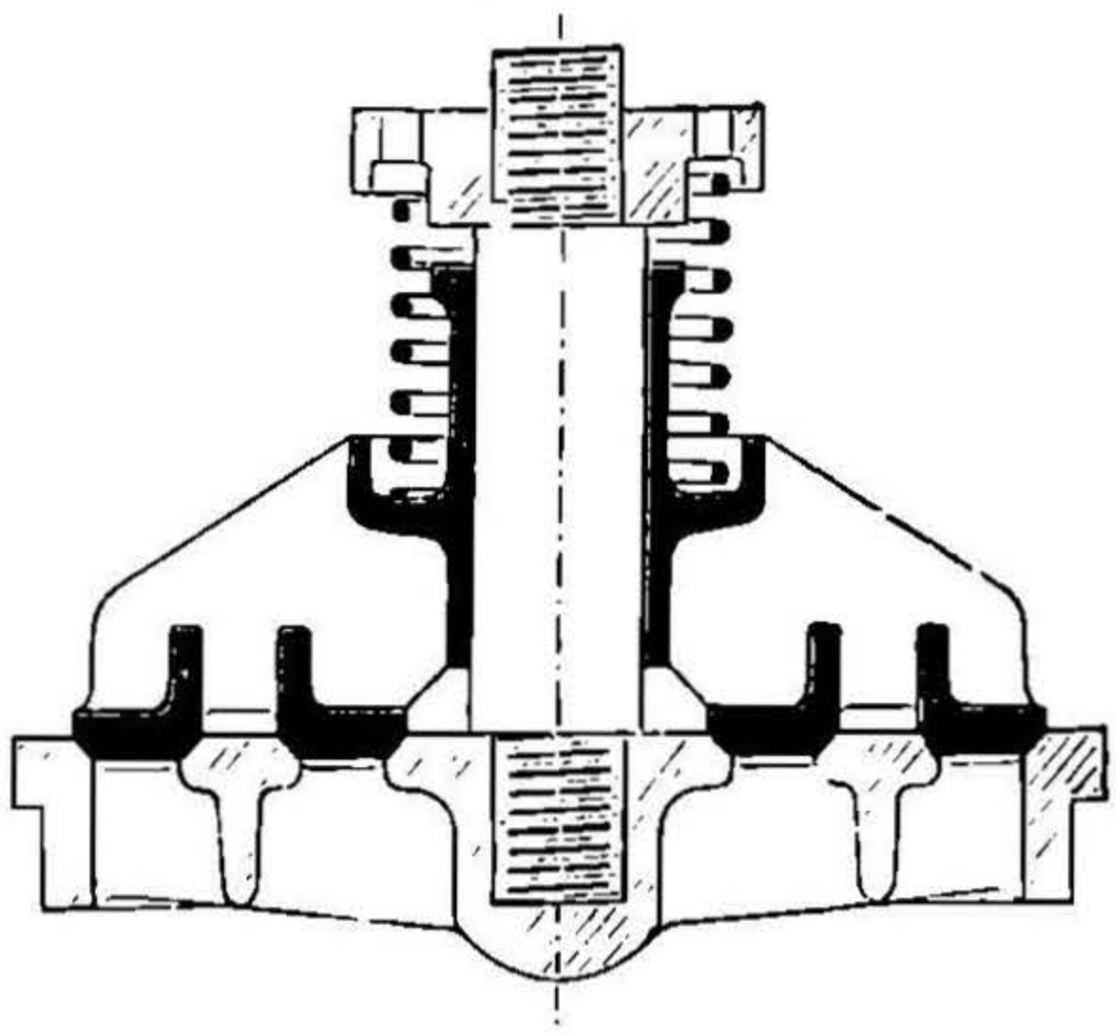
$$u = \Sigma(\pi d).$$

b) Употребленіемъ многосѣдалищныхъ клапановъ, состоящихъ изъ отдѣльныхъ, концентрически соединенныхъ между собою, колецъ:

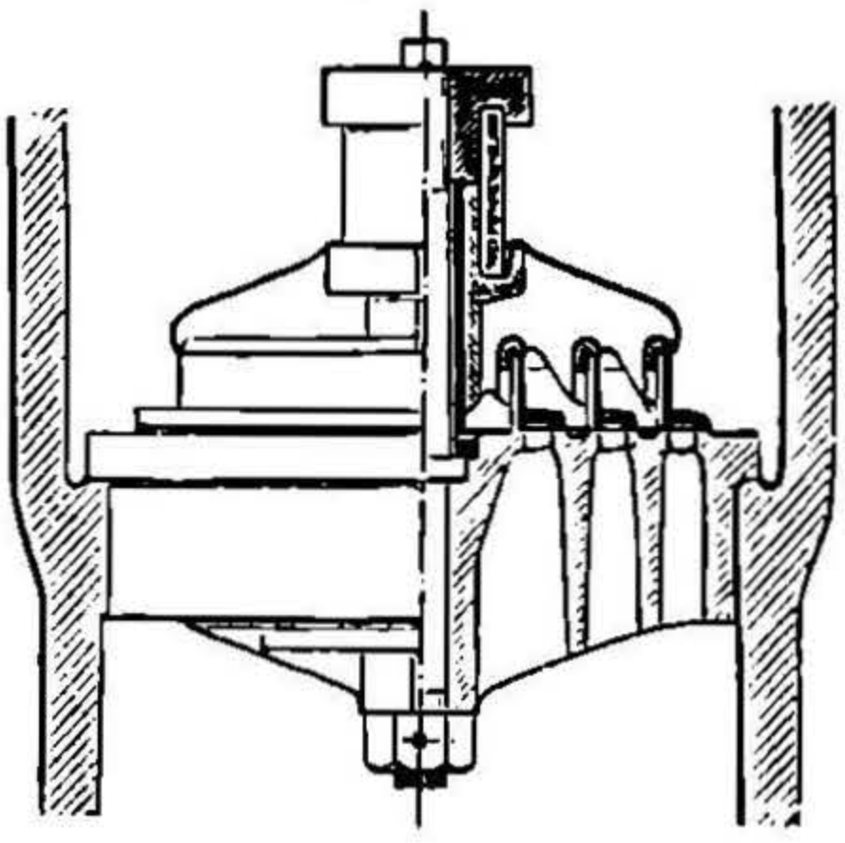
Черт. 463.



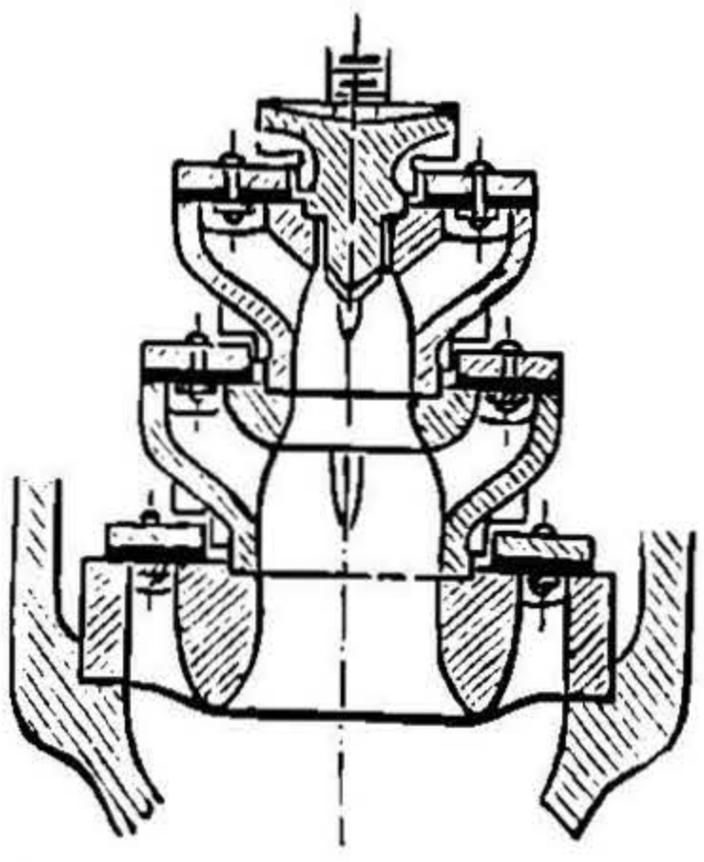
Черт. 464.



Черт. 465.



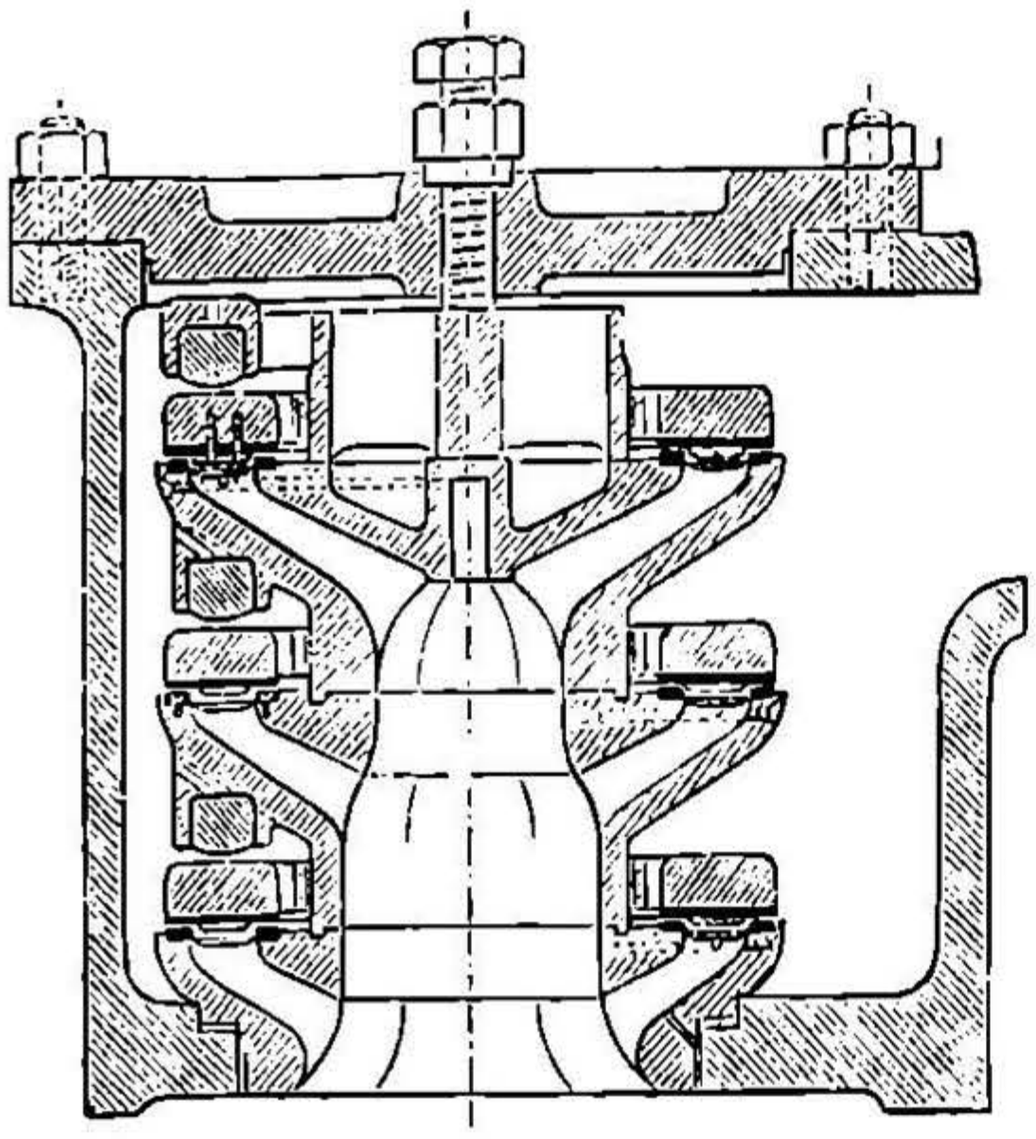
Черт. 466.



черт. 463 представляетъ простой, черт. 464 — двойной кольцевой клапанъ съ пружиной. Кольца эти, для облегченія набивки, располагаются

НТБ ДНУЗТ

Черт. 467.

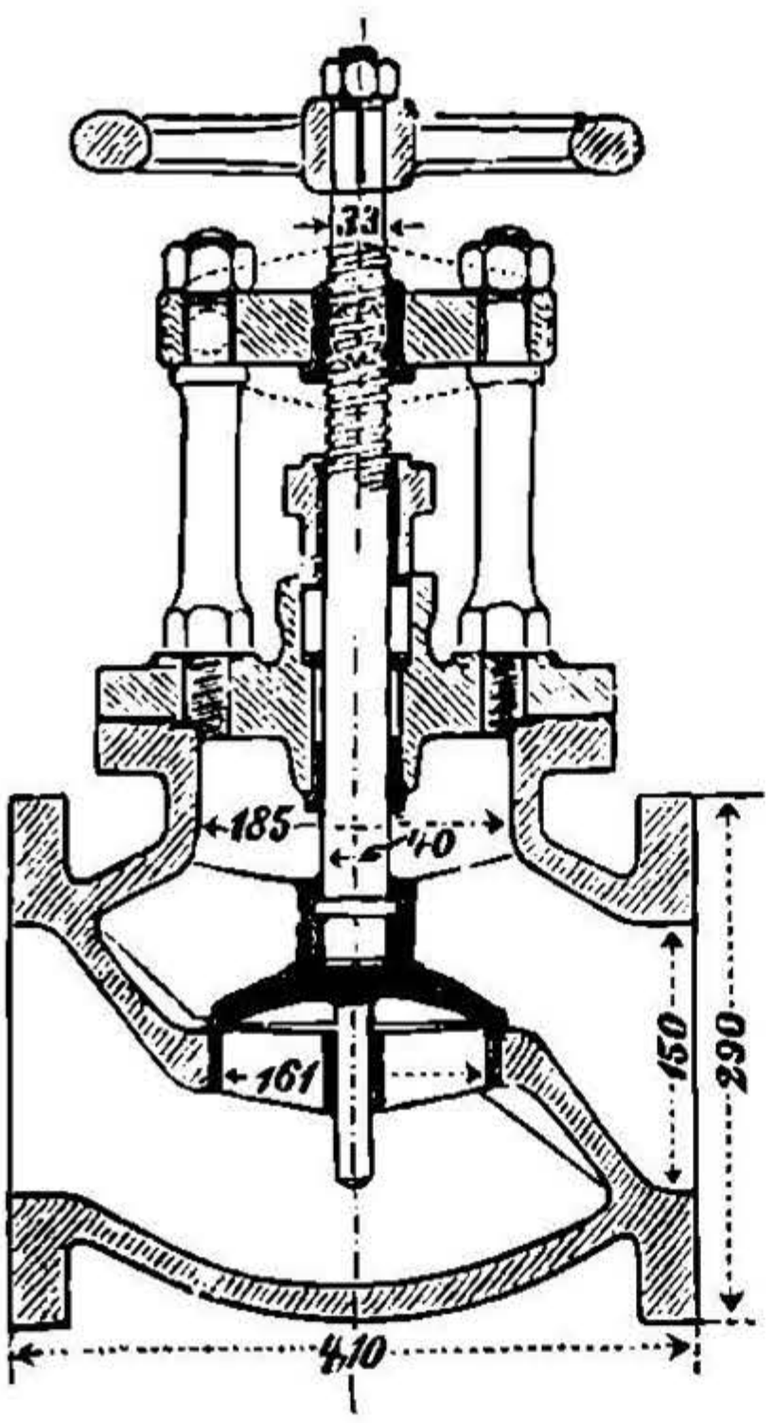


отдѣльно въ одной плоскости и движутся независимо одно отъ другого (система Эргардта, черт. 465), или располагаются въ нѣсколькихъ плоскостяхъ (многоэтажные клапаны) и могутъ быть разнаго діаметра (черт. 466) или одинаковаго діаметра (черт. 467).

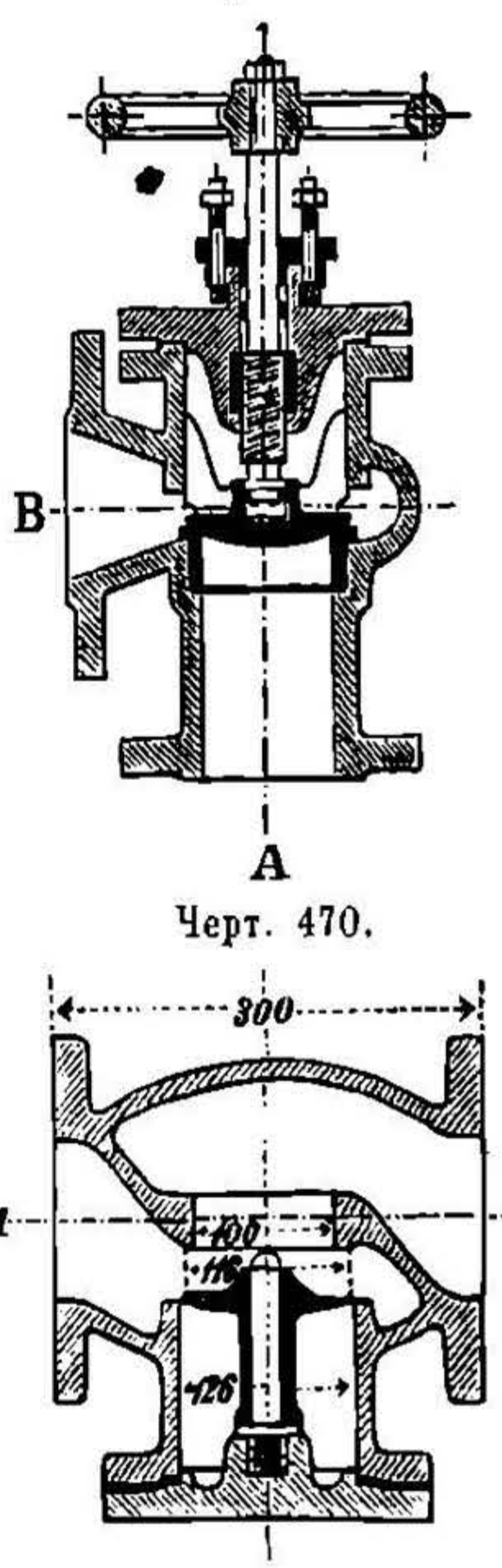
Ускореніе клапана при закрываніи можетъ быть увеличено, и необходимая для этого длина окружности можетъ быть уменьшена примѣненіемъ **пружинъ**, давящихъ на клапанъ (въ водѣ примѣнимы только резиновыя или закаленныя мѣдныя пружины), или же устройствомъ спеціальныхъ рычажныхъ механизмовъ, закрывающихъ клапаны посредствомъ распредѣлительныхъ приборовъ (сист. Ридлера).

b. Запорные клапаны и задвижки.

Черт. 468.



Черт. 469.



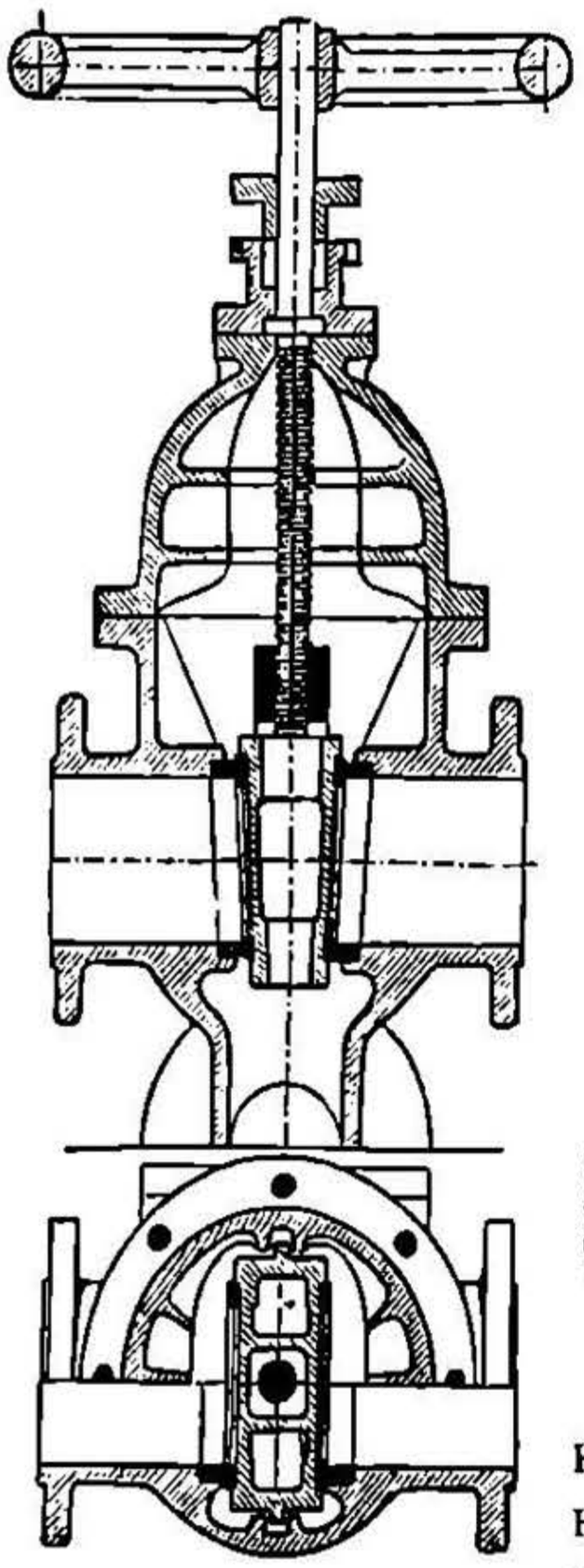
Черт. 470.

Запорный вентиль для прямого трубопровода по черт. 468 съ наружней гайкой; запорный вентиль для перемѣны направленія трубопровода на 90°, съ внутрен-

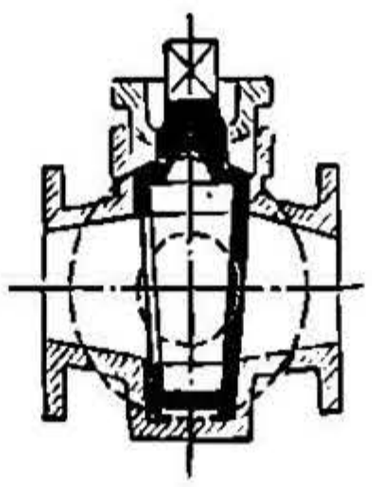
НТБ ДНУЗТ

пей гайкой, по черт. 469. Оба вентиля могутъ быть примѣняемы какъ для пара, такъ и для воды; направленіе теченія отъ *A* къ *B*, т.-е. противъ нижней поверхности клапана. Въ случаѣ черт. 469 нарѣзка шпинделя не должна входить въ пространство для набивки.

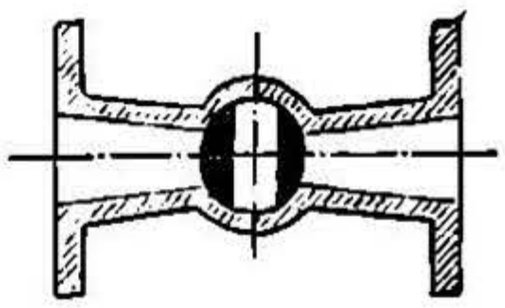
Черт. 471.



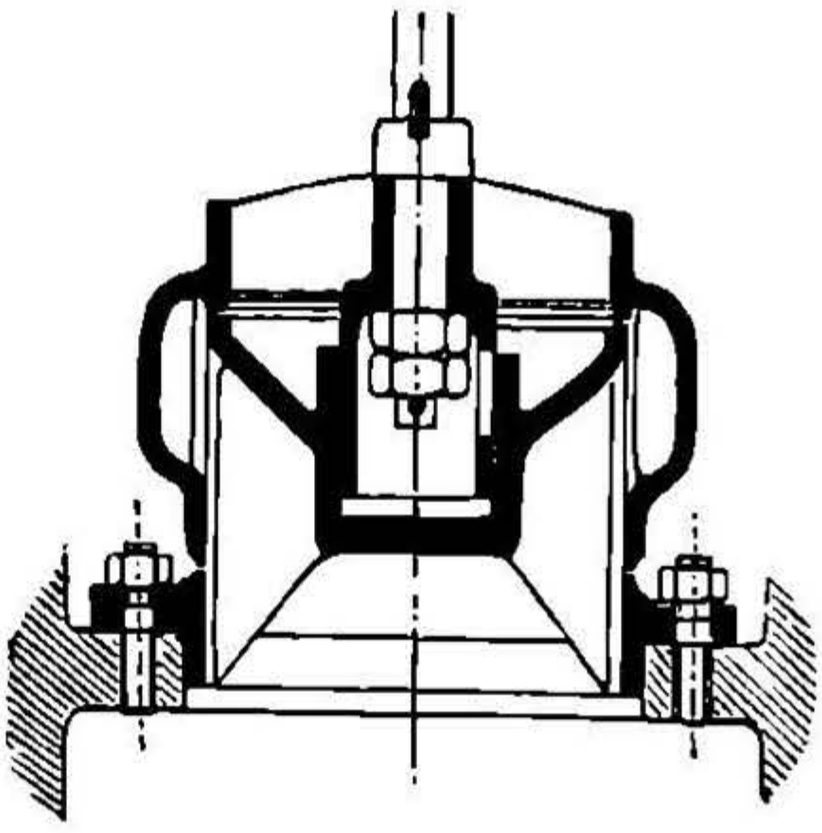
Черт. 472.



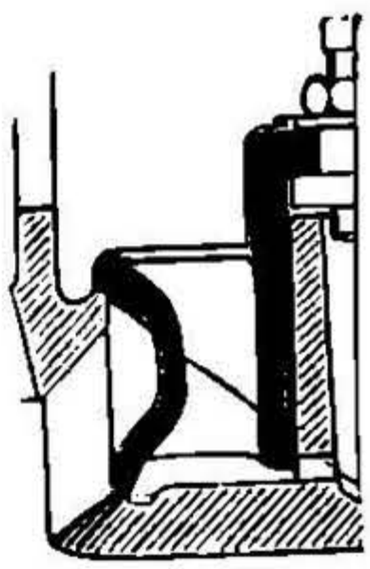
Черт. 473.



Черт. 474.



Черт. 475.



Способъ соединенія между шпинделемъ и клапаномъ всегда долженъ допускать извѣстную подвижность клапана. Направленіе клапана посредствомъ перьевъ производитъ суженіе сѣченія и, при большой скорости теченія, дрожаніе, которое служитъ причиной скораго и неравномѣрнаго изнашиванія уплотняющихъ и направляющихъ поверхностей.

Если при поломкѣ паропровода, для избѣжанія несчастныхъ случаевъ, паропроводъ долженъ быть быстро запертъ, то рекомендуется примѣненіе клапановъ, запирающихся автоматически при быстромъ измѣненіи давленія между *A* и *B* черт. 470 (въ *A* примыкаетъ обыкновенный запорный клапанъ, въ *B*—трубопроводъ).

Черт. 471 изображаетъ задвижку, черт. 472 и 473—краны. Плотность крановъ достигается посредствомъ натяженія гайки или автоматически давленіемъ жидкости. Наклонъ образующей конуса къ оси составляетъ 1 : 8 до 1 : 15.

Черт. 474 и 475 представляютъ двухсѣдалищные уравновѣшенные клапаны. Если можно ожидать значительныхъ измѣненій температуры тѣла клапана, то или клапанъ и сѣдалище должны быть

НТБ ДНУЗТ

изъ одного матеріала, или продолженныя линіи сѣченій обѣихъ опорныхъ поверхностей (черт. 475) должны пересѣкаться на оси клапана.

VIII. РЕГУЛЯТОРЫ ДВИЖЕНІЯ МАШИНЪ.

A. Маховыя колеса для машинъ-двигателей.

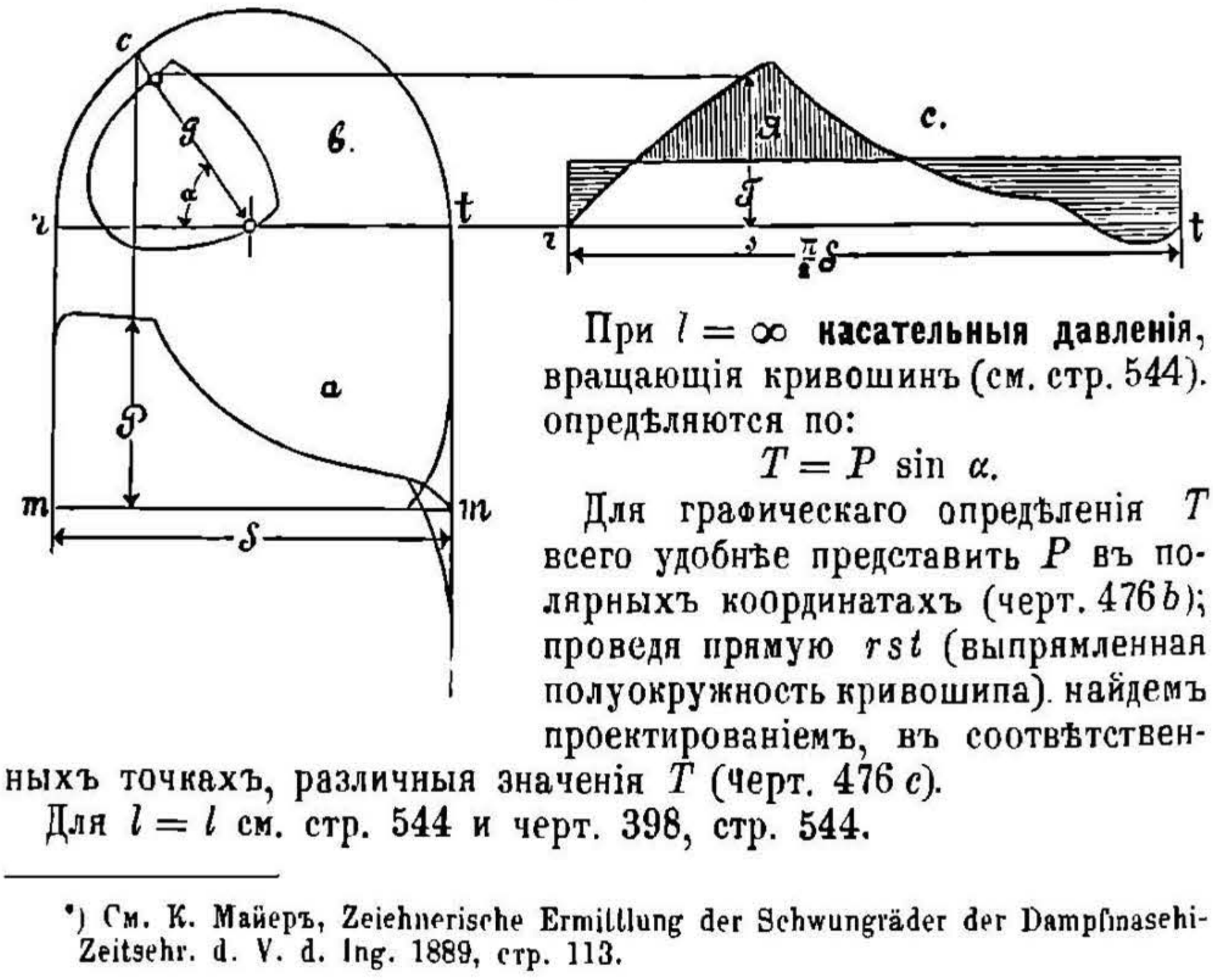
a. Опредѣленіе избытка работы двигателя надъ работою сопротивленій *).

При опредѣленіи **избытка работы**, принимаемаго маховикомъ при каждомъ полуоборотѣ кривошипа, слѣдуетъ различать слѣдующіе случаи.

1. Одноцилиндровыя машины.

1. **Сопротивленіе дѣйствуетъ по касательной къ валу кривошипа**, напр., при передачѣ движенія ремнями, канатами или зубчатыми колесами (касательное сопротивленіе постоянно). **Діаграмма давленій пара** опредѣляется какъ разность силъ, дѣйствующихъ по обѣ стороны поршня, и изображается ординатами P, отсчитываемыми отъ прямой mn (черт. 476 a).

Черт. 476.



При $l = \infty$ **касательныя давленія**, вращающія кривошинъ (см. стр. 544). опредѣляются по:

$$T = P \sin \alpha.$$

Для графическаго опредѣленія T всего удобнѣе представить P въ полярныхъ координатахъ (черт. 476 b); проведя прямую rst (выпрямленная полуокружность кривошипа). найдемъ проектированіемъ, въ соотвѣтственныхъ точкахъ, различныя значенія T (черт. 476 c).

Для $l = l$ см. стр. 544 и черт. 398, стр. 544.

---

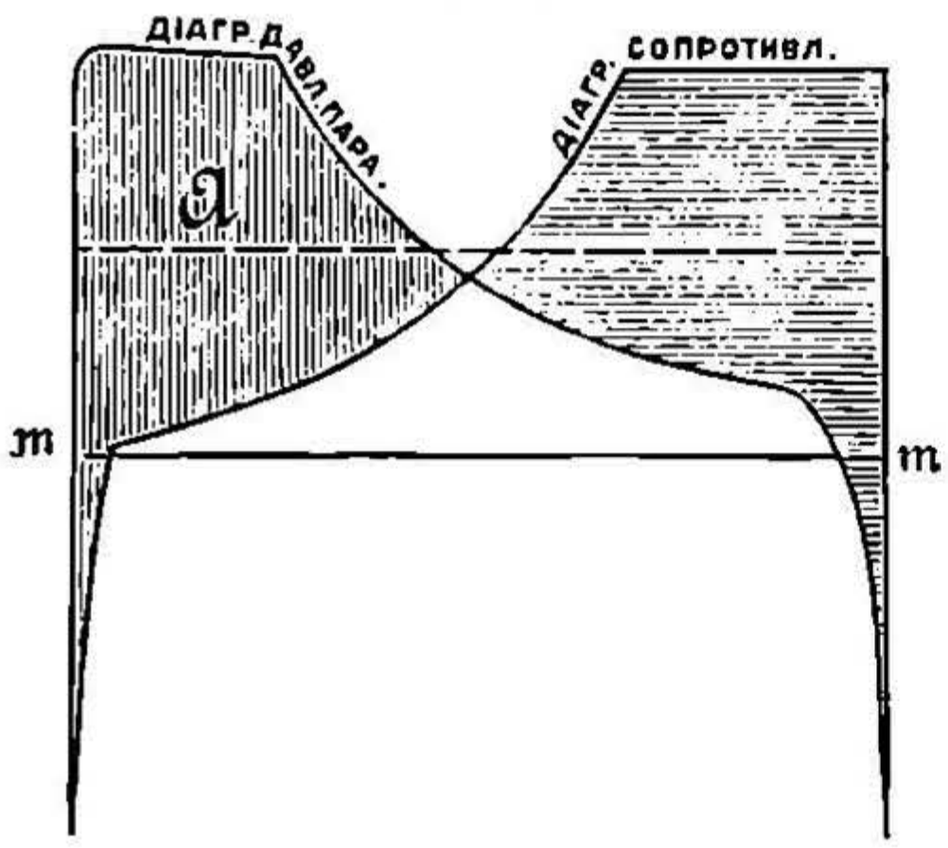
*) См. К. Майеръ, Zeichnerische Ermittlung der Schwungräder der Dampfmaschi- Zeitschr. d. V. d. Ing. 1889, стр. 113.

НТБ ДНУЗТ

На той же прямой, на которой, какъ на основаніи, вычерчена діаграмма **касательныхъ давленій**, вращающихъ кривошипъ, вычертимъ діаграмму **касательныхъ сопротивленій** (черт. 476 *c*); эта послѣдняя для вышеупомянутыхъ случаевъ представитъ прямоугольникъ, высота котораго опредѣлится по условію равенства площадей обѣихъ діаграммъ. Вертикально заштрихованная площадь (= суммѣ горизонтально заштрихованныхъ площадей) представляетъ избытокъ A работы двигателя надъ работою сопротивленій. Масштабъ работъ опредѣляется по масштабу длинъ (длина діаграммы давленій пара = ходу поршня) и по масштабу силъ (ординаты діаграммы давленій пара = силамъ, дѣйствующимъ на поршень).

2. **Сопротивленіе дѣйствуетъ по направленію поршневого стержня.** Напр., въ воздуходувкахъ и насосахъ прямого дѣйствія (безъ вращательнаго движенія). Діаграмма давленій въ насосномъ или воздуходувномъ цилиндрѣ въ этихъ случаяхъ должна быть отнесена къ паровому цилиндру, что достигается умноженіемъ ординатъ (давленій пара на поршень парового цилиндра) на отношеніе площадей обоихъ поршней; увеличивъ затѣмъ ординаты въ отношеніи $N_i : N_e$, достигаемъ равенства площадей обѣихъ діаграммъ. Діаграммы давленій пара и сопротивленій наносятся на одной и той же прямой *mm*; избытокъ работы выражается площадью A. Примѣръ опредѣленія A для случая воздуходувокъ изображенъ на черт. 477 (пунктирная прямая относится къ насосамъ).

Черт. 477.



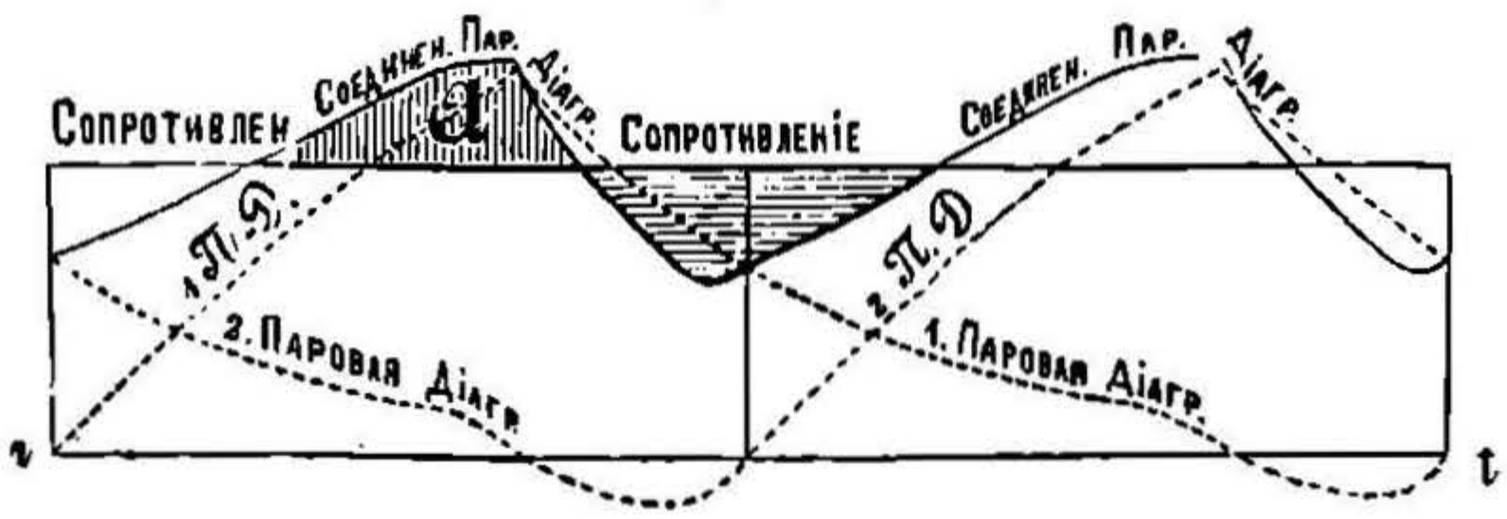
3. Въ другихъ случаяхъ (если, напр., насосъ приводится въ движеніе кривошипомъ) слѣдуетъ (по приведенному въ 1. способу) діаграмму давленій пара и діаграмму сопротивленій (умноженную на вышеупомянутыя величины) преобразовать въ соотвѣтствующую имъ діаграмму касательныхъ давленій; получаемый при этомъ избытокъ площади и слѣдуетъ принять $= A$.

2. Въ многоцилиндровыхъ машинахъ діаграммы касательныхъ давленій (или діаграммы давленій на поршень въ случаяхъ, когда сопротивленіе дѣйствуетъ по направленію поршневого стержня и кривошипы насажены подъ угл. 0^0 или 180^0) для различныхъ цилиндровъ должны быть соединены въ одну, причемъ слѣдуетъ принимать во вниманіе углы, составляемые кривошипами между собою, такъ, чтобы слагались въ одно только одновременно дѣйствующія давленія пара (или сопротивленія). Полученныя такимъ образомъ, діаграммы давленій пара и сопротивленій наносятся надъ одной и

НТБ ДНУЗТ

той же основной прямой. Наибольшій избытокъ площади A полагается въ основу дальнѣйшаго разсчета. На черт. 478 изображенъ примѣръ опредѣленія A для сдвоенной машины, кривошипы которой насажены подъ угломъ 90^0 и которая работаетъ непосред-

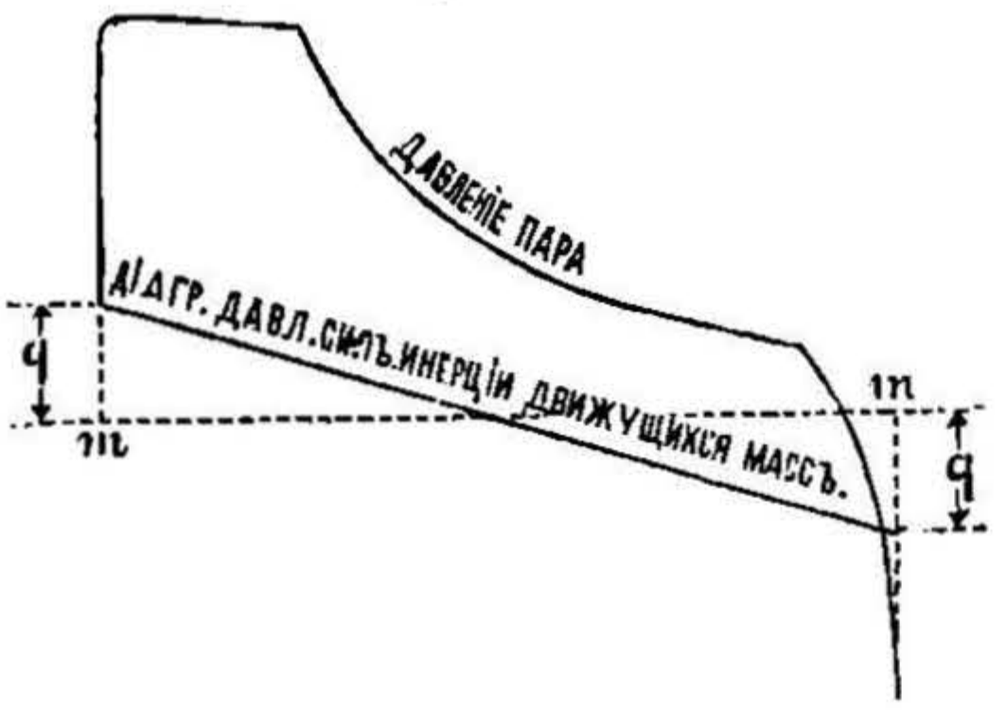
Черт. 478.



ственно на приводъ. Если діаметры цилиндровъ не одинаковы, то предварительно слѣдуетъ привести къ одному какому-либо цилиндру діаграммы всѣхъ остальныхъ.

3. Въ быстроходныхъ машинахъ или машинахъ со значительными движущимися массами, при составленіи діаграммы давленій пара, слѣдуетъ имѣть въ виду, что силы, дѣйствующія на поршень, должны быть увеличены (или уменьшены) на соотвѣтственныя величины **силъ инерціи** движущихся массъ, для чего діаграмма давленій ограничивается снизу наклонной прямой (черт. 479), пересѣкающей горизонталь mm (предположено, что шатунъ безконечно длиненъ). Принимая длину шатуна конечною, получимъ взамѣнъ прямой очертаніе параболы по черт. 397, стр. 543. Величину силъ инерціи см. стр. 543.

Черт. 479.



Условія спокойнаго хода паровой машины. Въ частяхъ движущаго механизма перемѣна направленія давленія должна происходить нѣсколько раньше перемѣны направленія хода поршня; давленіе сжатаго пара въ концѣ хода поршня должно превышать давленіе, необходимое для замедленія массъ движущаго механизма, при его положеніи, соотвѣтствующемъ концу хода поршня; обратное дѣйствіе движущихся массъ на раму машины должно быть по возможности уничтожено устройствомъ противовѣсовъ.

Теоретическая величина уравновѣшивающихъ массъ у кривошипа должна быть настолько велика, чтобы ихъ центробѣжная сила была равна наибольшей силѣ инерціи массъ движущаго механизма.

Въ дѣйствительности, вѣсъ противовѣсовъ дѣлается нѣсколько меньше, чѣмъ требуется по теоретическому разсчету, такъ какъ такіе противовѣсы трудно устанавливаются, а у вертикальныхъ

НТБ ДНУЗТ

машинъ большіе противовѣсы оказываютъ вредное вліяніе въ горизонтальномъ направленіи.

Наиболѣе цѣлесообразное выравниваніе массъ въ самомъ движущемъ механизмѣ достигается въ горизонтальныхъ и вертикальныхъ машинахъ о двухъ цилиндрахъ при расположеніи кривошиповъ подъ угломъ 180^0 и возможномъ сближеніи между собой осей цилиндровъ, съ цѣлью уменьшенія вращающаго момента силъ въ массахъ *).

b. Размѣры маховика.

1. Если маховое колесо должно воспринимать и возвращать лишь **періодическіе избытки работы**, то **масса M обода маховика** опредѣляется по A (стр. 590) изъ формулы:

$$A = J\omega^2\delta_s = MV^2\delta_s,$$

гдѣ δ_s степень неравномѣрности, т.-е. отношеніе разности наибольшей и наименьшей скоростей къ средней скорости V на окружности, во время одного оборота; J моментъ инерціи и ω угловая скорость вращенія маховика. Дѣйствительный вѣсъ обода маховика G получится, если принять въ разсчетъ 0,9 этой массы, такъ какъ моментъ инерціи маховика нѣсколько больше вслѣдствіе существованія спицъ, такъ что:

$$G = 0{,}9\ Mg = 8{,}83\ M.$$

Не вычерчивая діаграммы тангенціальныхъ усилій, **приблизительное значеніе** G можно получить по формулѣ:

$$G = \frac{c}{\delta_s}\frac{N}{nV^2},$$ гдѣ

N полезная производительность въ лош. силахъ,
n число оборотовъ махового колеса въ минуту,
V скорость на окружности махового колеса въ m/sec.
c постоянное, которое можно положить:
для одноцилиндровыхъ машинъ и тандэмъ-компаундъ машинъ $c = 7000$,
для машинъ компаундъ съ кривошипами подъ прямымъ угломъ $c = 2500$ до 4000 **).

2. Если **при измѣняющейся нагрузкѣ** маховое колесо должно дѣйствовать такъ, чтобы машина, при отдачѣ работы маховымъ колесомъ, давала большую производительность сравнительно съ ея размѣрами, то маховое колесо должно имѣть большій вѣсъ въ зависимости отъ продолжительности такой работы, разницы скоростей и т. д. Можно принимать:

---

*) Подробныя теоретическія изслѣдованія объ уравновѣшеніи дѣйствія массъ въ многоцилиндровыхъ машинахъ см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1894, стр. 1091; 1897, стр. 998 и 1371; 1898, стр. 907 (способъ Тайлора).

**) См. K. Mayer, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1889, стр. 113.

НТБ ДНУЗТ

для машинъ электрическихъ трамваевъ болѣе 100 лош. силъ и для заводскихъ машинъ съ подобными колебаніями работы

$$G \geqq 6000 \frac{N + 100}{V^2}.$$

Если имѣется запасная (буферная) батарея, то G меньше, а при гористой профили и отсутствіи такой батареи G надо принимать больше на 50%.

Въ машинахъ для обработки дерева, для горячей рѣзки металла и т. д. достаточно

$$G \geqq 3000 \frac{N + 20}{V^2}.$$

Среднія значенія величины степени неравномѣрности δ_s:

для водоподъемныхъ, лѣсопильныхъ машинъ $\delta_s = 1\ 20$ до $1\ 30$,
въ машинахъ для обработки металловъ $\delta_s = 1 : 35$,
„ „ ткацкихъ и писчебумажиыхъ фабрикъ . . . . . $\delta_s = 1 : 40$,
„ „ „ мукомольныхъ мельницъ. $\delta_s = 1 : 50$,
для бумагопрядиленъ низкихъ нумеровъ пряжи. $\delta_s = 1 : 50$ до $1\ 60$,
„ высокихъ „ „ $\delta_s = 1 : 100$,
динамомашинъ для электрич. освѣщенія (безъ аккумуляторовъ) $\delta_s = 1 : 150$.

Сѣченіе F (въ qcm) обода махового колеса получается по вѣсу G (въ kg) изъ формулы:

$$F = 0{,}22 \frac{G}{R},$$

гдѣ R разстояніе центра тяжести сѣченія обода отъ оси вращенія въ m.

(Для опредѣленія общаго вѣса махового колеса вѣсъ спицъ можно считать равнымъ около одной трети вѣса обода).

3. Напряженіе, вызываемое въ **ободѣ маховика** отъ дѣйствія центробѣжной силы (въ предположеніи, что спицы не держатъ обода), въ kg/qcm:

$$\sigma_z = \gamma \frac{V^2}{g}, \text{ гдѣ}$$

V скорость на окружности обода маховика,
γ вѣсъ единицы объема матеріала маховика,
g ускореніе отъ силы тяжести; все выражено въ cm,

или $$\sigma_z = 0{,}076\ V^2,$$

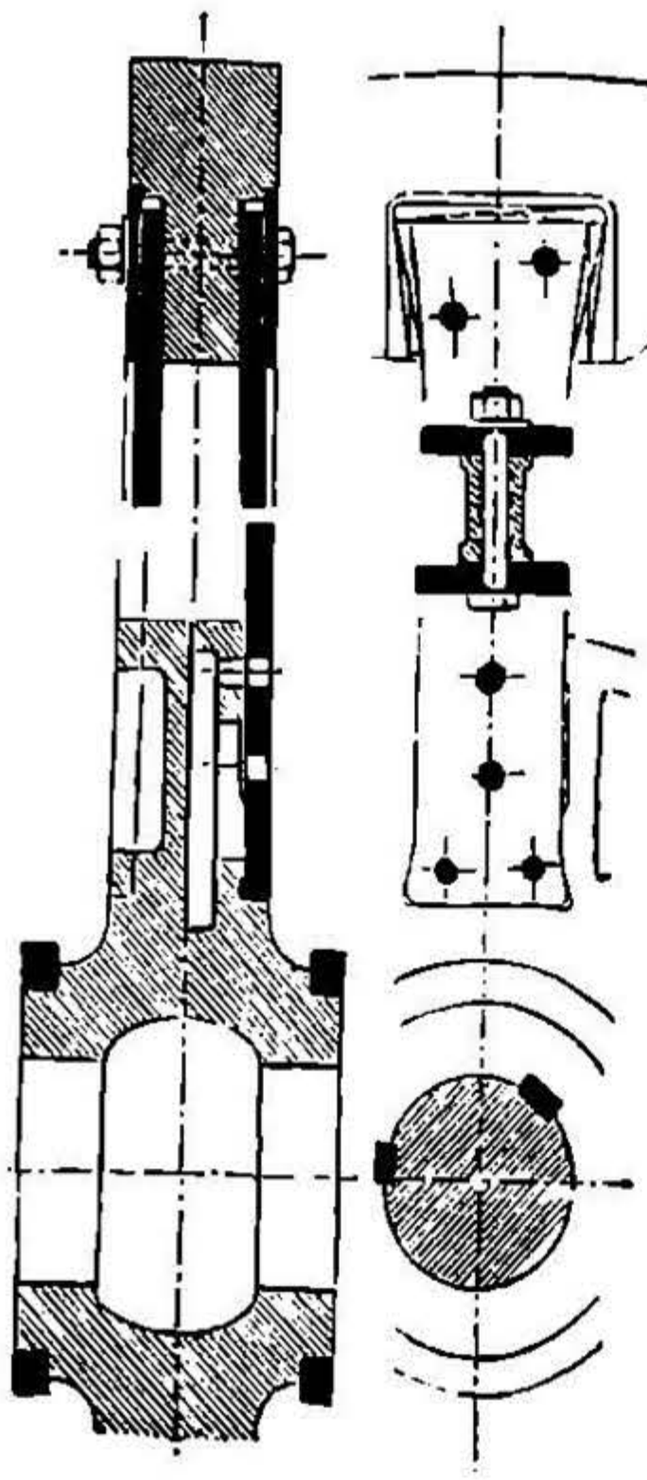
если V выражено въ m въ сек. Такимъ образомъ, это напряженіе зависитъ только отъ V; напр., при $V = 30$ m въ сек., $\sigma_z = 68$ kg/qcm. Присутствіе спицъ вызываетъ въ ободѣ изгибающія напряженія, отчего напряженіе можетъ увеличиться въ два до трехъ разъ *).

*) Точныя формулы, также для разсчета спицъ, см. Goebel, Ueber Schwungradexplosionen. Zeitschr, d. V. d. Ing. 1898, стр. 353.

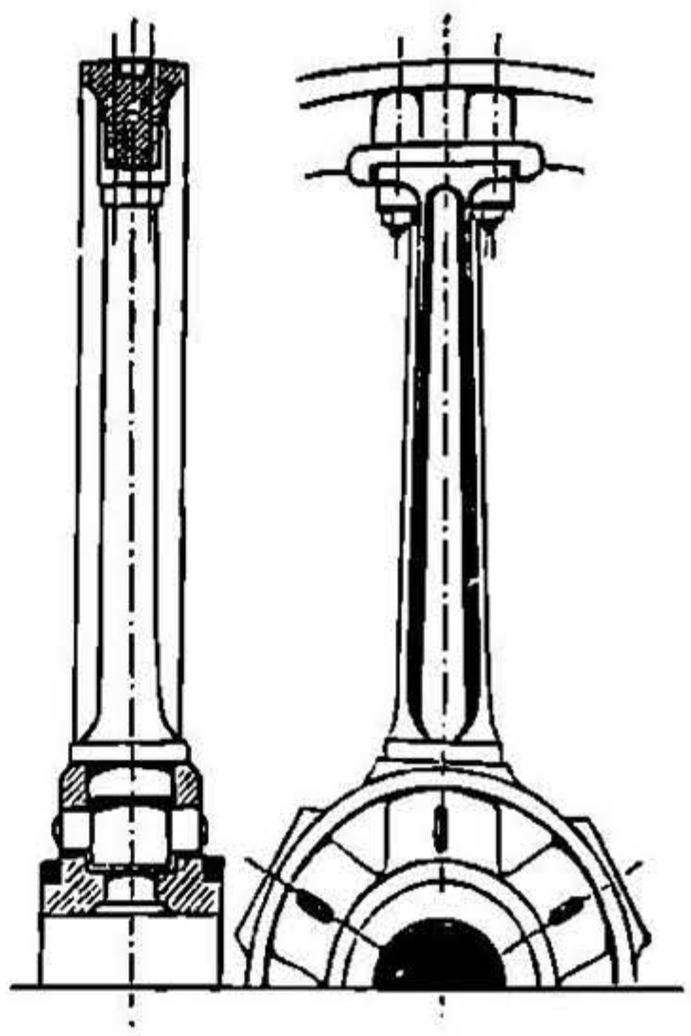
НТБ ДНУЗТ

4. Разсчетъ спицъ. Спицы разсчитываются на разрывъ отъ дѣйствія центробѣжной силы и на изломъ отъ дѣйствія наибольшаго

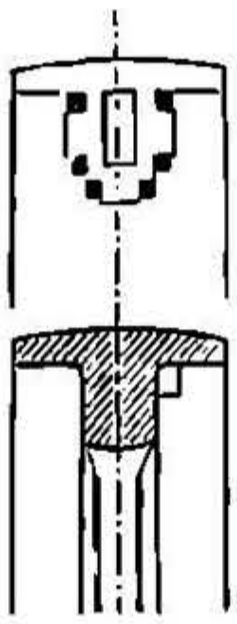
Черт. 480.



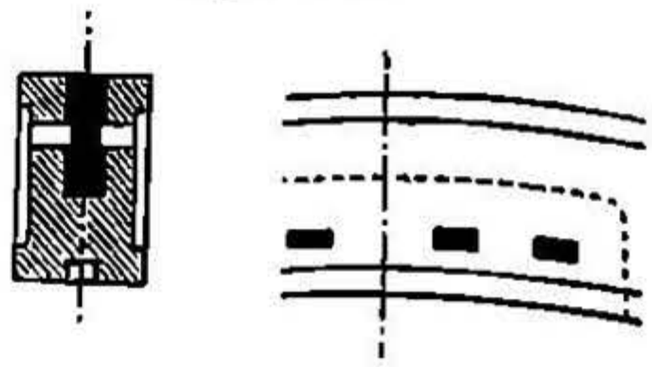
Черт. 481.



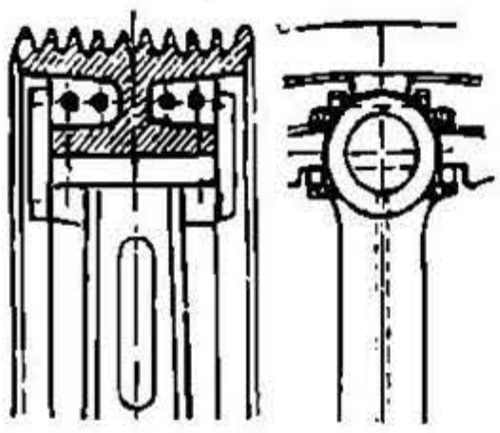
Черт. 482.

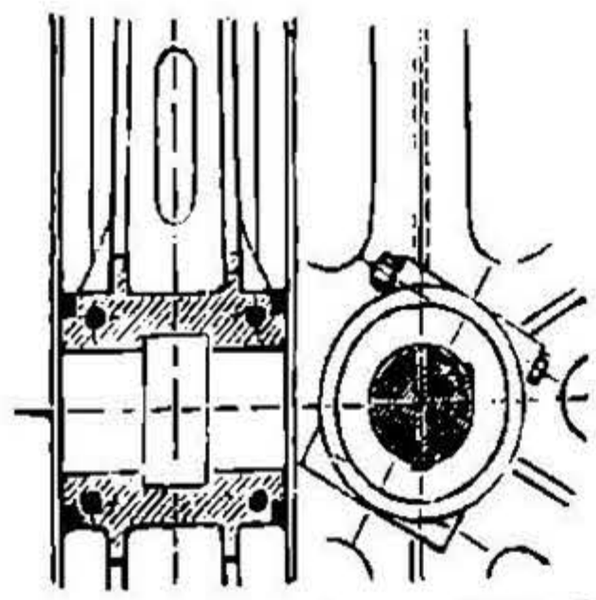


Черт. 483.

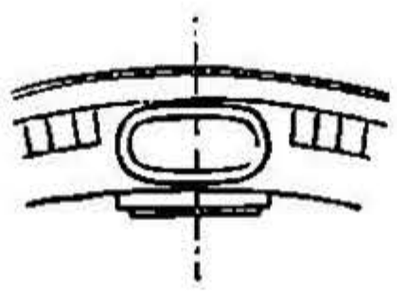


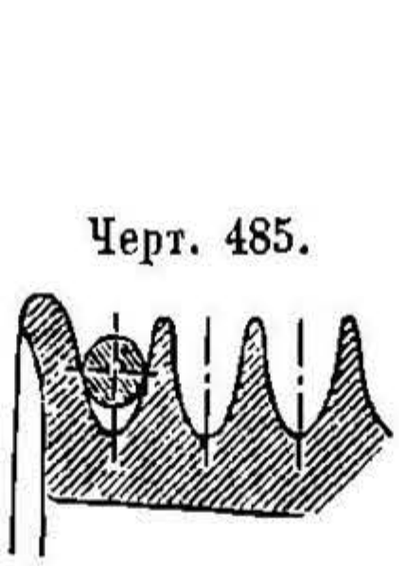
Черт. 484.



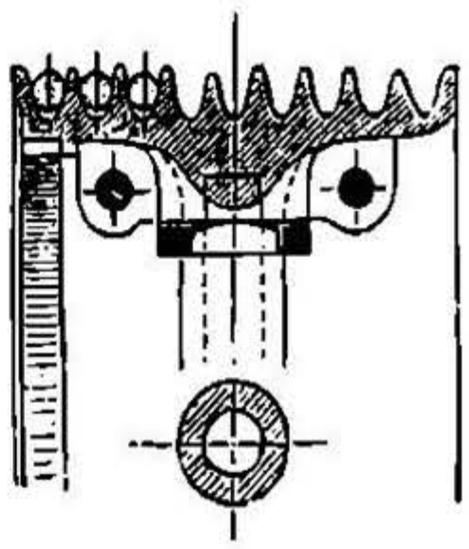


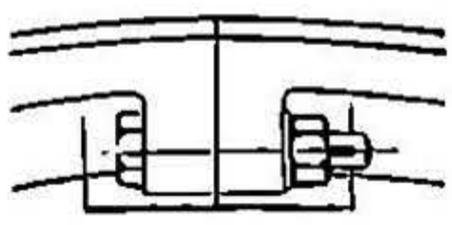
Черт. 485.





Черт. 486.





момента, передаваемаго на маховикъ; причемъ для чугуна допускается $k_b = 100$, для желѣза $k_b = 400$ kg/qcm. Число спицъ обыкновенно 6 или 8.

5. Радіусъ маховика въ среднемъ около $5r$; его всегда слѣдуетъ выбирать такъ, чтобы $V \leqq \sqrt{\frac{g k_z}{\gamma}}$, для чугуна $V < 30$ m въ сек.

НТБ ДНУЗТ

(только для прокатныхъ машинъ допускается нѣсколько большая величина для *V*). Распредѣляя массы маховика, надо избѣгать большихъ скопленій матеріала (кольцеобразное поперечное сѣченіе). Для избѣжанія напряженій чугуна при отливкѣ, маховикъ дѣлается составнымъ изъ 2-хъ частей при небольшомъ діаметрѣ. При значительныхъ же размѣрахъ — спицы, втулка и сегменты обода отливаются отдѣльно.

Примѣры обыкновенныхъ маховиковъ представлены на черт. 480 до 483. У большихъ машинъ полезно обшивать диски маховиковъ досками для уменьшенія сопротивленія воздуха движенію маховика (на черт. 480—спицы желѣзныя); на черт. 484—486 изображены маховики для канатныхъ передачъ.

B. Центробѣжные регуляторы.

a. Общія положенія.

1. Опредѣленія.

Каждый регуляторъ во всѣхъ своихъ положеніяхъ долженъ быть **устойчивъ**, т.-е. при увеличивающихся отклоненіяхъ его колеблющихся массъ отъ оси регулятора должно происходить постоянное увеличеніе числа оборотовъ. Противоположная **неустойчивая** (неупотребительная) система, равно какъ безразличное состояніе (**астатическое**), могутъ быть обусловлены самимъ регуляторомъ или нецѣлесообразнымъ устройствомъ (дѣйствующаго отъ регулятора) передаточнаго механизма или регулирующаго прибора.

Статическими регуляторами называются такіе, у которыхъ каждому высшему положенію муфты соотвѣтствуетъ большее число оборотовъ машины въ минуту.

Астатическими регуляторами наз. такіе, у которыхъ всевозможнымъ положеніямъ муфты соотвѣтствуетъ одно и то же число оборотовъ, и муфта которыхъ имѣетъ движеніе только при одномъ совершенно опредѣленномъ числѣ оборотовъ машины. При всѣхъ остальныхъ скоростяхъ муфта регулятора находится въ одномъ изъ крайнихъ своихъ положеній.

Псевдоастатическими наз. регуляторы, сильно приближающіеся по своимъ свойствамъ къ астатическимъ.

Астатическими точками наз. такія положенія качающихся тѣлъ, для которыхъ въ двухъ безконечно близкихъ ихъ положеніяхъ угловая скорость постоянна. Переходъ изъ положенія устойчиваго въ неустойчивое и наоборотъ происходитъ именно въ такихъ астатическихъ точкахъ.

Наиболѣе употребительны положенія регуляторовъ вблизи тѣхъ астатическихъ положеній, отъ которыхъ уже начинается неустойчивое равновѣсіе; поэтому ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ произвольно увеличивать хода *s* регулятора, теоретически не точно изслѣдованнаго.

НТБ ДНУЗТ

Степенью неравномѣрности δ наз. отношеніе разности наибольшаго и наименьшаго числа оборотовъ къ среднему, полагая, что колебанія регулятора происходятъ свободно и независимо отъ системы рычаговъ, ведущихъ регулирующій приборъ у парораспредѣленія.

Отъ правильнаго выбора степени неравномѣрности, главнымъ образомъ, зависитъ регулирующая способность регулятора. Если δ выбрано очень малымъ, то при измѣненіи нагрузки машины регуляторъ получаетъ очень продолжительныя качанія или не приходитъ болѣе въ состояніе покоя. Чѣмъ больше δ, тѣмъ скорѣе регуляторъ принимаетъ новое положеніе равновѣсія. Наименьшая допускаемая степень неравномѣрности (безъ примѣненія маслянаго тормаза), по Толле *), приблизительно:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{s_r}{g\,T^2}}, \quad \text{гдѣ}$$

T время въ секундахъ, въ теченіе котораго двигатель, считая отъ состоянія покоя, при наибольшемъ наполненіи, безъ нагрузки достигаетъ своего нормальнаго числа оборотовъ,

g ускореніе отъ силы тяжести $= 981$ cm/sec^2.,

s_r приведенный подъемъ муфты регулятора въ cm, именно:

$$s_r = \frac{\text{сумма всѣхъ вѣсовъ} \times \text{квадраты ихъ путей}}{\text{работа регулятора.}}.$$

Для регуляторовъ съ сравнительно большой нагрузкой муфты (большое число оборотовъ) $s_r \sim s =$ ходу муфты въ cm. Пружинные регуляторы имѣютъ значительно меньшую величину s_r и даютъ вмѣстѣ съ тѣмъ меньшую степень неравномѣрности только въ томъ случаѣ, если не имѣется никакой нагрузки (кромѣ нагрузки, обусловленной качающимися массами) и если, благодаря большому числу оборотовъ и большому разстоянію качающихся массъ отъ шпинделя, самыя массы незначительны и вылетъ ихъ можетъ быть сдѣланъ малымъ. (См. данныя для s_r стр. 614 до 616). Чѣмъ меньше s_r сравнительно съ дѣйствительнымъ подъемомъ муфты, тѣмъ выше регулирующая способность регулятора и тѣмъ меньше, при одинаковыхъ условіяхъ, можетъ быть выбрана величина δ. Если

L наибольшая производительность двигателя въ mkg въ сек.,

M масса обода махового колеса въ kg/m/sec^2.,

V скорость его въ m/sec., то имѣемъ:

$$T = \frac{M\,V^2}{L}.$$

Небольшія величины δ требуютъ слѣд. (T входитъ въ формулу въ квадратѣ при s_r) возможно тяжелыхъ маховиковъ при значительной скорости по окружности.

---

*) См. M. Tolle, Beiträge zur Beurteilung der Centrifugalpendelregulatoren, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 735 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Жидкіе катаракты (масляные тормаза съ краномъ на трубѣ, соединяющей обѣ стороны поршня; вертикальное положеніе для того, чтобы поршень двигался въ цилиндрѣ безъ тренія) позволяютъ получить нѣсколько меньшую, чѣмъ выше показано, степень неравномѣрности, но вслѣдствіе своего сопротивленія являются причиной большей нечувствительности регулятора.

Степень неподвижности или нечувствительности ε. Сопротивленіе P, которое должно быть преодолѣваемо каждымъ регуляторомъ, соединеннымъ съ регулирующимъ приборомъ парораспредѣлительнаго механизма, измѣренное у муфты по направленію движенія послѣдней, состоитъ изъ двухъ частей: полезнаго сопротивленія W, передаваемаго муфтѣ регулятора отъ регулирующаго прибора, и вреднаго сопротивленія R, вызываемаго собственнымъ треніемъ регулятора. Слѣд. P, подобно тренію въ механизмахъ, дѣйствуетъ всегда въ сторону, противоположную движенію.

Для каждаго положенія регулятора, нагруженнаго силою P, подъемъ или опусканіе муфты произойдетъ только при опредѣленномъ измѣненіи числа оборотовъ (n), въ положительномъ или отрицательномъ смыслѣ ($+\Delta n$ или $-\Delta n$), т.-е. когда центробѣжная сила C вращающихся массъ увеличилась или уменьшилась на опредѣленную величину ΔC. Слѣд., въ промежуткѣ измѣненій числа оборотовъ отъ

$$n-\Delta n \text{ до } n+\Delta n,$$

муфта регулятора остается **неподвижною или нечувствительною**; отношеніе:

$$\frac{(n+\Delta n)-(n-\Delta n)}{n}=\frac{2\Delta n}{n}=\varepsilon$$

наз. степенью неподвижности или нечувствительности регулятора.

Въ виду того, что Δn вообще весьма мало сравнительно съ n, принимаютъ приблизительно:

$$\varepsilon=\frac{(n+\Delta n)^2-n^2}{n^2}=\frac{\Delta C}{C}.$$

Степень нечувствительности регулятора ε у машинъ съ поступательнымъ движеніемъ массъ не должна быть меньше, чѣмъ степень неравномѣрности δ_s соотвѣтствующаго махового колеса, съ цѣлью избѣжать лишняго подергиванія регулятора во время каждаго хода машины.

Энергіей S называютъ усиліе, которое дѣйствуетъ на муфту при находящемся въ покоѣ и не нагруженномъ установительнымъ механизмомъ регуляторѣ. Величина S практически легко опредѣляется помощью уравновѣшиванія давленія муфты при находящемся въ покоѣ шпинделѣ, для всякаго положенія муфты.

Величина ε можетъ быть выражена черезъ S слѣд. образомъ:

$$\varepsilon=\frac{P}{S}=\frac{W+R}{S}=\frac{W}{S}+\frac{R}{S}=\varepsilon_w+\varepsilon_r.$$

НТБ ДНУЗТ

Степень нечувствительности, такимъ образомъ, составляется изъ двухъ частей: изъ величины

ε_w, зависящей отъ полезнаго сопротивленія регулирующаго прибора и связанныхъ съ нимъ частей и

ε_r, обусловленной собственнымъ треніемъ регулятора. Чѣмъ меньше ε_r, тѣмъ выгоднѣе регуляторъ, тѣмъ больше можетъ быть, при требуемомъ ε, полезная часть ε_w и тѣмъ меньше, при данномъ полезномъ W сопротивленіи, энергія S.

Въ большинствѣ регуляторовъ величина ε_r для отдѣльныхъ положеній муфты имѣетъ различное значеніе. Для полнаго изслѣдованія, поэтому, необходимы данныя по крайней мѣрѣ для высшаго, средняго и низшаго положеній муфты (цифровыя данныя для различныхъ системъ см. стр. 611 до 616, опредѣленіе ε_r см. стр. 610 до 612). Самыми цѣлесообразными являются регуляторы съ возможно постояннымъ ε_r.

Для величины W большею частью извѣстно только среднее значеніе; хотя W часто зависитъ отъ положеній муфты, по зависимость эта не поддается изслѣдованію, и слѣдуетъ считать сопротивленіе W постояннымъ. [Опредѣленіе W въ имѣющемся регулирующемъ приборѣ (подъ давленіемъ пара) уравновѣшиваніемъ цѣлесообразно производить помощью пружинныхъ вѣсовъ.]

Поэтому для достиженія одинаковой для всѣхъ положеній муфты степени нечувствительности удобнѣе всего имѣть **постоянную энергію** S; при нагрузкѣ муфты посредствомъ грузовъ для псевдоастатическихъ регуляторовъ S постоянно, если качающіяся массы малы сравнительно съ нагрузкой муфты и число оборотовъ велико. Регуляторы съ нагрузкой помощью пружинъ показываютъ сильно перемѣнную энергію (увеличеніе при подъемѣ муфты въ регуляторахъ Гартунга, Тренка, Цабеля и т. д., уменьшеніе у Прелля), постоянную энергію имѣютъ только пружинные регуляторы Толле.

Постоянная энергія позволяетъ, не измѣняя степени неравномѣрности, увеличивать или уменьшать нагрузку муфты, напр., помощью измѣненія числа оборотовъ. Въ регуляторахъ съ сильно перемѣннымъ S это недопустимо; они требуютъ точнаго уравновѣшиванія установительнаго прибора, чтобы при нагрузкѣ и разгрузкѣ муфты не измѣнялась степень неравномѣрности и, напр., не получилось неустойчивое устройство.

Равнодѣйствующая степень неравномѣрности i. Общая степень неравномѣрности, допускаемая регуляторомъ для машины, опредѣляется довольно точно по:

$$i = \delta + \varepsilon$$

и соотвѣтствуетъ регулятору, сцѣпленному съ установительнымъ (для парораспредѣленія) механизмомъ.

Значеніе i является указателемъ наибольшихъ возможныхъ колебаній въ скорости двигателя. Такъ какъ ε и δ зависятъ другъ отъ друга (ε должно равняться $\sim \delta$), то наименьшія колебанія въ скорости даютъ только такіе регуляторы, которые допускаютъ какъ малую степень нечувствительности (незначительное соб-

НТБ ДНУЗТ

ственное треніе и большая энергія), такъ и малую степень неравномѣрности (нагрузка пружинами, небольшія колеблющіяся массы при возможно малыхъ вылетахъ); кромѣ того, естественно, двигатель также долженъ имѣть небольшую степень неравномѣрности δ_s, обусловленную его маховымъ колесомъ (ибо $\varepsilon \geqq \delta_s$).

Работой регулятора наз. произведеніе изъ средней энергіи S_m на ходъ муфты s, т.-е.

$$\text{Работа} = S_m s = \int S \cdot ds.$$

Регуляторы прямого дѣйствія постоянно соединены съ регулирующимъ приборомъ, измѣняя его положеніе дѣйствіемъ силы W, удовлетворяющей уравненію:

$$W + R = S\varepsilon.$$

Въ продажныхъ регуляторахъ прямого дѣйствія расходуемая работа $S_m s$ не болѣе 15 до 18 mkg при нагрузкѣ муфты исключительно помощью грузовъ, при нагрузкѣ помощью пружинъ $S_m s$ доходитъ приблизительно до 90 mkg. Для большихъ регуляторовъ надо изслѣдовать, не выйдетъ ли дешевле устройство регулятора непрямого дѣйствія.

Регуляторы непрямого дѣйствія только въ началѣ и въ концѣ своего хода соединяютъ посредствомъ силы W регулирующій приборъ съ особою вспомогательною силою (пара, воды и т. п.); ходъ муфты при этомъ можетъ быть наименьшій, а потому и степень неравномѣрности δ въ нихъ меньше, чѣмъ въ предыдущихъ регуляторахъ. Такъ какъ W можетъ быть также очень мало, то степень неравномѣрности i водяныхъ двигателей, машинъ съ парораспредѣленіемъ Мейера, Ридера и др. (не смотря на то, что поглощаемая ими работа въ двигателяхъ подобнаго рода велика) можетъ быть сохранена въ тѣсныхъ предѣлахъ при обыкновенной величинѣ массъ регулятора.—См. стр. 618.

Регуляторы производительности машинъ *) имѣютъ цѣлью, въ противоположность обыкновеннымъ регуляторамъ, не сохраненіе постояннаго числа оборотовъ машины, а при одинаковой работѣ во время одного хода регулятора дать возможность значительно измѣнять скорость машины. Этимъ условіямъ удовлетворяютъ регуляторы съ сильно статической кривой n (степень неравномѣрности δ до 5,6). Тяги регуляторнаго механизма должны легко допускать измѣненіе длины.

2. Подраздѣленіе регуляторовъ съ тягами.

Различаютъ:

1) Регуляторы, въ которыхъ относительныя движенія, относительно оси, происходятъ въ плоскостяхъ, параллельныхъ этой оси (коническіе регуляторы);

2) регуляторы, въ которыхъ относительныя движенія, относи-

---

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 1065 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

тельно оси, происходятъ въ плоскостяхъ, перпендикулярныхъ къ этой оси (плоскіе регуляторы, или осевые регуляторы).

Движеніе отъ качающихся массъ къ муфтѣ передается проще всего посредствомъ:

a) кривошипа и шатуна,

b) кривошипа съ кулиссой.

При этомъ качающіяся массы могутъ:

или двигаться по кругамъ вокругъ неподвижной точки на оси (прямое подвѣшеніе),

или быть связанными съ какой-нибудь частью механизма (поводками или шатунами), причемъ отдѣльныя точки ихъ описываютъ разные пути (обращенное подвѣшеніе).

Центробѣжная сила вращающихся массъ уравновѣшивается:

1) или посредствомъ вѣса только самихъ качающихся массъ или въ соединеніи съ нагрузкой муфты;

2) посредствомъ нагрузки пружинами. Пружинные регуляторы, вслѣдствіе небольшихъ подлежащихъ ускоренію массъ, имѣютъ меньшій приведенный подъемъ муфты (см. стр. 597) и даютъ вслѣдствіе этого, при одинаковой регулирующей способности, меньшую степень неравномѣрности.

b. Аналитическій разсчетъ коническихъ регуляторовъ съ непосредственной нагрузкой.

Въ нижеслѣдующемъ, кромѣ обозначеній, принятыхъ въ a. (на стр. 597 и слѣд.), обозначимъ еще черезъ:

G вѣсъ качающейся массы, подвѣшенной къ **одной тягѣ**, въ kg,

p число тягъ, сгруппированныхъ вокругъ одной оси,

Q нагрузку на муфту въ kg,

Большей частью Q — собственный вѣсъ муфты плюсъ часть вѣса рычаговъ и нагрузка отъ давленія пружины, пара и т. д.

C центробѣжную силу отъ G, въ kg (см. стр. 203 и 211) *),

Q_s общую нагрузку цапфъ кривошипа регулятора, параллельно движенію муфты, въ kg (грузы или пружина),

[$Q_s = -(Q + pG)$ для обращеннаго подвѣшенія, при вертикальной оси,

$Q_s = +Q$ во всѣхъ остальныхъ случаяхъ.]

n число оборотовъ (перемѣнное) оси въ минуту при $P = 0$, т.-е. когда установительный у парораспредѣленія механизмъ не дѣйствуетъ,

[Упоминаемая ниже кривая n получается, если для каждаго положенія муфты откладывать какъ ординату соотвѣтствующее число оборотовъ.]

n_0 и n_u наибольшее и наименьшее число оборотовъ при $P = 0$,

$\delta = 2\,\frac{n_0 - n_u}{n_0 + n_u}$ степень неравномѣрности (см. стр. 597),

ϵ степень нечувствительности (см. стр. 598),

i равнодѣйствующую степень неравномѣрности (см. стр. 599),

---

*) Центробѣжная сила C приложена къ центру тяжести колеблющейся массы, если послѣдняя представляетъ тѣло вращенія, ось котораго перпендикулярна къ плоскости качанія.

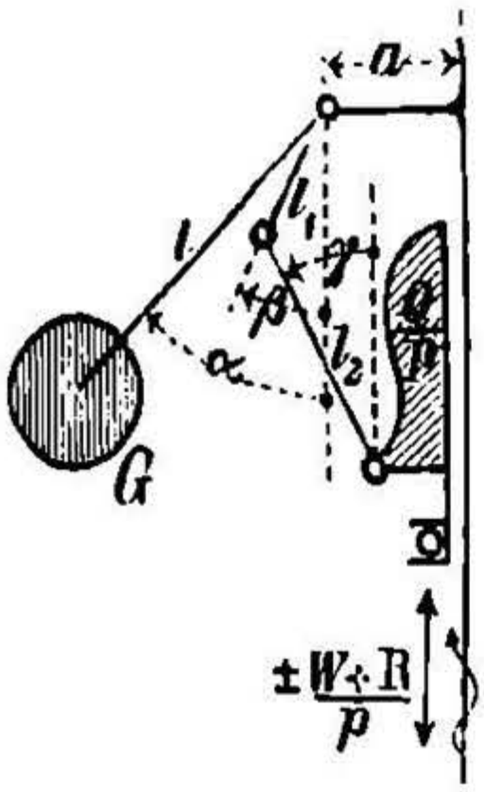
НТБ ДНУЗТ

l, l_1, l_2 длины тягъ въ m (черт. 487 до 489),
α, β, γ углы, составляемые прямыми l, l_1, l_2 съ вертикалью (черт. 487 до 489),
o и u указатели для угловъ α, β, γ и n, соотвѣтствующіе верхнему и нижнему положенію муфты для вертикальной оси, при горизонтальной оси вращенія соотвѣтствуютъ наибольшему и наименьшему возможному размаху маятника,
a разстояніе центра вращенія маятника отъ оси регулятора въ m,
λ — отрѣзокъ l_1, зависящій отъ угловъ α, β, γ (черт. 490 и форм. на стр. 603),
h такъ наз. **высоту коническаго регулятора** въ m (черт. 490 и форм. стр. 603),
s ходъ муфты въ m,
r радіусъ шарнирныхъ болтовъ въ m (принятъ одинаковымъ для всѣхъ шарниpовъ),
r_2 радіусъ движущагося ролика въ m (черт. 489),
r_3 радіусъ цапфы ролика въ m (черт. 489),
μ_1 ($\sim 0{,}1$) коэффиціентъ тренія шарнирныхъ болтовъ,
Z давленіе на цапфу въ точкѣ привѣса тяги при нагруженномъ вращающемся регуляторѣ, въ kg,
ω угловую скорость всей системы (см. стр. 152 и 209),
g ускореніе отъ силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec^2.

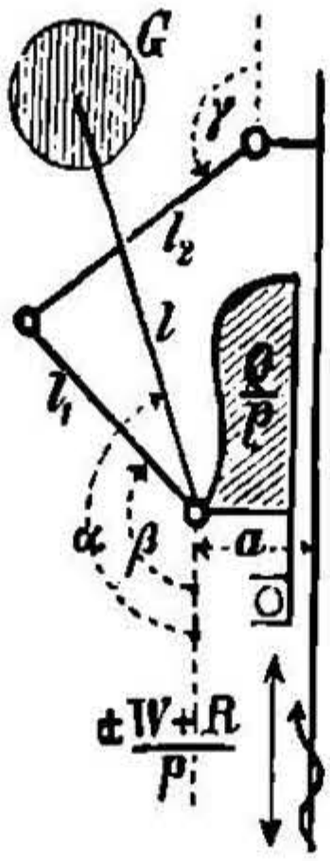
Примѣчаніе. $\frac{\pi^2}{g} \sim 1$, и потому въ нижеприведенныхъ формулахъ принято:

$$\frac{\omega^2}{g} = \left(\frac{n}{30}\right)^2$$

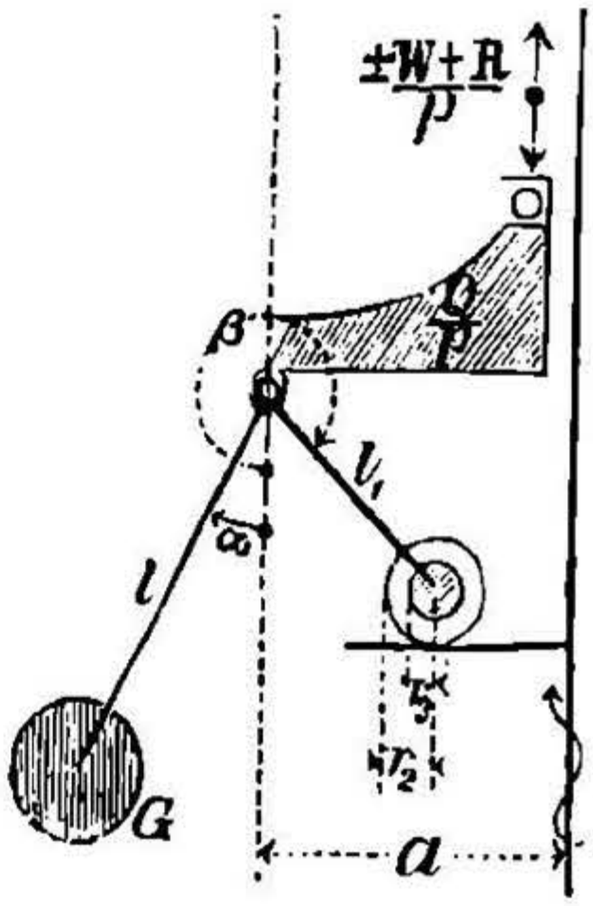
Черт. 487.



Черт. 488.



Черт. 489.



1. Общія формулы.

Черт. 487 представляетъ передвижной кривошипъ съ постоянной точкой вращенія маятника, углы α, β и γ въ первомъ квадрантѣ. Черт.

НТБ ДНУЗТ

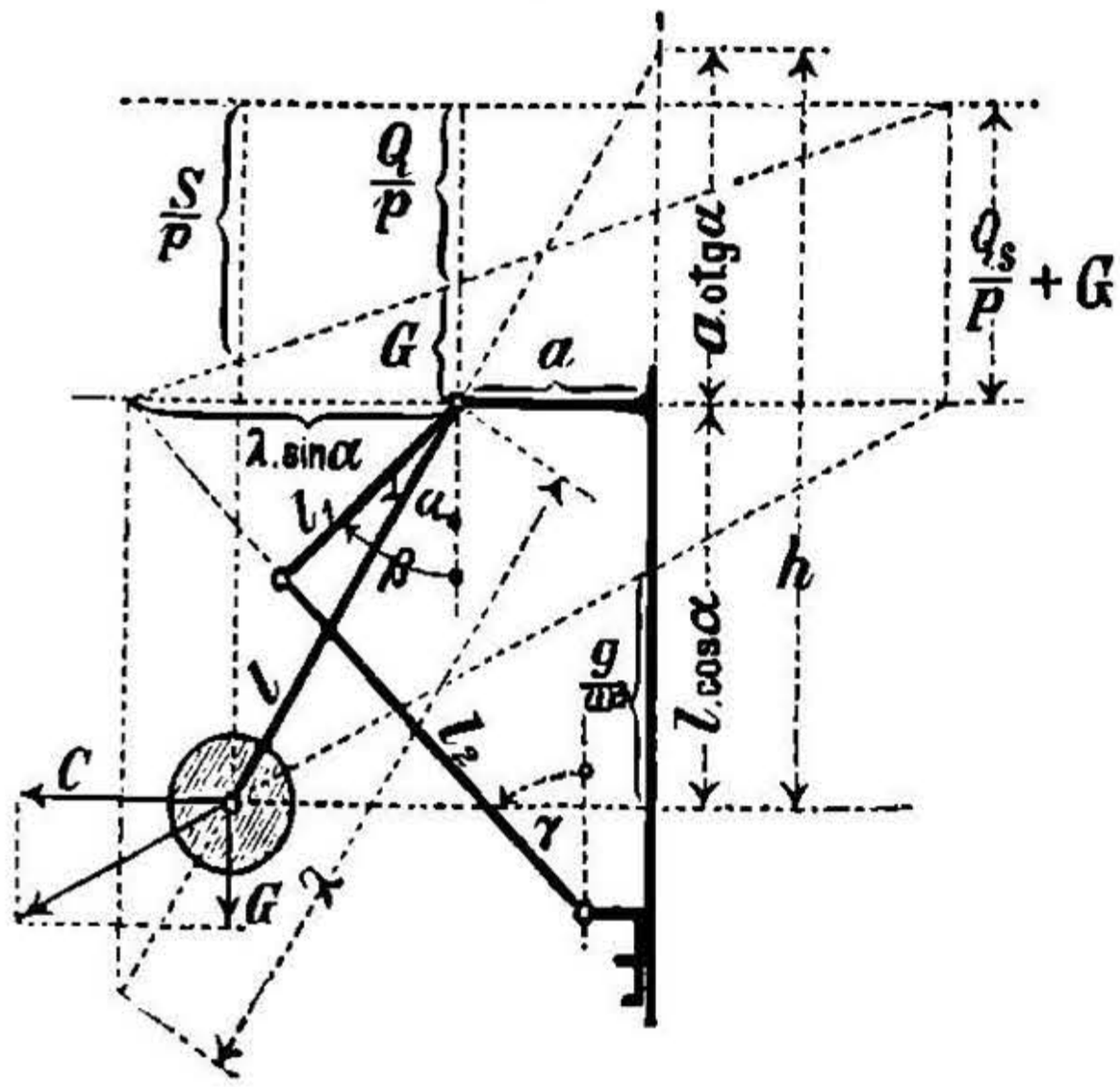
488 представляетъ подвижную точку вращенія маятника (обращенное подвѣшеніе), углы α, β и γ во второмъ квадрантѣ; посему для этого случая

$$Q_s = -(Q + pG)$$

и въ функціяхъ угловъ надо брать знаки, соотвѣтствующіе второму квадранту. Черт. 489 (кривошипъ съ кулиссой) представляетъ регуляторъ съ обращеннымъ подвѣшеніемъ, причемъ α находится въ первомъ, а β въ четвертомъ квадрантѣ; для этого случая надо положить:

$$\gamma = 0,\ l_2 = \infty.$$

Черт. 490.



1. Вертикальная ось вращенія.

Условіе равновѣсія:

$$p\,C l\cos\alpha - p\,G\,l\sin\alpha - Q_s\,l_1\frac{\sin(\beta+\gamma)}{\cos\gamma} = 0,$$

или

$$\frac{\omega^2}{g} = \left(\frac{n}{30}\right)^2 = \frac{1 + \dfrac{Q_s\,l_1\sin(\beta+\gamma)}{p\,G\,l\,\sin\alpha\cos\gamma}}{l\cos\alpha + a\,\mathrm{ctg}\,\alpha} = \frac{S}{(l\cos\alpha + a\,\mathrm{ctg}\,\alpha)\,(S - Q_s)}.$$

Выраженіе $h = l\cos\alpha + a\,\mathrm{ctg}\,\alpha =$ **высотѣ коническаго регулятора**,

$$\lambda = l_1\frac{\sin(\beta+\gamma)}{\sin\alpha\cos\gamma} =$$ **длинѣ**.

Тогда имѣемъ: $$\left(\frac{n}{30}\right)^2 = \frac{1}{h}\left(1 + \frac{Q_s}{pG}\frac{\lambda}{l}\right) = \frac{S}{h(S - Q_s)}.$$ *)

Оба выраженія для h и λ легко представить графически (черт. 490). Изъ того же чертежа получаются, по Бартлю **), соотношенія между ω, C, G, Q и S.

$S = pG\frac{l}{\lambda} + Q_s = pG\frac{l}{\lambda} + Q$ при неподвижной точкѣ вращенія,

---

*) Вѣса тягъ l_1 и l_2 оказываютъ часто существенное вліяніе на величину Чтобы принять ихъ во вниманіе (приблизительно), слѣдуетъ положить:

вмѣсто G: $G + 0{,}4\,G_1 + 0{,}5\,G_2\frac{l_1}{l}$ и вмѣсто Q: $Q + 0{,}5\,p\,G_2$,

гдѣ G_1 вѣсъ тяги l_1 и G_2 вѣсъ тяги l_2 въ kg.

**) Civilingenieur 1893, томъ XXXIX, вып. 2.

НТБ ДНУЗТ

$$S = -pG\frac{l}{\lambda} - Q_s = -pG\frac{l}{\lambda} + Q + pG \left\{ \begin{array}{l} \text{при перемѣщающей-} \\ \text{ся точкѣ вращенія.} \end{array} \right.$$

Затѣмъ имѣемъ:

$$\varepsilon = \frac{P}{S} = \frac{W+R}{pG\frac{l}{\lambda} + Q_s},$$

$$\left(\text{также } \varepsilon = \frac{2\Delta n}{n} = \frac{W}{S} + \frac{R}{S} = \varepsilon_w + \varepsilon_r\right);$$

$$s = l_1(\cos\beta_u - \cos\beta_0) + l_2(\cos\gamma_u - \cos\gamma_0);$$

$$\delta = 2\frac{n_0 - n_u}{n_0 + n_u}; \qquad i = \delta + \varepsilon;$$

$$R = \frac{\mu_1}{\sin(\beta+\gamma)}\frac{r}{l_1}\left[pZ\cos\gamma + Q_s\left(1 + 2\frac{l_1\cos\beta}{l_2\cos\gamma}\right)\right];$$

$$Z = G\sqrt{\left[\frac{S}{S-Q_s}\operatorname{tg}\alpha - \frac{Q_s}{pG}\operatorname{tg}\gamma\right]^2 + \left[\frac{Q_s}{pG} + 1\right]^2}$$

1) Для подвижного кривошипа при ромбическомъ подвѣшеніи имѣемъ тѣ же уравненія, подставляя $\beta = \gamma$, т.-е.

$$\lambda = 2l_1\frac{\sin\beta}{\sin\alpha};$$

для устройства Уатта, Портера, Клея имѣемъ, кромѣ того, $\beta = \alpha$ и $Q_s = +Q$, т.-е,

$$\lambda = 2l_1, \qquad S = G\frac{l}{l_1} + Q, \qquad \left(\frac{n}{30}\right)^2 = \frac{1 + \frac{Ql_1}{Gl}}{h}.$$

2) Для кривошипа съ роликомъ:
уравненія на стр. 603 и 604, представляя въ нихъ $\gamma = 0$, т.-е.

$$\lambda = l_1\frac{\sin\beta}{\sin\alpha};$$

для устройства, показаннаго на черт. 489, имѣемъ (какъ исключеніе):

$$R = \frac{\mu_1}{\sin\beta}\frac{r}{l_1}\left[pZ + Q_s\frac{r_2}{r_3}l_1\cos\beta\right]$$

2. Горизонтальная ось вращенія, параллельная плоскости маятниковъ (регуляторы пароходныхъ машинъ, тахометры).

Вліяніе грузовъ G устраняется двумя противолежащими маятниками. Усиліе Q передается грузами на рычагѣ муфты или пружиной.

Условіе равновѣсія:

$$pCl\cos\alpha - Ql_1\frac{\sin(\beta+\gamma)}{\cos\gamma} = 0, \text{ или}$$

$$\left(\frac{n}{30}\right)^2 = \frac{1}{h}\frac{Q}{pG}\frac{\lambda}{l} \qquad S = Q; \qquad \varepsilon = \frac{P}{Q}.$$

h, λ, s, δ, i, Z и R, какъ въ 1.

НТБ ДНУЗТ

2. Сравненіе регуляторовъ Уатта, Портера и Клея на основаніи приведенныхъ формулъ.

Эти регуляторы немногимъ уступаютъ обыкновеннымъ, встрѣчающимся въ продажѣ, регуляторамъ. Имъ слѣдуетъ отдавать предпочтеніе въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется удобный надзоръ, постоянное ε и S и легкое приспособленіе регулятора къ измѣненію n, P и ε. Послѣднее приспособленіе достигается безъ воздѣйствія на кривую n, посредствомъ измѣненія G или Q.

Для этой цѣли G составляется изъ отдѣльныхъ дисковъ, собранныхъ въ одно тѣло вращенія; Q регулируется при помощи дроби у вѣса муфты или противовѣса на рычагѣ муфты.

Общія условія.

Неподвижная точка вращенія; $\alpha = \beta$; ромбическое (или близкое къ нему) подвѣшеніе, слѣд. $l_1 =$ или $\sim l_2$; $\beta = \gamma$, или $\beta_u =$ или $\sim \gamma_u$, λ, ε и $S =$ или $\sim$ постоянной.

При $l_2 > l_1$ и при возрастаніи α длина λ уменьшается одновременно съ h, и кривая n все болѣе и болѣе приближается къ астатическому положенію; одновременно увеличивается и ходъ s и работа регулятора; для $l_2 < l_1$ имѣемъ обратный случай.

Частные случаи.

Регуляторъ Уатта. $Q \eqsim 0$; $a \eqsim 0$; α въ I квадрантѣ;

$$\left(\frac{n}{30}\right)^2 \eqsim \frac{1}{l \cos\alpha}; \qquad \varepsilon \eqsim \frac{Pl_1}{Gl};$$

астатическая точка при $\alpha = 0^0$, нѣтъ точки перегиба въ кривой n.

Рекомендуется $l_1 \sim 0{,}6\, l$ при $\alpha = 15^0$; тогда будетъ:

$$n \sim \frac{31}{\sqrt{l}},$$

и $\delta =$	0,011,	0,032,	0,055,	0,083
для $\alpha_0 =$	20^0,	25^0,	30^0,	35^0.

Малое число оборотовъ, малое внутреннее треніе R, продолговатая форма, тяжелыя качающіяся массы; весьма удобны для приборовъ измѣренія скорости, если G можетъ перемѣщаться по l.

Регуляторъ Портера. Q значительно больше, чѣмъ pG; $a \sim 0{,}1\, l$; α въ I квадрантѣ. Уравненія для n, ε и S какъ и для ромбическаго подвѣшенія (см. стр. 604); часто $l = l_1$, хотя $l > l_1$ болѣе цѣлесообразно. Кривая n имѣетъ точку перегиба, которая, почти независимо отъ $a : l$, находится при углѣ $\alpha = 40^0$. Астатической точки нѣтъ. Рекомендуется $a = 0{,}1\, l$, $l_1 = 0{,}66\, l$ при $\alpha_u = 40^0$, тогда:

$\delta =$	0,019,	0,027,	0,036,	0,045,	0,055,	0,067,
для $\alpha_0 =$	42^0,	43^0,	44^0,	45^0,	46^0,	47^0.

Число оборотовъ при томъ же l значительно больше, чѣмъ въ регуляторѣ Уатта, s при употребительныхъ δ особенно мало, такъ какъ кривая n не выгодна: h быстро

НТБ ДНУЗТ

уменьшается съ увеличеніемъ α, при увеличеніи a форма кривой менѣе выгодна. Удобное расположеніе въ планѣ, такъ какъ у оси вращенія можно сгруппировать больше двухъ маятниковъ. Вслѣдствіе этого регуляторы эти примѣняются тамъ гдѣ требуется преодолѣвать значительное сопротивленіе—хотя бы при допускаемомъ большомъ δ.

Регуляторъ Клея. Уголъ α въ IV квадрантѣ, перекрещенныя тяги l; $a \leqq l \sin^3 \alpha_u$, въ противномъ случаѣ имѣются неустойчивыя положенія. Если тяги l_2 также перекрещиваются, то Q находится ниже рычаговъ или дѣйствуетъ особеннымъ способомъ на установительный механизмъ. Соотвѣтственно $l \sin^3 \alpha_u = a$ астатическая точка находится у α_u и представляетъ одновременно наинизшую точку устойчивой части кривой n. Слѣд.:

$a : l \leqq$ 0,017, 0,040, 0,075, 0,125, 0.189, 0,265
при $360^0 - \alpha_u =$ 15^0, 20^0, 25^0, 30^0, 35^0, 40^0.

При перекрещенныхъ нижнихъ тягахъ рекомендуется $l_1 = 0{,}66\, l$ при $360^0 - \alpha_u = 40^0$, $a = 0{,}265\, l$, и слѣд.:

$\delta =$ 0,0108, 0,020, 0,034, 0,055, 0,077,
при $360^0 - \alpha_u =$ 45^0, $47^1/_2{}^0$, 50^0, $52^1/_2{}^0$, 55^0;

или при неперекрещенныхъ нижнихъ тягахъ $l_1 = 0{,}66\, l$ при $360^0 - \alpha_u = 26^0$, $a = 0{,}08\, l$, $\gamma_u = 18^0$ и $l_2 = 0{,}8\, l_1$.

Для остальныхъ величинъ см. стр. 604.

Число оборотовъ по желанію, въ зависимости отъ значенія $Q : G$; очень выгодная псевдоастатическая кривая n и большая работа, незначительное вліяніе массы тягъ на измѣненіе теоретическихъ условій. Работа этого регулятора нисколько не уступаетъ работѣ продажныхъ регуляторовъ.

c. Изслѣдованіе и разсчетъ регуляторовъ на основаніи діаграммъ *).

1. Кривыя C, степень неравномѣрности.

Если для даннаго **коническаго регулятора** при помощи чертежа или аналитически опредѣлять усилія C, которыя, будучи приложены въ центрѣ тяжести качающихся массъ, нормально къ оси регулятора, дѣйствуютъ наружу (по направленію отъ оси) и уравновѣшиваютъ въ различныхъ положеніяхъ регулятора нагружающія усилія (вѣсъ муфты Q, вѣсъ качающихся массъ G и нагрузку отъ пружины F), и если усилія эти откладывать какъ ординаты въ центрахъ тяжести M вертикально отъ нѣкоторой оси ON, то конечныя точки этихъ ординатъ лежатъ на кривой, называемой **характеристикой** регулятора или **кривою** C (черт. 491 до 495). Весьма цѣлесообразно опредѣлять отдѣльно тѣ части усилій C, которыя соотвѣтствуютъ отдѣльно величинамъ G, Q и F, т.-е. тѣ усилія C_g, C_q и C_f, которыя соотвѣтственно удерживаютъ въ равновѣсіи грузы G, Q и F, и величины эти откладывать какъ ординаты для полученія такимъ образомъ кривыхъ C_g, C_q и C_f.

*) См. Tolle, Beiträge zur Beurteilung der Centrifugalpendelregulatoren, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895 и 1896.

НТБ ДНУЗТ

Въ нижеслѣдующемъ предположено, что **всѣ усилія приведены къ одной массѣ**; пусть означаютъ:

G вѣсъ и M массу всѣхъ качающихся тѣлъ вмѣстѣ,

C ихъ общую центробѣжную силу,

Q нагрузку муфты,

x разстояніе центра тяжести M отъ оси вращенія,

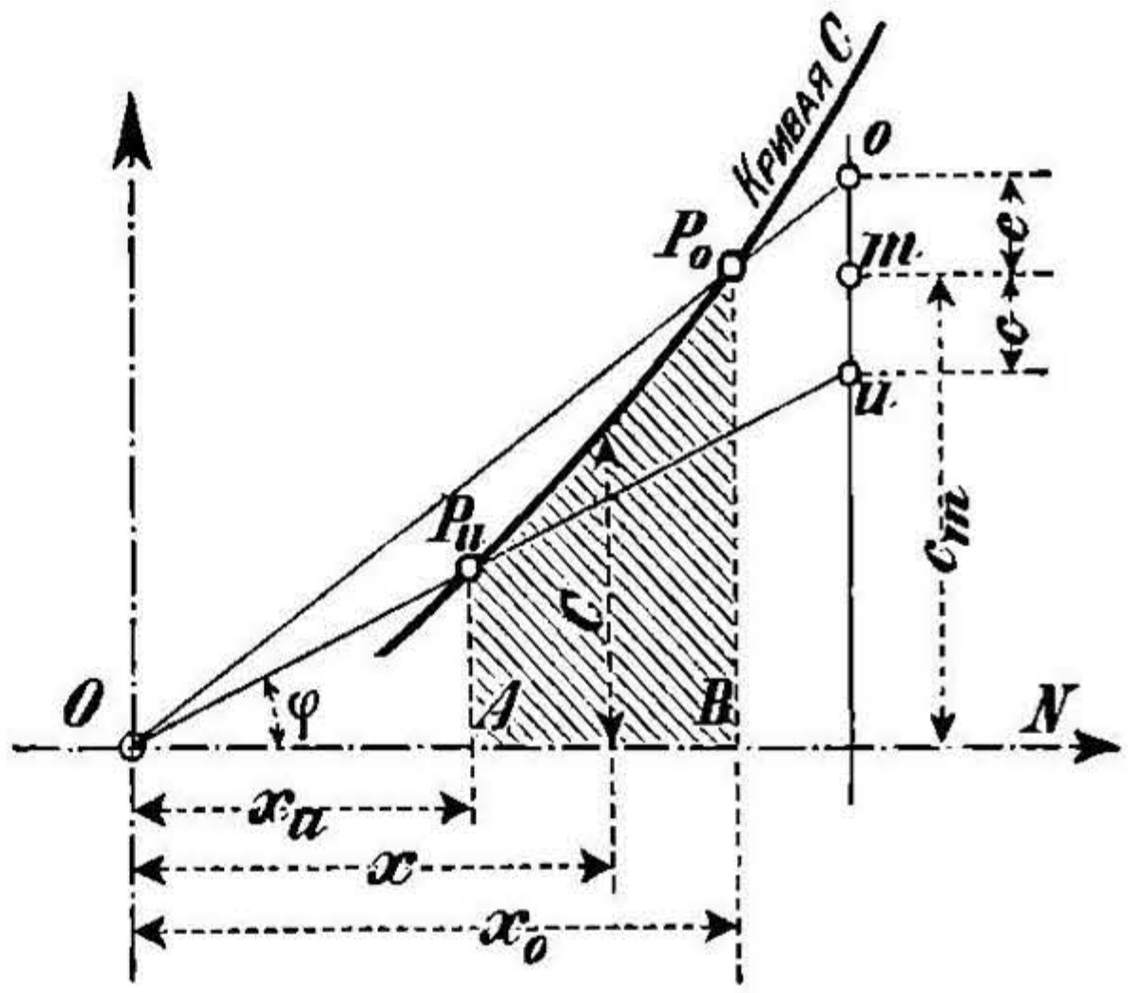
тогда угловая скорость ω и соотв. число оборотовъ въ минуту n опредѣляется изъ C:

$$C = \omega^2 M x = \left(\frac{n}{30}\right)^2 \frac{\pi^2}{g} G x.$$

(Если x измѣряется въ m, то $\frac{\pi^2}{g} \backsim 1$.)

Работа регулятора равна площади, ограниченной кривою C, осью ON и двумя крайними значеніями силы C (площадь $A = A\,P_u\,P_o\,B$, черт. 491).

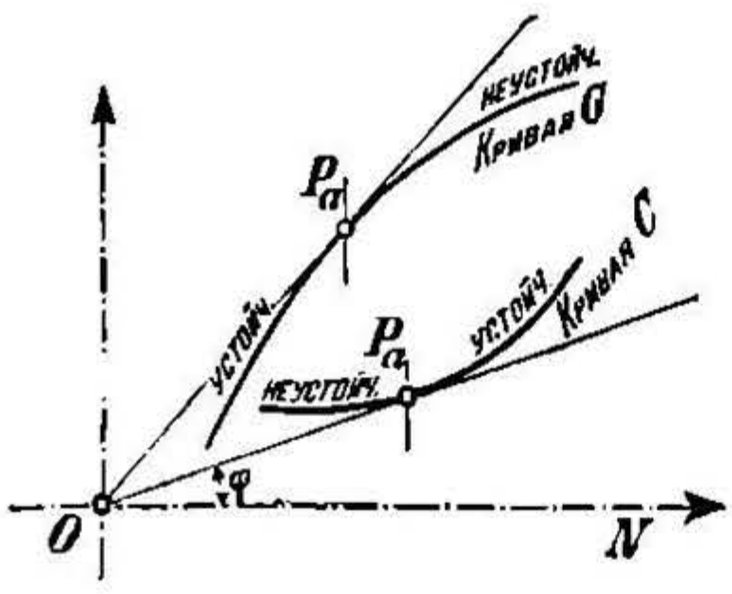
Черт. 491.



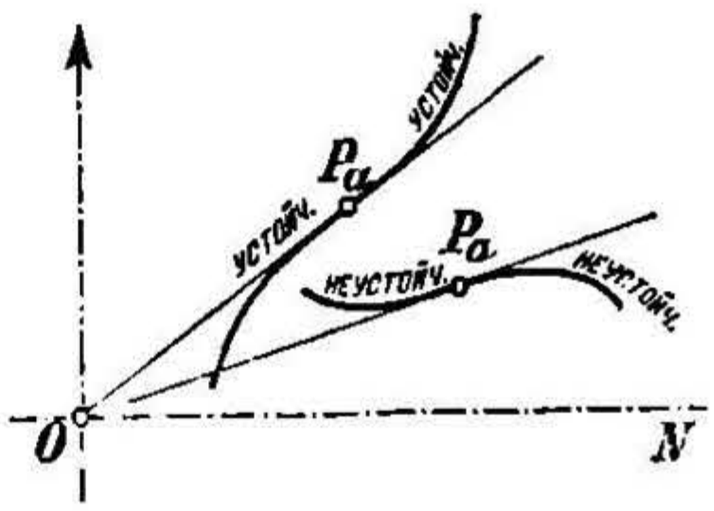
Для астатическаго регулятора кривая C превращается въ прямую, проходящую черезъ O.

Если уголъ φ, образуемый лучемъ OP (черт. 491) съ осью ON, увеличивается при увеличеніи размаха регулятора, то регуляторъ устойчивъ; если уголъ φ уменьшается съ увеличеніемъ x, то регуляторъ неустойчивъ. Прямая, проходящая черезъ точку O и касательная къ кривой C, даетъ въ точкѣ касанія астатическую точку (P_a, черт. 492). Если точка P_a не будетъ случайно точкою перегиба кривой C, то въ этой точкѣ указывается граница, въ которой регуляторъ изъ устойчиваго (пригоднаго состоянія) превращается въ регуляторъ неустойчивый (состояніе непригодное). Если OP_a есть касательная въ точкѣ перегиба кривой, то регуляторъ можетъ быть или вполнѣ устойчивъ или вполнѣ неустойчивъ (черт. 493).

Черт. 492.



Черт. 493.



НТБ ДНУЗТ

Если (черт. 491) черезъ конечныя точки P_o и P_u той части кривой C, которая будетъ утилизироваться, провести лучи изъ точки O, пересѣчь эти лучи произвольною вертикальною прямой въ o и u, и затѣмъ измѣрить отрѣзокъ c_m отъ прямой ON до средины m между этими двумя точками, то находимъ **степень неравномѣрности:**

$$\delta = \frac{c}{c_m}.$$

Если, наоборотъ, для даннаго наинизшаго положенія муфты регулятора требуется опредѣлить соотвѣтствующее наивысшее положеніе для заданной степени неравномѣрности δ (см. стр. 597), то проводимъ Ou черезъ P_u, откладываемъ $uo = 2c = 2\delta c_m$ кверху, и пересѣкаемъ кривую C прямою Oo въ искомой высшей точкѣ P_o.

Въ виду того, что кривыя C получаются **независимо** отъ положенія оси регулятора, впослѣдствіи при проектированіи регулятора степень неравномѣрности δ можетъ быть по желанію измѣнена, если перемѣстить ось регулятора:

при передвиженіи оси регулятора по направленію къ качающимся массамъ δ уменьшается,

при передвиженіи оси регулятора въ направленіи противоположномъ δ увеличивается.

Близъ астатической точки P_a всего легче достичь небольшихъ значеній δ; поэтому обыкновенно пользуются такими частями кривой C, которыя начинаются величиною P_a и даютъ устойчивыя положенія. (Если кривая C, какъ у большинства регуляторовъ, обращена вогнутостью къ оси x-овъ, то пригодная часть кривой находится выше астатической точки; если же кривая обращена къ оси x-овъ выпуклостью, то эта же часть кривой находится ниже астатической точки.

(Нижеслѣдующія соотношенія примѣняются лишь тогда, когда качающіяся тѣла представляютъ тѣла вращенія, оси которыхъ нормальны къ плоскости качанія).

Кривыя C, соотвѣтствующія отдѣльнымъ нагрузкамъ (G отъ вѣса качающихся массъ, Q нагрузки муфты, F усилія отъ пружины), даютъ указанія, возможно ли и въ какихъ предѣлахъ измѣненіе этихъ величинъ. Если, напримѣръ, кривая C_g имѣетъ такой же характеръ, какъ и общая кривая C (если она приблизительно астатична), то можно измѣнять G, не оказывая вліянія на величину δ; если кривая C_q вполнѣ или приблизительно астатична, то нагрузка муфты можетъ быть увеличена (напр. для увеличенія числа оборотовъ).

Регуляторы, у которыхъ кривая C_q астатична, не измѣняютъ своей степени неравномѣрности при увеличеніи сопротивленія установительнаго механизма; неустойчивыя конструкціи при этомъ исключаются.

Натяженіе пружинъ равносильно прибавкѣ постоянной силы; если постоянна сила, замѣняющая натяженіе пружины, даетъ астатическую кривую C, то натяженіе

НТБ ДНУЗТ

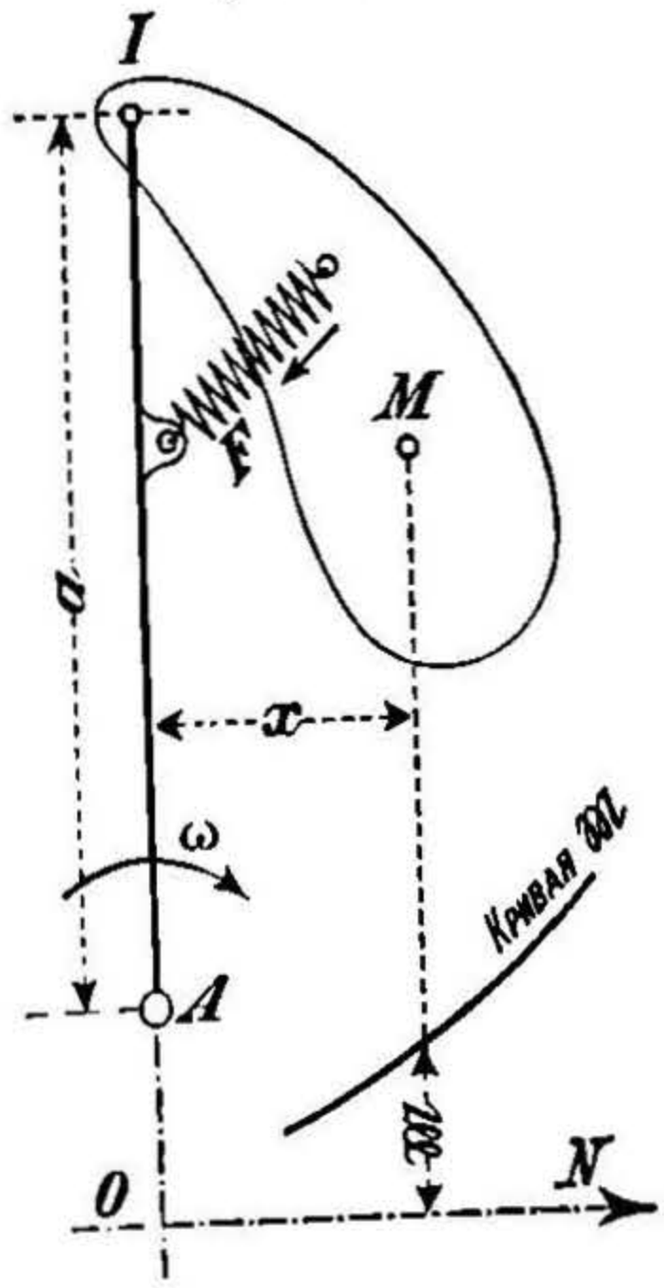
пружины можетъ быть допущено. Пружинные регуляторы, у которыхъ сила пружины дѣйствуетъ непосредственно на муфту, только тогда допускаютъ измѣненіе числа оборотовъ при измѣненіи натяженія пружины, когда кривая C_q астатична; въ противномъ случаѣ, когда, напр., кривая C_q сильно неустойчива (какъ въ регуляторахъ Тренка, Цабеля, Гартунга), можно натяженіемъ пружины достичь неустойчивой конструкціи.

Если (черт. 494) M представляетъ центръ тяжести качающагося тѣла произвольной формы **плоскаго осеваго регулятора,** вращающагося на цапфѣ I около оси A съ угловою скоростью ω,

a разстояніе центра цапфы I до оси вращенія A,

$\mathfrak{M}$ моментъ центробѣжной силы маятника массою M и вѣсомъ G, который долженъ уравновѣшивать моментъ нагружающихъ усилій (отъ пружинъ) въ отдѣльныхъ единичныхъ положеніяхъ,

Черт. 494.



тогда предыдущія соотношенія остаются въ силѣ, если отъ нѣкоторой оси ON, перпендикулярной къ AI, откладывать подъ M моменты $\mathfrak{M}$, какъ ординать. **Кривою $\mathfrak{M}$ въ этомъ случаѣ такъ же пользуются, какъ и кривою C для коническаго регулятора.** Для опредѣленія ω и n здѣсь служитъ формула:

$$\mathfrak{M} = \omega^2 a\, Mx = \left(\frac{n}{30}\right)^2 \frac{\pi^2}{g} a\, Gx.$$

Если при проектированіи качающееся тѣло вмѣстѣ съ нагружающею пружиною отодвинуть отъ точки A по направленію AI, то кривая $\mathfrak{M}$, начало O, а слѣдовательно, и степень неравномѣрности остаются неизмѣнными; измѣняется лишь величина a, а съ нею и число оборотовъ согласно вышеприведеннаго уравненія.

2. Регуляторы съ кривошипнымъ механизмомъ и грузами.

1. Прямое подвѣшеніе маятниковъ.

На черт. 495 указано для общаго случая опредѣленіе всѣхъ необходимыхъ размѣровъ слѣдующимъ образомъ:

C_g: отъ неподвижной точки вращенія I маятника откладываемъ G книзу, проводимъ gg горизонтально, на этой прямой лучи IM отрѣзаютъ величины C_g.

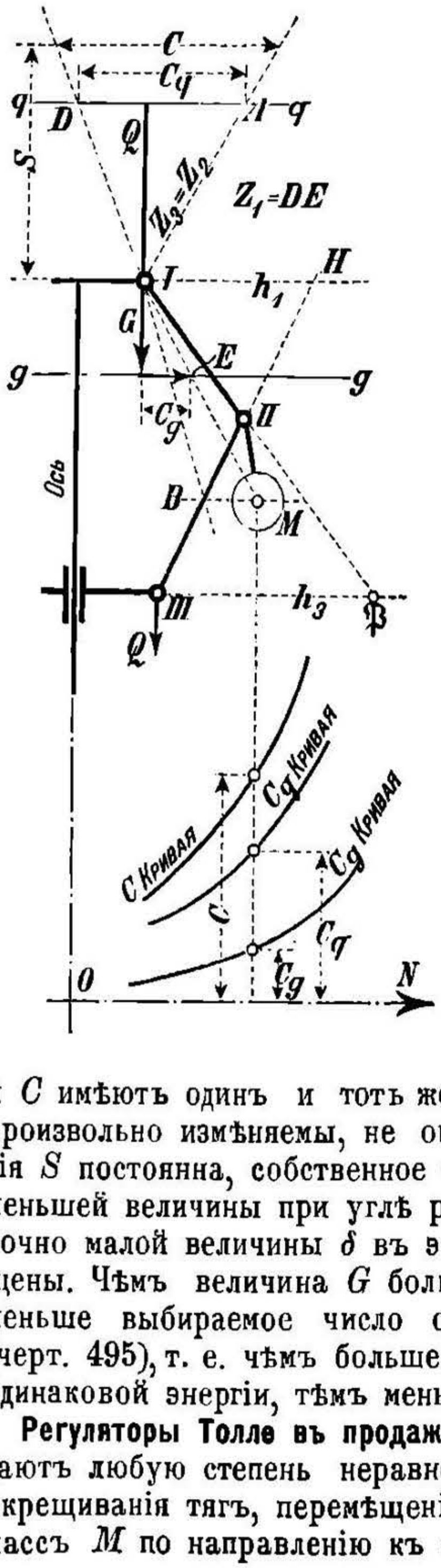
C_q: отъ точки I откладываемъ Q кверху, проводимъ горизонталь qq, пересѣченіе B горизонтали черезъ точку M съ тягой II III соединяемъ съ точкой I и продолжаемъ до D, затѣмъ про-

НТБ ДНУЗТ

водимъ I A параллельно тягѣ II III, тогда DA на qq дастъ величину C_q.

$$C = C_g + C_q.$$

Черт. 495.



Энергія S. Всегда имѣемъ $\frac{S}{C} = \frac{Q}{C_q}$, и слѣд. S представляетъ высоту треугольника, подобнаго треугольнику I DA и имѣющаго основаніемъ величину C.

Давленія на цапфы: Z_3 (для цапфы III) $= Z_2$ (для цапфы II) $=$ I A; Z_1 (для цапфы I) $=$ длинѣ DE.

Отсюда опредѣляются діаметры цапфъ d_1, d_2 и d_3.

Собственное треніе R (отнесенное къ муфтѣ). Измѣряемъ длины I $H = h_1$ и III Ϡ $= h_3$, тогда:

$$R = \frac{\mu}{2h_1}(Z_1 d_1 + Z_2 d_2) + \frac{\mu}{2h_3}(Z_2 d_2 + Z_3 d_3),$$

и если $d_1 = d_2 = d_3 = d$:

то $$R = \frac{\mu d}{2}\left[\frac{Z_1 + Z_2}{h_1} + \frac{Z_2 + Z_3}{h_3}\right].$$

$$\varepsilon_r = \frac{R}{S}; \quad \varepsilon_w = \frac{W}{S}; \quad \varepsilon = \varepsilon_r + \varepsilon_w.$$

$\delta (= c : c_m)$ по черт. 491. Работа регулятора по черт. 491.

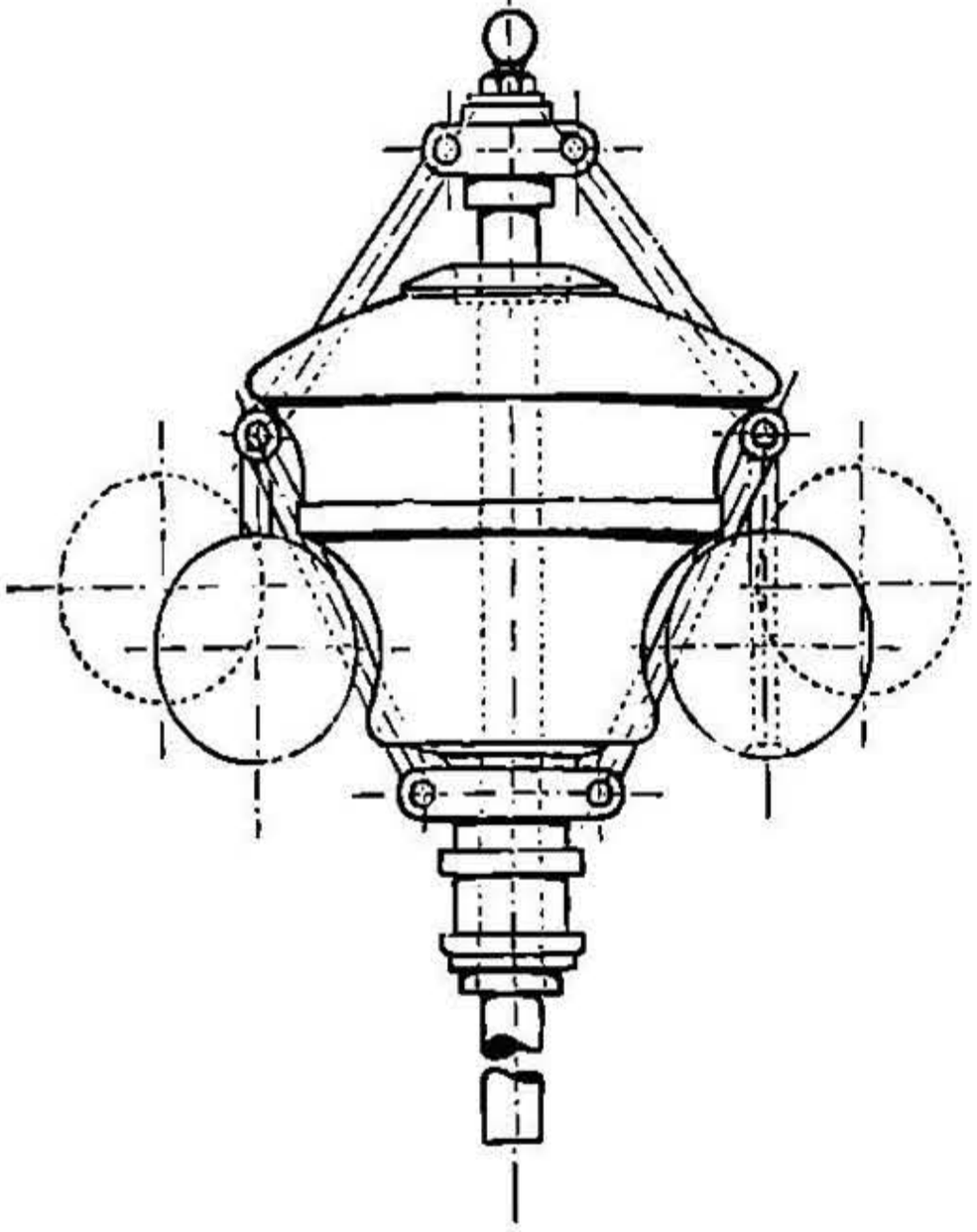
Для **ромбическаго** подвѣшенія (точки I и III одинаково удалены отъ оси вращенія, I II $=$ II III, точки I, II, M лежатъ на одной прямой), т.-е. у регуляторовъ Уатта, Портера и Клся кривыя C_g, C_q и C имѣютъ одинъ и тотъ же характеръ, Q и G могутъ быть произвольно измѣняемы, не оказывая особаго вліянія на δ. Энергія S постоянна, собственное треніе R и, слѣд., ε_r достигаютъ наименьшей величины при углѣ размаха $= 45^0$; для достиженія достаточно малой величины δ въ этомъ случаѣ тяги должны быть скрещены. Чѣмъ величина G больше сравнительно съ Q, т.-е. чѣмъ меньше выбираемое число оборотовъ, и чѣмъ больше h_1 и h_3 (черт. 495), т. е. чѣмъ больше мѣста имѣется въ распоряженіи при одинаковой энергіи, тѣмъ меньше получается величина ε_r.

Регуляторы Толле въ продажѣ (изготовляются Виде въ Хемницѣ) даютъ любую степень неравномѣрности, что достигается, вмѣсто скрещиванія тягъ, перемѣщеніемъ центровъ тяжести качающихся массъ M по направленію къ оси регулятора. Кривая C_q астатич-

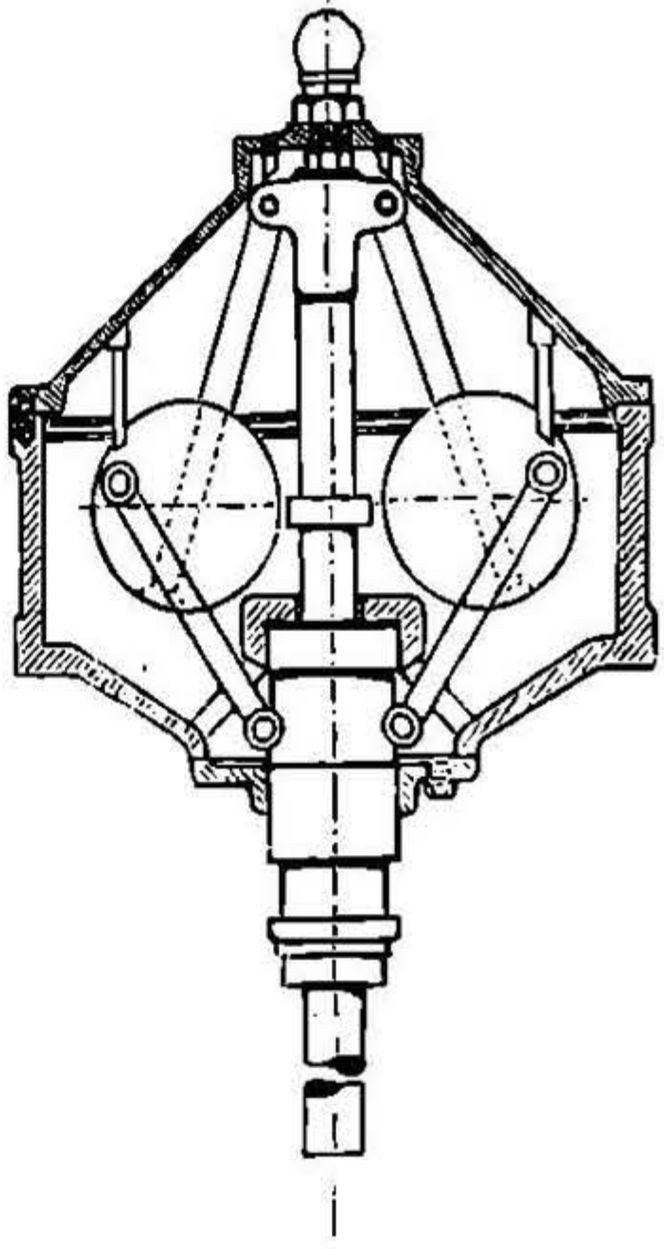
НТБ ДНУЗТ

на. Регуляторы изготовляются по черт. 496: съ величиною δ по желанію $= 0$ до 4%, ε_r въ среднемъ $= 0{,}9\%$, по черт. 497: $\delta = 0$ до 8%, ε_r въ среднемъ $= 1{,}3\%$.

Черт. 496.



Черт. 497.



Регуляторы Толле (по черт. 496).

№ регулятора.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Число оборотовъ въ минуту n	170	160	150	140	134	130	130	126	120
Энергія S..... kg	12,5	25	50	81	100	125	163	200	250
Ходъ муфты s ..... mm	28	35	43	50	55	58	62	66	72
Работа..... ..... mkg	0,35	0,9	2,4	4,2	5,5	7,2	10	13,2	18
Наибольшая ширина B.. mm	324	394	484	570	617	660	716	753	816
Наибольшая вышина H. mm	316	389	471	543	587	626	666	712	751

Регуляторы Толле (по черт. 497).

№ регулятора.	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Число оборотовъ въ минуту n	360	340	320	300	300	300	300	290	280
Энергія S..... ..... kg	25	50	75	100	125	155	185	215	250
Ходъ муфты s ..... mm	30	36	41	45	48	50	54	58	61
Работа..... . .. mkg	0,75	1,8	3,1	4,5	6,0	7,8	10	12,5	15
Наибольшая ширина B. mm	300	360	410	450	480	500	540	580	610
Наибольшая вышина H. mm	400	480	550	600	650	670	720	775	810

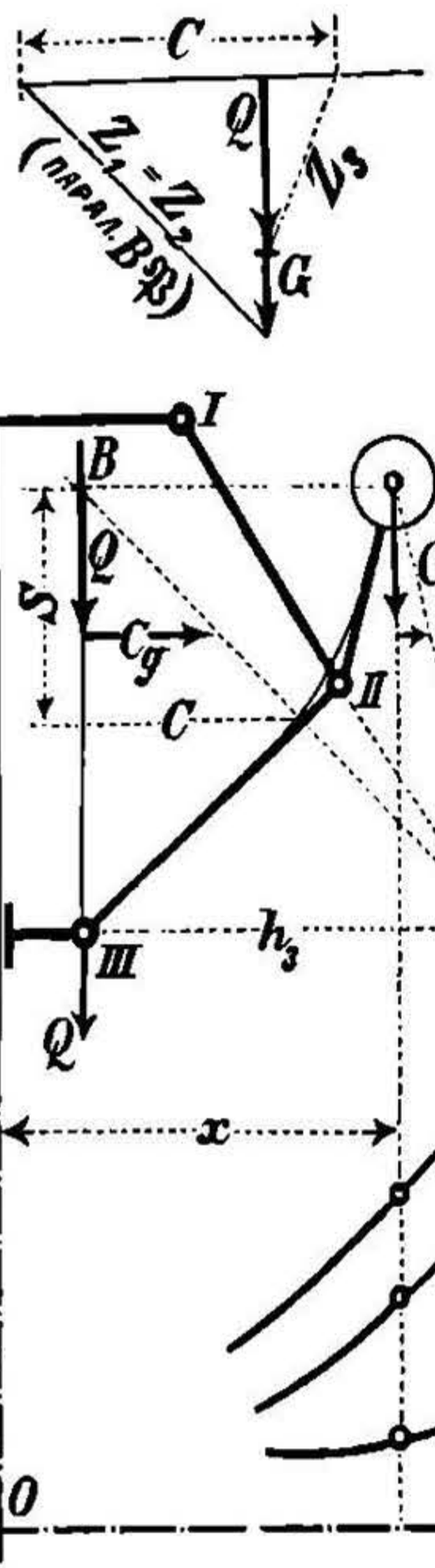
НТБ ДНУЗТ

2. Обращенное подвѣшеніе маятниковъ.

Для общаго случая имѣемъ (черт. 498) при помощи чертежа:

C_g: направленіе I II пересѣкаемъ съ горизонталью черезъ III въ точкѣ $\mathfrak{P}$, проводимъ $M\mathfrak{P}$, отъ точки M откладываемъ книзу величину G; на горизонтальной прямой, проходящей черезъ конечную точку G, прямая $M\mathfrak{P}$ отсѣкаетъ величину C_g.

Черт. 498.



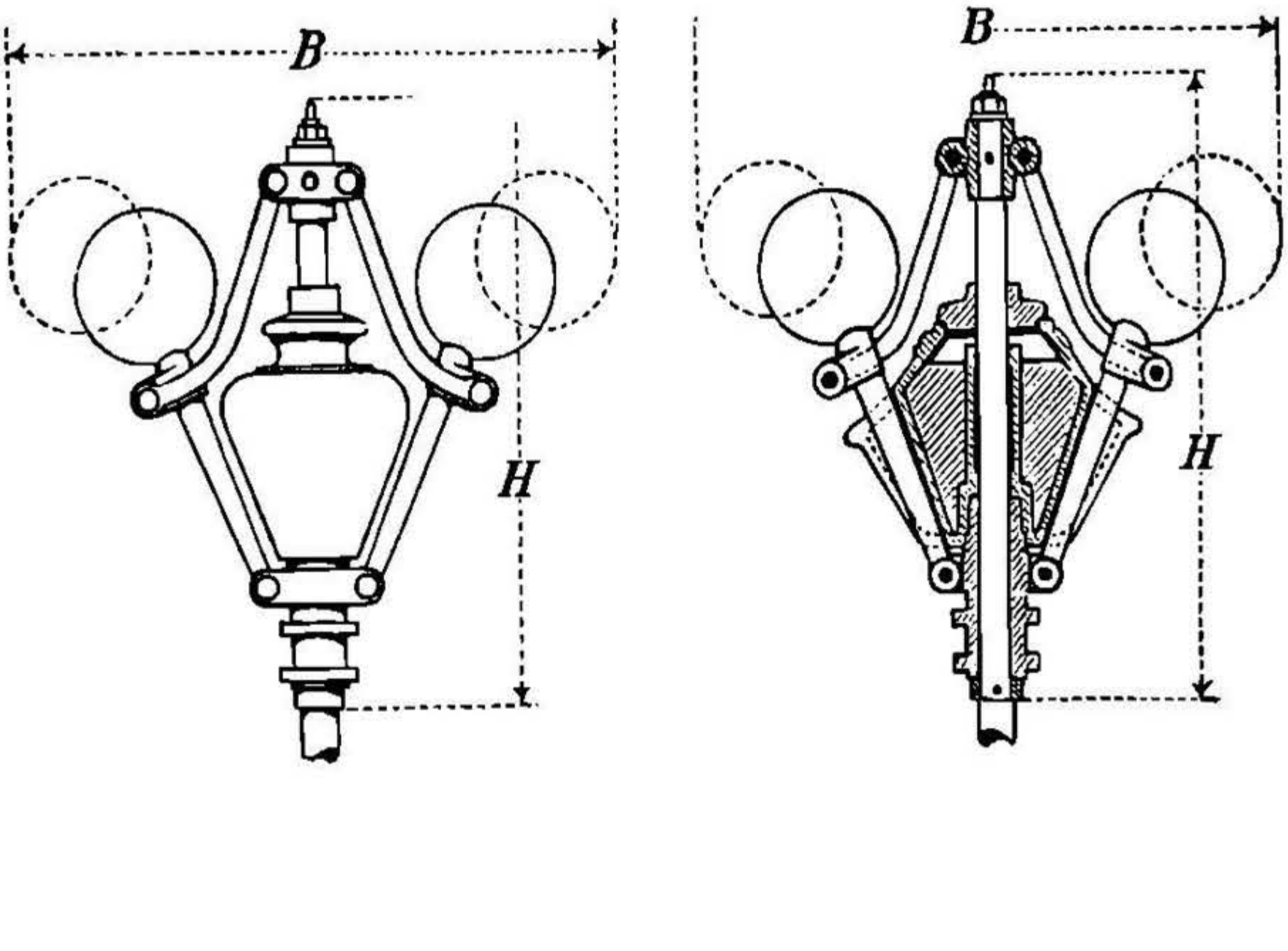
C_q: проводимъ горизонталь MB, откладываемъ отъ точки B величину Q книзу и черезъ конечную точку Q проводимъ горизонталь, на которой прямая $B\mathfrak{P}$ отсѣкаетъ C_g.

$$C = C_g + C_q.$$

S: имѣемъ $\frac{S}{C} = \frac{Q}{C_q}$, и, слѣд., S представляетъ высоту треугольника основаніемъ C, подобнаго треугольнику, при помощи котораго C_q опредѣлено по Q.

Давленія въ цапфахъ. Отъ нѣкоторой горизонтальной прямой (черт. 498 вверху) откладываемъ $Q + G$ книзу, черезъ конечную точку G проводимъ параллель къ $\mathfrak{P}B$, длина которой будетъ равна $Z_1 = Z_2$, и откладываемъ по горизонтальной прямой величину C, конечная точка которой отстоитъ отъ конечной точки силы Q на величину $= Z_3$.

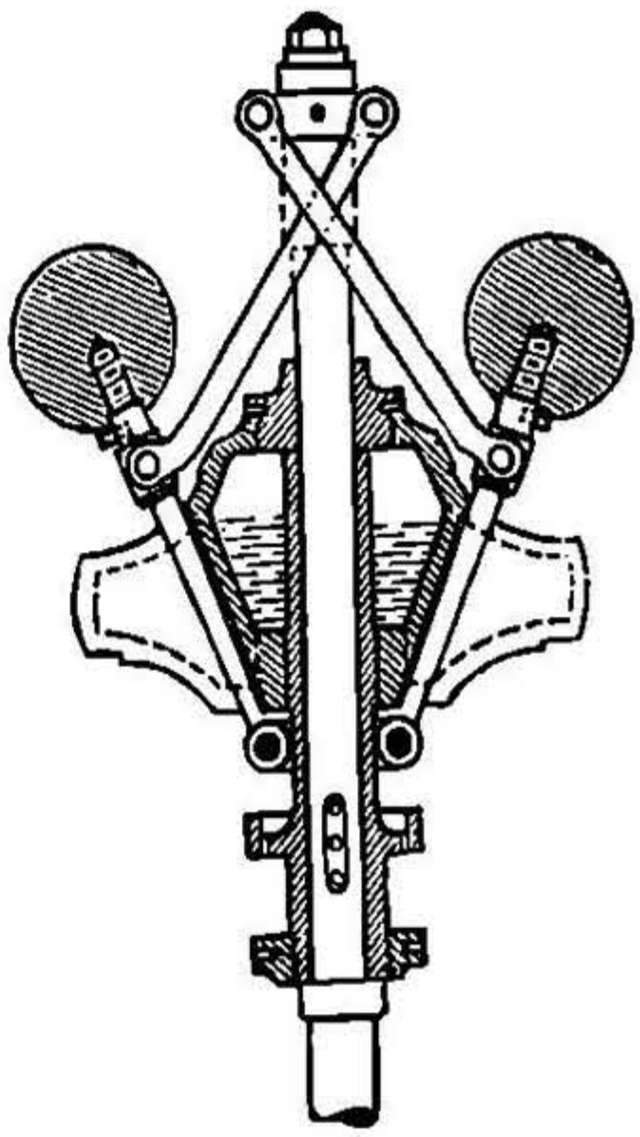
Черт. 499.



НТБ ДНУЗТ

R и ε_r какъ въ 1. Степень неравномѣрности δ и работа по черт. 491.

Черт. 500.



Для **ромбическаго** подвѣшенія кривыя C_g, C_q и C имѣютъ одинаковый характеръ (какъ и при прямомъ подвѣшеніи). Обращенное подвѣшеніе маятника особыхъ удобствъ не представляетъ. Неудобства: при равныхъ грузахъ меньшая энергія и большее собственное треніе (ε_r будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше G по сравненію съ Q, т.-е. чѣмъ выбранное число оборотовъ меньше).

Если центры тяжести качающихся массъ передвинуть по направленію къ оси регулятора (Прелль, черт. 499) или сдѣлать тяги I, II скрещенными (Штейнле, черт. 500), то кривая C_g будетъ неустойчива, тогда какъ кривая C_q еще остается статическою. Измѣняя соотвѣтствующимъ образомъ обѣ кривыя, получимъ для общей кривой C желаемое приближеніе въ астатической. — Увеличеніемъ Q увеличивается δ, увеличеніемъ G уменьшается δ.

$\varepsilon_r = 1$ до $1{,}5\%$.

Регуляторы Прелля.

Завода Lauchhammerhütte (черт. 499).

№ регулятора.	I	II	III	IV	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va
Число оборот. въ мин. n	120	100	90	80	145	130	115	107	120
Энергія S..... kg	12,5	25	37,5	50	32	50	62	85	110
Ходъ муфты s. . mm	40	50	60	70	55	65	75	80	80
Работа.... .... mkg	0,5	1,25	2,25	3,5	1,76	3,25	4,6	6,8	8,8
Наибол. ширина B. mm	390	500	600	690	445	510	615	700	700
Наибол. высота H. mm	380	470	570	660	420	470	570	660	660

$\delta = 3$ до 4%.

Регуляторы Штейнле.

Построены Steinle & Hartung, Quedlinburg *) (черт. 500).

№ регулятора.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число оборот. въ мин. n	120	100	90	80	130	115	107	120	120	120
Энергія S..... kg	12	21	34	50	37	59	81	102	140	195
Ходъ муфты S..... mm	40	50	60	70	65	75	80	80	100	120
Работа .... mkg	0,5	1,0	2,0	3,5	3,4	4,4	6,5	8,2	14,0	24,3
Наибол. ширина B. mm	450	520	620	700	520	620	700	700	785	885
Наибол. высота H. mm	400	500	600	700	460	570	650	650	740	890

*) Также H. Hartung, Düsseldorf, и Zabel & Co., Quedlinburg.

НТБ ДНУЗТ

Регуляторы Штейнле (Продолженіе, см. стр. 613).

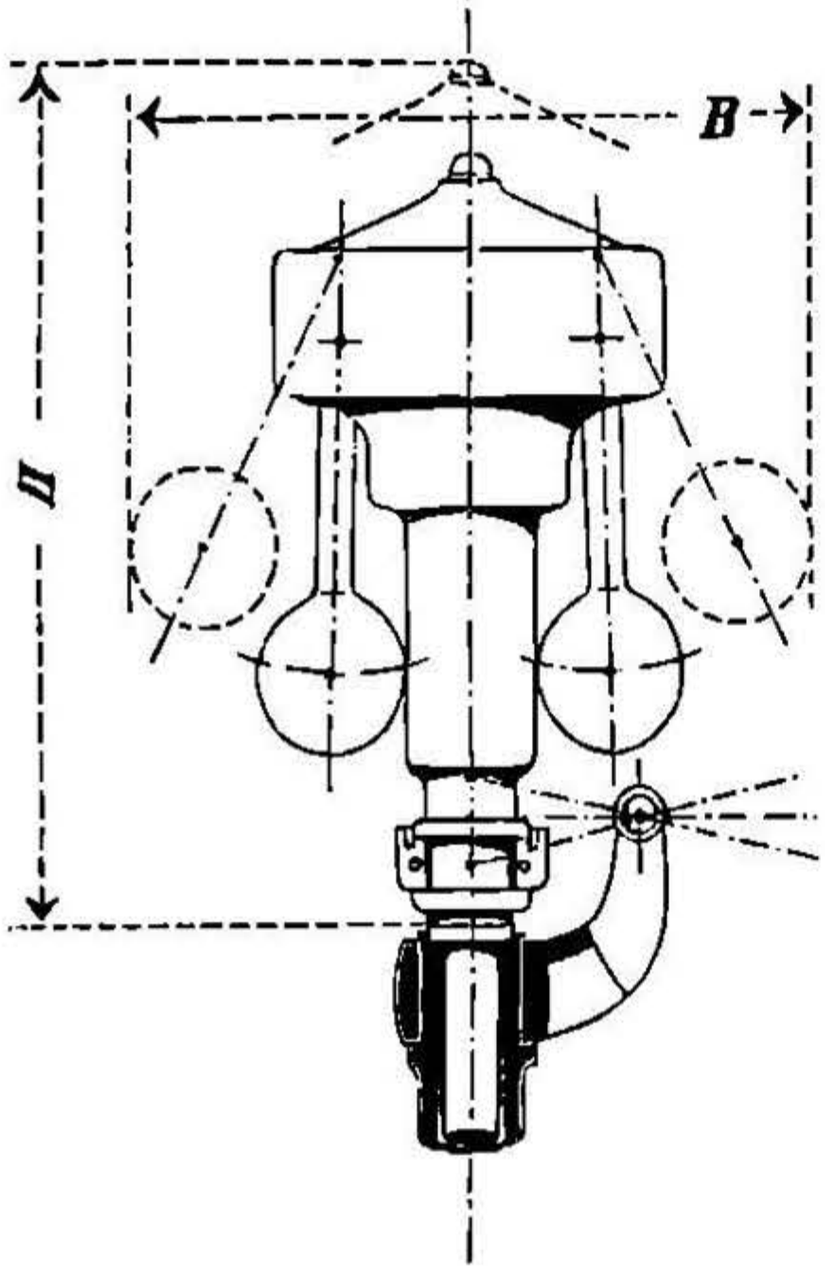
№ регулятора.	0	A	11	12	13	14	15	16	17
Число обсрот. въ мин. n	155	145	230	300	230	180	170	160	160
Энергія S..... kg	15	34	24	48	76	116	140	152	173
Ходъ муфты s.... mm	45	55	40	55	65	75	80	80	100
Работа..... mkg	0,68	1,9	0,96	2,6	4,9	8,7	11,2	12,2	17,3
Наибол. ширина B mm	385	450	365	450	500	615	685	685	770
Наибол. высота H mm	390	440	410	460	505	600	680	680	770

3. Продажные регуляторы съ пружинами.

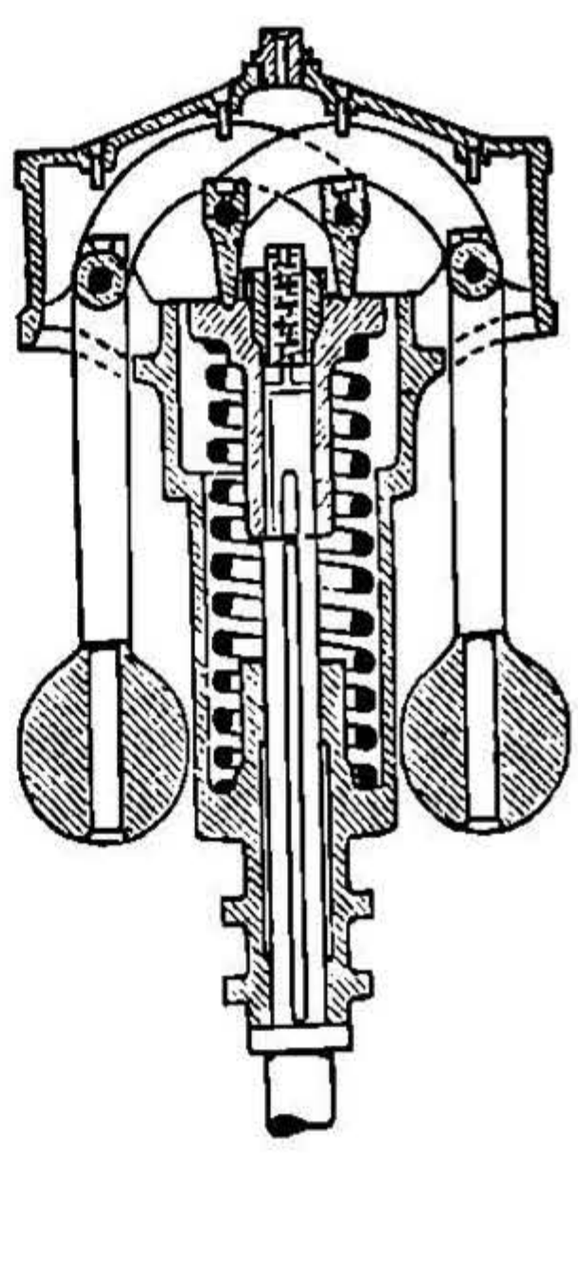
Регуляторы Р. Тренка (Эрфуртъ), съ пружинами и грузами.

По черт. 501 или 502; гайка, натягивающая пружину, недоступна. C_q — постоянно (очень неустойчивый регуляторъ), установительный механизмъ долженъ быть точно уравновѣшенъ. Измѣненіе числа оборотовъ посредствомъ измѣненія натяженія пружины не-

Черт. 501.



Черт. 502.



возможно, поэтому для измѣненія числа оборотовъ устраивается особое дополнительное приспособленіе. Кривая C_q астатическая; энергія очень сильно увеличивается по направленію кверху. $\varepsilon_r \backsim 1\%$. Приведенный ходъ муфты s_r (стр. 597) въ среднемъ составляетъ $^1/_2\ s =$ половинѣ хода.

Подобную же конструкцію и одинаковыя свойства имѣетъ регуляторъ Бейера.

НТБ ДНУЗТ

Регуляторы Тренка (черт. 501 и 502).

№ регулятора.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Число оборот. въ мин. n	300	280	260	240	220	200	180	160	160
Среднян энергія S. kg	42	63	100	162	240	340	450	610	760
Ходъ муфты s... mm	30	40	50	60	70	80	95	115	115
Работа... ..... mkg	1,3	2,5	5	9,7	16,8	27,2	42,7	70	87,5
Наибол. шир. B.. mm	300	365	430	510	600	700	820	950	990
Наибол. выс. H.. mm	355	425	490	570	670	780	910	1075	1075

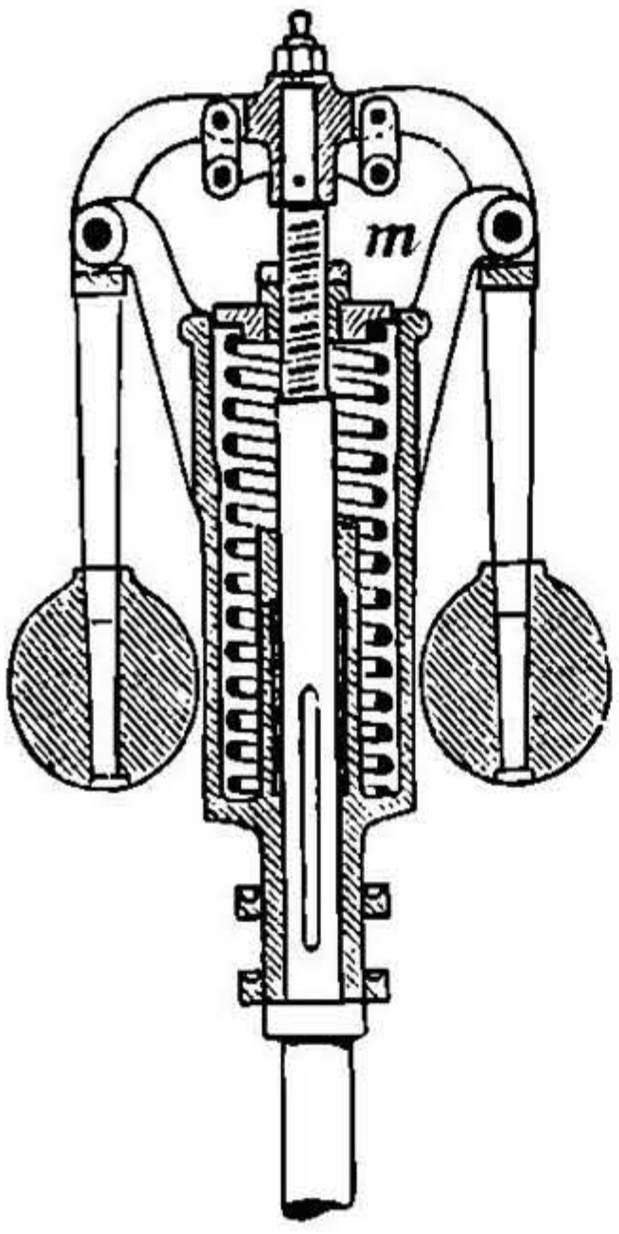
Пружинные регуляторы Цабель и К⁰ (Кведлинбургъ).

По черт. 503 или 504; гайка, натягивающая пружину, открыта и служитъ для уравненія нагрузки отъ установительнаго механизма. C_q, C_g, S и ε_r, какъ въ регуляторахъ Тренка. Приведенный ходъ муфты $s_r = 0{,}3$ до $0{,}4\,s$.

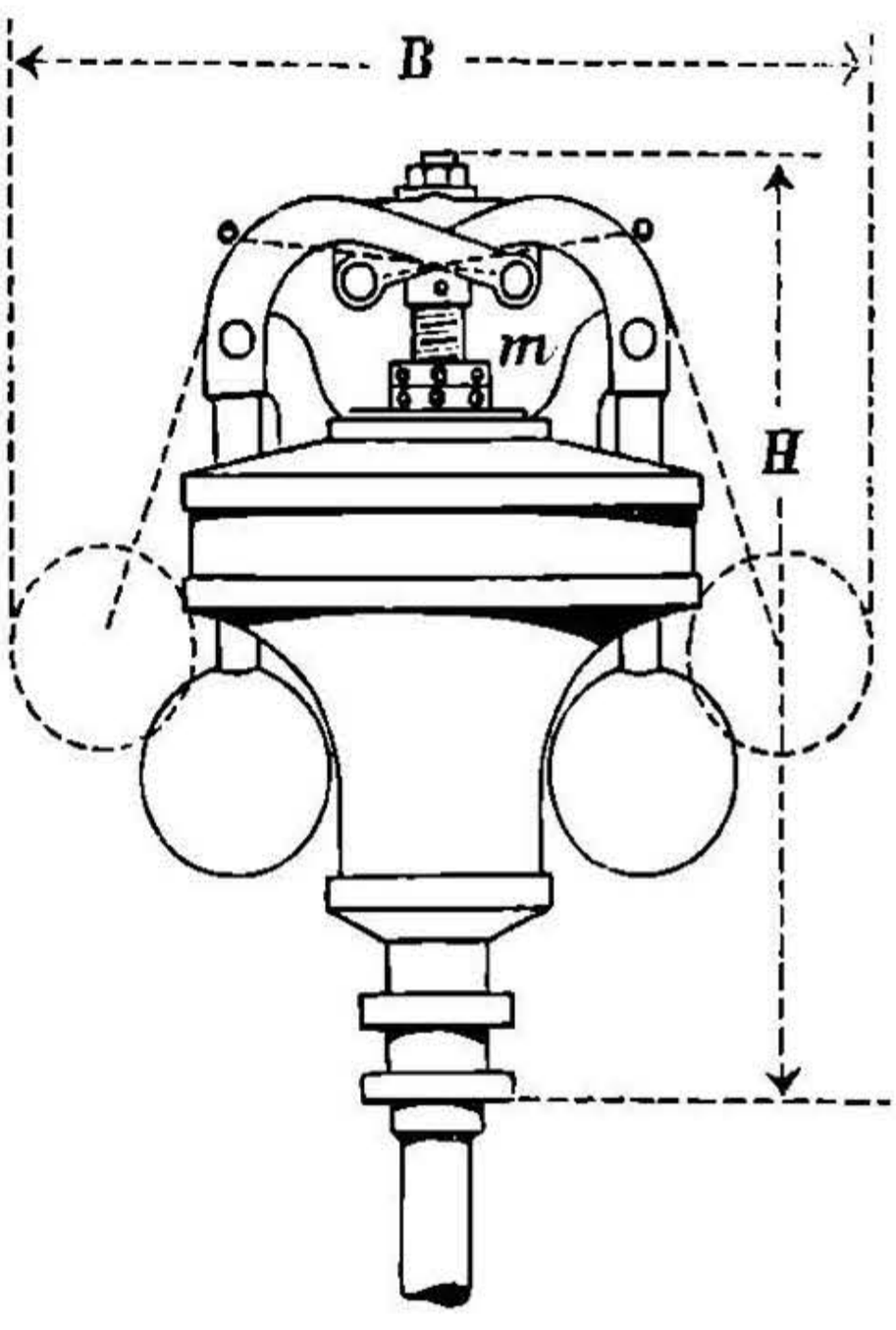
Увеличеніе числа оборотовъ достигается посредетвомъ 2 или 3 добавочныхъ пружинъ.

Въ новыхъ, закрытыхъ, пружинныхъ регуляторахъ, съ тремя качающимися массами, ε_r почти 2% и, въ среднемъ, $s_r = 0{,}6\,s$.

Черт. 503.



Черт. 504.



НТБ ДНУЗТ

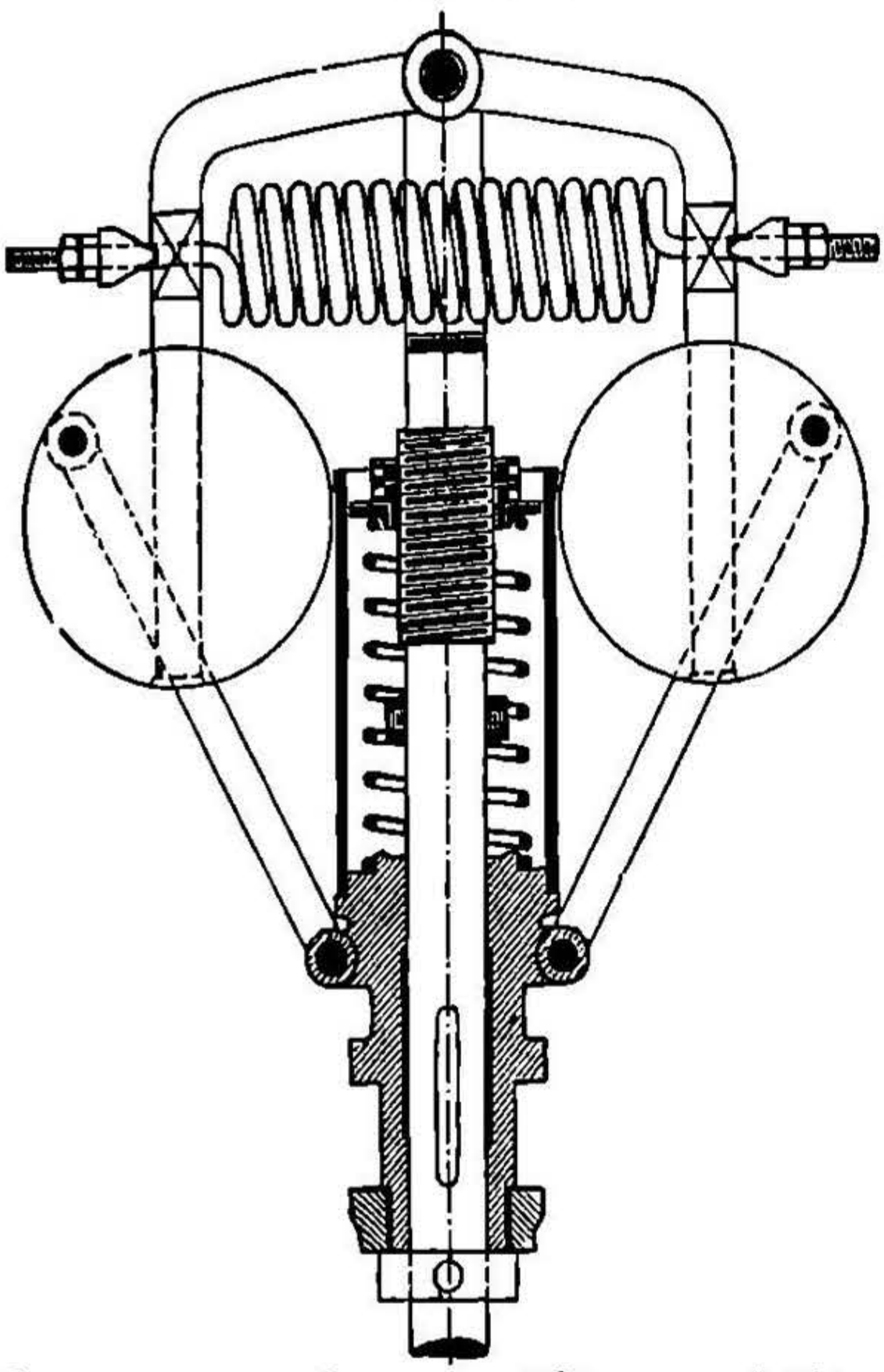
Регуляторы Цабеля (черт. 503 и 504, стр. 615).

№ регулятора.	1	2	3	4	5	6	7
Число оборотовъ въ мин.. ..n.	240	220	200	190	180	160	150
Средняя энергія S.... ....kg.	58	75	113	163	275	425	625
Ходъ муфты s. ..... .mm.	40	50	60	70	80	95	110
Работа.....mkg.	2,32	3,75	6,78	11,4	22,0	40,4	68,8
Наибольш. шир. B.....mm.	380	430	520	610	710	830	960
Наибольш. выс. H. .....mm.	380	440	530	630	730	850	950

Пружинные регуляторы Г. Гартунга (Дюссельдорфъ).

C_q постоянно (регуляторъ очень неустойчивъ, см. стр. 608). C_g уменьшается пропорціально съ размахомъ маятника отъ + черезъ 0 до —, энергія по направленію кверху сильно увеличивается, ε_r очень мало, въ среднемъ $\varepsilon_r = 0{,}3\%$ (безъ нагрузки муфты); на каждую $^1/_{10}$ часть энергіи, какъ дополнительной нагрузки муфты, ε_r увеличивается приблизительно на $0{,}2\%$. s_r (см. стр. 597) $= ^1/_5\, s$ для низшихъ до $^1/_3\, s$ для высшихъ номеровъ.

Черт. 505.



Пружинный регуляторъ Толле, завода Виде въ Хемницѣ.

По черт. 505. Уменьшеніе или увеличиваніе степени неравномѣрности посредствомъ натяженія или ослабленія поперечной пружины; измѣненіе числа оборотовъ, безъ измѣненія δ, достигается натяженіемъ или ослабленіемъ продольной пружины въ какихъ-угодно предѣлахъ. Кривая C_q астатическая, равнымъ образомъ C_g, энергія—постоянна.

При конструкціи черт. 505, $\varepsilon_r = 0{,}8\%$, при другой формѣ, безъ нагрузки муфты, $\varepsilon_r = 0{,}25\%$; s_r (стр. 597) $= ^1/_{12}\, s$ для низшихъ номеровъ до $^1/_{15}\, s$ для высшихъ номеровъ (очень мало).

НТБ ДНУЗТ

Пружинные регуляторы Тояле (черт. 505).

№ регулятора.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число об. въ мин. n.	360	340	320	300	300	300	300	290	280	260	250	230	220
Энергія S.....kg.	31	53	80	112	130	151	175	212	252	296	394	567	770
Ходъ муфты s mm.	28	33	38	44	48	51	55	60	66	72	82	100	115
Работа.....mkg.	0,87	1,75	3,1	4,9	6,2	7,7	9,6	12,7	16,6	21,3	37,4	56,7	88,5
Наиб. шир. B. mm.	260	306	358	410	438	474	510	560	608	666	762	910	1054
Наиб. выс. H. mm.	278	322	383	426	457	485	534	581	634	685	791	940	1095

c. Особыя устройства.

1. Дроссельные регулирующіе приборы должны имѣть возможность закрывать лишь настолько, чтобы и при ходѣ машины порожнемъ наивысшему положенію муфты соотвѣтствовало уменьшеніе скорости. Приспособленія для этой цѣли должны быть въ крайнихъ положеніяхъ по возможности уравновѣшены. Для этого середина вала располагается на наружней плоскости дроссельнаго клапана со стороны впуска пара; у клапановъ съ двойными сѣдалищами паръ долженъ входить по радіусу между обѣими тарелками. Наименьшее и наиболѣе равномѣрное сопротивленіе достигается вращающимися цилиндрическими золотниками, снабженными прорѣзами; ось этихъ золотниковъ вертикальна и снабжается металлическою набивкою.

Въ регуляторахъ съ дроссельными (подпорными) клапанами **наибольшее отверстіе для прохода пара** должно составлять только 0,8 того сѣченія, которое въ пораспредѣленіяхъ (см. отдѣлъ VII, паровыя машины) принимается за наименьшее для паровпускныхъ каналовъ. Для заданнаго хода регуляторной муфты и хода клапана опредѣляется діаметръ послѣдняго.

2. Регуляторы съ запорными (дроссельными) клапанами.

Они употребляются только въ видѣ исключеній, когда цѣна регуляторовъ, поименованныхъ въ **3.**, дающихъ наибольшее регулированіе посредствомъ измѣненія степени расширенія, слишкомъ высока. Подпираніе пара (уменьшеніе отверстія для прохода) можетъ быть примѣняемо только при большихъ наполненіяхъ парового цилиндра.

Наиболѣе чувствительны дроссельные клапаны, имѣющіе форму цилиндрическихъ золотниковъ, съ металлической набивкой стержней. Менѣе удобны золотниковыя тяги, движущіяся вдоль оси, и не вполнѣ уравновѣшенные клапаны.

3. Регуляторы съ расширительнымъ приборомъ.

Регуляторъ вліяетъ на ходъ защелокъ, соединенныхъ съ паровпускнымъ клапаномъ. При этомъ необходимъ еще пораспредѣ-

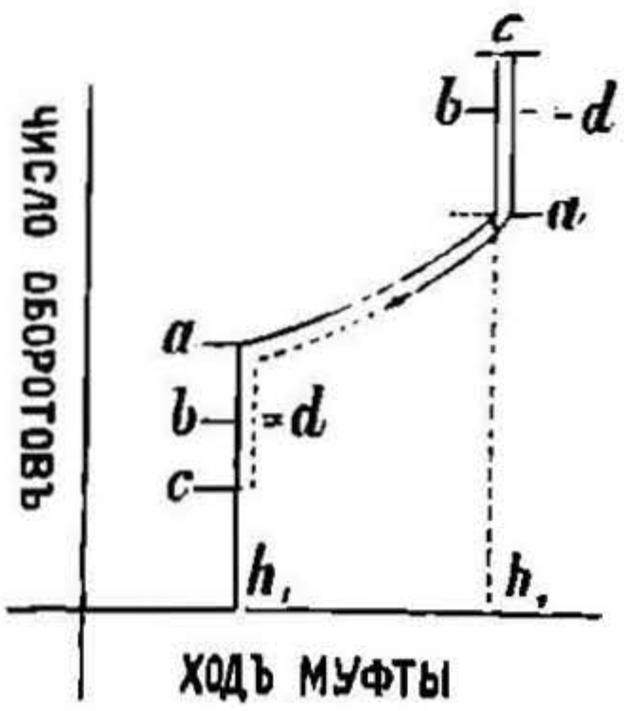
НТБ ДНУЗТ

лительный золотникъ. Подобные приборы приспособлены къ постановкѣ у существующихъ паровыхъ машинъ, съ цѣлью улучшенія пароraспредѣленія. Приборъ Шеффера и Буденберга въ Магдебургѣ-Букау, Корлиса въ Lauchhammerhütte, Фоссъ и Макъ въ Кельнѣ.

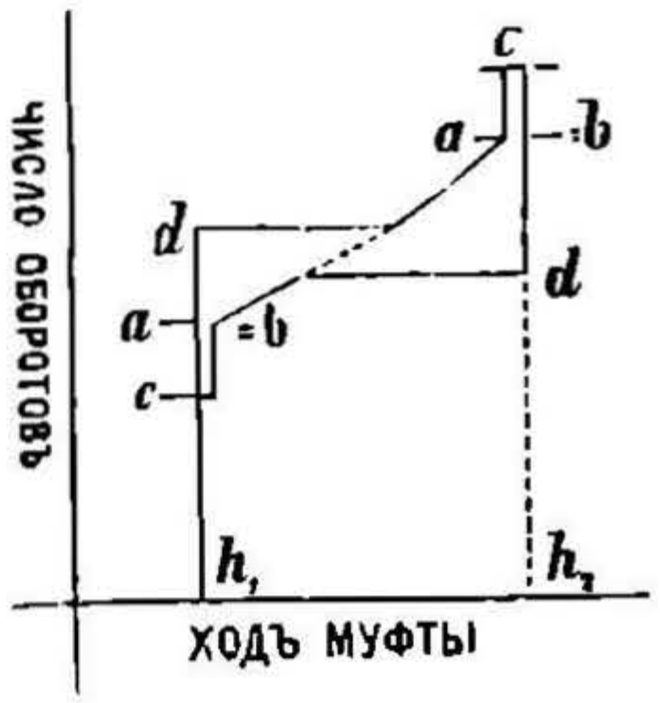
4. Регуляторъ непрямого дѣйствія (см. стр. 600).

Дѣйствіе вспомогательной силы по черт. 506 при устройствѣ фрикціонныхъ колесъ и по черт. 507 при употребленіи зубчатой передачи.

Черт. 506.



Черт. 507.



На обоихъ чертежахъ означаютъ: абсциссы h_1 и h_2 нижнее и соотвѣтств. верхнее положеніе муфты, кривая aa—теоретическую кривую n, точки b и d начало и конецъ дѣйствія вспомогательной силы, точки c число оборотовъ при измѣненіи ускореннаго или замедленнаго движенія.

При обыкновенномъ устройствѣ дѣйствіе вспомогательной силы продолжается отъ c до положенія въ d. Въ регуляторахъ Шеффера и Буденберга, Ганцъ и К° и Ридпигера посредствомъ особаго приспособленія происходитъ расцѣпленіе уже въ c.

Устройство передачи зубчатыми колесами при несоотвѣтствующемъ отношеніи δ ε дѣлается легко неустойчивымъ. Слѣдуетъ дѣлать ε очень малымъ, напротивъ того $\delta > 0{,}02$; по этимъ даннымъ назначается величина хода. (Обыкновенно δ слишкомъ мало и ε слишкомъ велико, отчего число оборотовъ машины сильно колеблется около положенія равновѣсія, и значительно увеличивается разстояніе между точками b и c).

НТБ ДНУЗТ

ШЕСТОЙ ОТДѢЛЪ.

РАБОЧІЯ МАШИНЫ.

I. СТАНКИ.

Замѣчаніе. Въ нижеслѣдующихъ данныхъ, въ видѣ исключенія, указаны размѣры длины въ mm, а коэффиціентъ временнаго сопротивленія въ kg/qmm.

A. Станки для обработки металловъ *).

a. Дыропробивные станки и ножницы.

Обозначимъ черезъ:

s толщину пробиваемаго или отрѣзываемаго желѣзнаго листа,
b ширину листа въ mm,
d діаметръ отверстія
d_1 діаметръ пробивающаго штемпеля
d_2 діаметръ матрицы
} въ дыропробивныхъ станкахъ (въ mm),
Q наибольшее сопротивленіе у рѣжущаго ребра въ kg,
K_s временное сопротивленіе сдвиженію, въ kg/qmm,
K временное сопротивленіе сжатію, въ kg/qmm,
F наибольшую площадь разрѣза въ часъ въ qm,
N полную расходуемую работу,
N_1 работу, расходуемую при ходѣ станковъ порожнемъ,
N_2 полезно расходуемую работу,
} въ лошадиныхъ силахъ.

Срѣзываніе безъ выкрашиванія матеріала имѣетъ мѣсто при:

$$s \leqq b\frac{K}{K_s} \quad \text{или} \quad b \geqq s\frac{K_s}{K}.$$

Для **дыропробивныхъ** станковъ выгодно принимать:

$$d_1 = d - {}^1/_8\, s \quad \text{и} \quad d_2 = d + {}^1/_8\, s.$$

*) См. H. Fischer, Die Grösse der Widerstände gegen das Abheben von Metallspänen, als Grundlage für die rechnerische Bestimmung der Abmessungen von Werkzeugmaschinen, Zeitschr. d. V. d Ing. 1897, стр. 504.

НТБ ДНУЗТ

Уширеніе матрицы книзу производится соотвѣтственно углу заостренія рѣжущихъ ножей.

Имѣемъ: $Q = 1{,}1\ \pi d s\ K_s$,

слѣд. для желѣза ($K_s \leqq 35$ kg/qmm): $Q \leqq 121\ ds$.

Уголъ заострения обоихъ **рѣжущихъ ножей** для ножницъ принимается обыкновенно одинаковымъ отъ 75^0 до 85^0; рѣже для верхняго ножа выбирается уголъ въ 50^0 до 55^0, а для нижняго 80^0. Уголъ между плоскостями ножей (полотнами) $\alpha = 8^0$ до 10^0 ($\alpha \leqq$ угла тренія).

Въ ножницахъ съ параллельными рѣжущими гранями:

$$Q = 1{,}1\ sb\ K_s,$$

слѣд. для желѣза: $Q \leqq 35{,}5\ sb$.

Если плоскости ножей (полотна) образуютъ между собой нѣкоторый уголъ, то:

$$Q = 0{,}55\ K_s\ s^2\ \mathrm{ctg}\ \alpha.$$

Число разрѣзовъ n въ минуту для желѣзныхъ листовъ, при толщинѣ s, равно:

при $s =$ 4 до 10 mm: $n = 10$, | при $s = 21$ до 30 mm: $n = 8$,
„ $s = 11$ до 20 mm: $n = 9$, | „ $s = 31$ до 40 mm: $n = 7$.

Скорость разрѣзанія отъ 15 до 20 mm въ секунду.

Въ спеціальныхъ станкахъ для разрѣзанія красной или желтой мѣди число разрѣзовъ можетъ быть увеличено на 30%.

Расходуемая работа въ ножницахъ и дыропробивныхъ станкахъ:

$$N = N_1 + N_2.$$

Если n_1 число разрѣзовъ въ часъ:

$$N_1 = 0{,}1 + \frac{n_1 s^2}{1\,000\,000};$$

$$N_2 = 3{,}71\ aF = (0{,}93 + 0{,}054\ s)\ F,$$

гдѣ a работа, расходуемая на срѣзаніе 1 qmm въ mkg,

$$a = 0{,}25 + 0{,}0145\ s.$$

Изслѣдованія E. Гартига дали слѣдующіе результаты:

Толщина желѣза	$s =$ 10	20	30	40 mm
Число разрѣзовъ въ минуту . .	$n =$ 10	9,2	8,3	7,5
Работа при ходѣ порожнемъ	$N_1 = 0{,}16$	0,32	0,55	0,82 лош. с.
Работа, расходуемая на срѣзаніе площади 1 qmm. . . .	$a = 0{,}395$	0,54	0,685	0,83 mkg.

Приблизительно для небольшихъ ножницъ и дыропробивныхъ станковъ $N = 0{,}6$ до $1{,}5$; для среднихъ $N = 1{,}5$ до $5{,}5$ и для большихъ $N = 5{,}5$ до 12 лош. силъ.

Круглыя дисковыя ножницы употребляются для разрѣзыванія желѣзныхъ листовъ, толщиною до 10 mm. D принимается $= 50\ s$ (не больше 350 mm). Наибольшая перекрышка рѣжущихъ дисковъ $u \leqq {}^1/_8\ s$. Скорость на окружности дисковъ $= 0{,}5$ до $1{,}0$ m въ секунду.

НТБ ДНУЗТ

b. Токарные станки.

По Фишеру *) вообще для **рѣзцовъ** (станковъ токарныхъ, сверлильныхъ, для разсверливанія цилиндровъ и строгальныхъ) **сопротивленіе** рѣзца по направленію движенія: для желѣза и чугуна 75 до 150 kg/qmm сѣченія стружки, для стали 100 до 220, для бронзы 50 до 100 kg/qmm сѣченія стружки.

Скорость рѣзца v для твердаго литья 30 до 50 mm/sec., для инструментальной стали 60, для чугуна 80 до 120, для желѣза и мягкой стали 90 до 150, для бронзы и мѣди 200 до 300 mm/sec.

Подача рѣзца въ теченіе одного оборота обтачиваемаго предмета равна 0,2 до 1,5 mm при грубой обточкѣ; при окончательной обточкѣ въ среднемъ 5 mm.

Наибольшая толщина стружки: для чугуна 10 mm, для желѣза 7 mm, для стали 4 mm, для бронзы 3 mm.

Число ступеней ступенчатыхъ шкивовъ (см. стр. 479), увеличивающееся вмѣстѣ съ размѣрами станка, мѣняется отъ 3 до 6, въ зависимости отъ размѣровъ обтачиваемыхъ предметовъ.

Вообще, токарные станки устраиваются для обточки всѣхъ металловъ съ перемѣннымъ (черезъ извѣстные равные промежутки) числомъ оборотовъ. Станки устраиваются съ переборомъ или безъ такового. Въ станкахъ легкихъ и среднихъ употребляются преимущественно коническіе подшипники для главной оси (шпинделя); въ станкахъ тяжелыхъ—цилиндрическіе.

Если d_{max} наибольшій, d_{min} наименьшій діаметръ обтачиваемыхъ предметовъ въ mm, то **предѣлы числа оборотовъ**:

$$n_{min} = \frac{60\, v_{min}}{\pi\, d_{max}} = \frac{955}{d_{max}}, \qquad n_{max} = \frac{60\, v_{max}}{\pi\, d_{min}} = \frac{4584}{d_{min}},$$

причемъ принято $v_{min} = 50$ mm и $v_{max} = 240$ mm въ секунду.

Полная расходуемая работа $N = N_1 + N_2$.

Величина N_1 (работа, расходуемая при ходѣ станка порожнемъ) **по изслѣдованіямъ Гартига:**

Число передачъ между ведущимъ валомъ и шпинделемъ.	при легкой конструкціи самоточки.	при средней конструкціи самоточки.	при тяжелой конструкціи самоточки.
0	$N_1 = 0{,}05 + 0{,}0005\, n$	$0{,}10 + 0{,}0023\, n$	$0{,}25 + 0{,}0041\, n.$
2	$N_1 = 0{,}05 + 0{,}0012\, n$	$0{,}10 + 0{,}0150\, n$	$0{,}25 + 0{,}0530\, n.$
3 или 4	$N_1 = 0{,}05 + 0{,}0500\, n$	$0{,}13 + 0{,}1100\, n$	$0{,}25 + 0{,}1800\, n.$

Затѣмъ **полезная работа:** $N_2 = \varepsilon\, G$ въ лош. силахъ, гдѣ ε работа въ лошадиныхъ силахъ, расходуемая на снятіе 1 kg стружекъ въ часъ, а G вѣсъ стружекъ въ kg, полученныхъ въ 1 часъ.

*) См. H. Fischer, Die Bearbeitung der Metalle. (K. Karmarsch, Handbuch der mechanischen Technologie, т. 2, часть I, 6 изд., 1890).

НТБ ДНУЗТ

При поперечномъ сѣченіи стружки (въ среднемъ) $f = 2{,}8$ qmm, имѣемъ:

для чугуна.	$\varepsilon = 0{,}069$	лошад. силы въ 1 часъ
„ желѣза.	$\varepsilon = 0{,}072$	„ „
„ стали .	$\varepsilon = 0{,}104$	„ „ „

Для опредѣленія G принимаются обыкновенно данныя для чугуна: скорость на окружности $= 100$ mm въ сек., подача рѣзца при грубой обточкѣ $= 0{,}5$ mm, толщина стружки $= 10$ mm. Тогда наибольшій вѣсъ стружекъ, полученныхъ въ теченіе одного часа:

$$G = 13{,}5 \text{ kg въ часъ.}$$

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія токарныхъ станковъ въ среднемъ $\eta = 0{,}675$.

Токарные винторѣзные станки устраиваются съ переднимъ и заднимъ ходомъ, причемъ отношеніе скоростей $= 2 : 3$.

Въ самоточныхъ токарныхъ станкахъ безъ винта, но съ валомъ для движенія суппорта, слѣдуетъ обращать вниманіе на то, что скольженіе ремня, соединяющаго этотъ валъ со шпинделемъ передней бабки, уменьшаетъ скорость суппорта на 20 до 25%.

Приблизительно для малыхъ токарныхъ станковъ (при высотѣ центровъ до 200 mm) $N = 0{,}4$ до $0{,}6$, для среднихъ (при высотѣ центровъ до 300 mm) $N = 0{,}6$ до $1{,}5$, для большихъ (при высотѣ центровъ до 600 mm) $N = 1{,}5$ до $3{,}0$ лош. силъ.

c. Сверлильные станки.

Скорость сверла на окружности въ mm/sec.:

a) въ станкахъ сверлильныхъ для дыръ:		b) въ станкахъ для разсверливанія (расточки) и развертки дыръ:
для твердаго чугуна	7 до 14 mm	6 до 12 mm
„ тигельной стали	30 „ 40 mm	25 „ 35 mm
„ чугуна.	60 „ 70 mm	50 „ 60 mm
желѣза и мягк. стали.	80 „ 160 mm	60 „ 80 mm
бронзы.	100 „ 180 mm	90 „ 150 mm

Подача сверла въ теченіе одного его оборота $\delta = 0{,}1$ до $0{,}5$ mm; } 0,2 до 1 mm для предварит. разсверлив. и до 6 mm для окончательной обдѣлки.

Полная расходуемая работа: $N = N_1 + N_2$.

Если n_1 число оборотовъ передаточнаго вала, а n_2 — шпинделя станка въ минуту, то работа N_1 расходуемая при **порожнемъ ходѣ** станка:

въ обыкновенныхъ сверлильныхъ станкахъ:

безъ зубчатой передачи $N_1 = 0{,}0006\ n_1 + 0{,}0005\ n_2$,

съ „ „ $N_1 = 0{,}0006\ n_1 + 0{,}0010\ n_2$,

въ радіально-сверлильныхъ станкахъ:

безъ зубчатой передачи $N_1 = 0{,}0006\ n_1 + 0{,}0040\ n_2$,

съ „ „ $N_1 = 0{,}04 + 0{,}0006\ n_1 + 0{,}0040\ n_2$.

НТБ ДНУЗТ

Если V объемъ (въ ccm) матеріала, высверливаемаго въ часъ, и ε работа въ лошадиныхъ силахъ, расходуемая въ часъ на высверливаніе 1 ccm, то **полезная работа сверлильнаго** станка:

$$N_2 = \varepsilon V;$$

для чугуна: $\varepsilon = 0{,}001 + \frac{0{,}001}{d}$, лош. силъ на 1 ccm. въ часъ,

для желѣза: $\varepsilon = 0{,}001 + \frac{0{,}040}{d}$, лош. силъ на 1 ccm въ часъ,

гдѣ d діаметръ высверливаемаго отверстія въ mm.

Если:

K_z временное сопротивленіе матеріала разрыву въ kg/qmm,

d діаметръ высверливаемаго отверстія въ mm,

δ подача сверла въ теченіе одного оборота въ mm,

v скорость на окружности сверла въ m/sec.,

то для обыкновенныхъ сверлильныхъ станковъ:

$$N_2 = 0{,}044\, d\, \delta\, K_z v,$$

а для радіально-сверлильныхъ:

$$N_2 = 0{,}062\, d\, \delta\, K_z v.$$

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія обыкновенныхъ сверлильныхъ станковъ въ среднемъ $\eta = 0{,}83$, а радіально-сверлильныхъ $\eta = 0{,}59$.

Можно принимать приблизительно для малыхъ сверлильныхъ станковъ $N = 0{,}1$ до $0{,}3$, среднихъ $N = 0{,}3$ до $1{,}0$ и большихъ $N = 1$ до 2 лош. силъ.

d. Станки для расточки цилиндровъ.

Скорость на окружности $= {}^2/_3$ скорости рѣзца токарныхъ станковъ; **боковое перемѣщеніе (подача)** сверла въ теченіе одного оборота при грубой обточкѣ 0,2 до 1 mm, при окончательной обточкѣ до 10 mm.

Полезная работа въ лошадиныхъ силахъ по Гартигу:

$$N_2 = \varepsilon G,$$

гдѣ G вѣсъ стружекъ, полученныхъ въ теченіе часа въ kg, ε работа въ лош. силахъ, расходуемая въ часъ на высверливаніе 1 kg маталла;

$$\varepsilon = 0{,}034 + \frac{0{,}13}{f}$$ лошадиныхъ силъ на 1 kg въ часъ.

При	$f = 0{,}5$	1	5	10	20 qmm
	$\varepsilon = 0{,}294$	0,164	0,060	0,047	0,041 лош. с. на 1 kg въ ч.,

гдѣ f поперечное сѣченіе стружки въ qmm.

e. Фрезерные (шарошечные) станки.

Скорость рѣзца въ mm/sec., въ зависимости отъ ширины и глубины снимаемаго слоя, для тигельной стали 180 до 250, для чугуна 200 до 350, для желѣза и мягкой стали 250 до 400 и для бронзы, красной и желтой мѣди 500 до 600 mm/sec.

НТБ ДНУЗТ

Подача шарошки зависитъ отъ матеріала и поперечнаго сѣченія фрезуемаго матеріала и колеблется между 10 и 120 mm въ минуту; по другимъ даннымъ, подача составляетъ 0,2 до 3 mm при одномъ оборотѣ фрезы.

Небольшія фрезы образуютъ одно цѣлое съ конической осью, вставляемой въ шпиндель фрезернаго станка, или же укрѣпляются на оси помощью шпонки. Число зубцовъ z:

для грубой фрезировки. $z = 2{,}0\sqrt{d}$,

„ чистой „ . . $z = 2{,}6\sqrt{d}$ до $3{,}0\sqrt{d}$,

гдѣ d діаметръ фрезы въ mm ($d < 200$ mm).

Зубья этихъ фрезъ слѣдуетъ парѣзать по винтовой поверхности съ угломъ подъема до 30°.

Въ большихъ фрезахъ употребляютъ головки съ особыми закрѣпленными въ нихъ рѣзцами; эти рѣзцы можно смѣнять независимо одинъ отъ другого; углы заостренія и установка для нихъ тѣ же, что для рѣзцовъ строгальныхъ станковъ.

Можно принимать приблизительно для небольшихъ фрезерныхъ станковъ $N = 0{,}1$ до 0,5 лош. силы, для среднихъ $N = 0{,}5$ до 1 лош. силы и для большихъ $N = 1$ до 5 лош. силъ.

f. Строгальные станки.

Передачу къ станкамъ цѣлесообразно устраивать при помощи двухъ ремней для прямого и обратнаго хода. Отношеніе скоростей стола и ремня около 1 : 50.

Движеніе стола производится помощью зубчатой рейки или винтового колеса или винта; послѣдній способъ слѣдуетъ предпочитать, въ особенности для большихъ станковъ. Въ легкихъ станкахъ, имѣющихъ ходъ стола до 600 mm, можно примѣнять также и передачу помощью кулиссъ.

Скорость рѣзца въ секунду:

въ большихъ	строгальныхъ	станкахъ	90 mm,
„ среднихъ	„	„	100 mm,
„ малыхъ	„	„	110 mm.

Отношеніе скоростей заднягo и передняго хода дѣлается отъ 2 : 1 въ большихъ станкахъ и до 4 : 1 въ малыхъ.

Подача рѣзца въ обыкновенныхъ строгальныхъ станкахъ отъ 0,4 до 2 mm при грубой строжкѣ и 3 до 12 mm при чистой строжкѣ, а въ станкахъ шепингъ отъ 0,2 до 1,5 mm. Подача рѣзца производится въ концѣ обратнаго хода станка или передъ самымъ началомъ рѣзанія.

Толщина стружки:

чугунной	не больше	20 mm,
желѣзной	„	12 mm,
стальной	„	8 mm,
бронзовой .	„	4 mm.

НТБ ДНУЗТ

Работа, расходуемая строгальными станками: $N = N_1 + N_2$,
причемъ $N_1 = 0{,}8\,N_2$ и $N_2 = \varepsilon\,G$,
если ε полезная работа въ лошадиныхъ силахъ, расходуемая на 1 kg обстроганнаго въ часъ матеріала, а G вѣсъ обстроганнаго матеріала въ kg въ часъ. Если въ среднемъ поперечное сѣченіе стружки f (qmm),
то: $\varepsilon = 0{,}034 + \frac{0{,}13}{f}$ лош. силъ на 1 kg въ часъ (см. стр. 623).

Приблизительно:

для стали.	$\varepsilon = 0{,}246$	лош. силъ на 1 kg въ часъ,
„ желѣза	$\varepsilon = 0{,}114$	„
„ чугуна	$\varepsilon = 0{,}113$	„
„ бронзы.	$\varepsilon = 0{,}028$	„

Приблизительно можно принимать:
для строг. станковъ 500 до 700 mm шириною 1 до 1,5 лош. силы,
„ „ 800 „ 1200 „ 2 „ 3 „ „
„ „ 1200 „ 1600 „ „ 3,5 „ 5 „ „
при одномъ рѣзцѣ и средней длинѣ стола. Каждый лишній рѣзецъ увеличиваетъ требуемую работу 0,3 до 1,5 лош. силы.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія строгальныхъ станковъ въ среднемъ $\eta = 0{,}55$.

Въ станкахъ **шепингъ** движеніе передается: для легкихъ работъ и небольшого хода (до 500 mm) посредствомъ кривошина съ кулиссой, для болѣе тяжелыхъ работъ и при большой длинѣ хода посредствомъ зубчатой рейки или винта. Въ первомъ случаѣ примѣняются ступенчатые шкивы, которые должны быть разсчитаны такъ, чтобы получалась одинаковая скорость рѣзанія при наибольшемъ и наименьшемъ ходѣ (см. стр. 479) Число ступеней зависитъ отъ наибольшаго хода и большею частью бываетъ отъ 3 до 5. Боковая подача должна измѣняться отъ 0,4 до 3 mm; подача по направленію перпендикулярному равна половинѣ боковой.

g. Пилы для металла.

1. **Круглыя пилы** для распиловки металла въ **холодномъ** состояніи имѣютъ діаметръ до 200 mm, толщину до 5 mm; разстояніе между зубьями пилы до 3 mm.

Пилы большихъ размѣровъ, діаметромъ до 800 mm, имѣютъ толщину до 8 mm. Зубцы пилы уширяются съ каждой стороны на 1,5 mm. Разстояніе между зубцами отъ 5 до 12 mm; скорость на окружности 220 mm въ секунду. Подача пилы—отъ 0,125 до 0,25 mm въ секунду.

Въ послѣднее время большое распространеніе получили **ленточныя пилы** *) для распиловки металловъ въ холодномъ состояніи.

2. **Круглыя пилы для распиловки раскаленныхъ до-красна метал-**

*) См. P. Möller, Bandsägen für Metallbearbeitung. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 1341 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

ловъ имѣютъ діаметръ отъ 0,8 до 1,2 m. Скорость на окружности отъ 60 до 100 m въ сек., разстояніе между зубцами 20 до 40 mm, глубина впадинъ 10 до 20 mm; толщина пилы 3 до 4 mm.

h. Точильные камни и шлифовальныя машины *).

Средняя **скорость на окружности** камня для точенія рѣзцовъ $v = 3$ до 5 m/sec.; для шлифовки предметовъ $v = 10$ до 12 m/sec.

Коэффиціентъ тренія μ между крупнозернистымъ песчаникомъ и желѣзомъ см. стр. 220.

Если D діаметръ камня въ m, v скорость на окружности камня въ m/sec., P давленіе рѣзца на камень въ kg, то **общая расходуемая работа** $N = N_1 + N_2$, гдѣ:

работа при ходѣ порожнемъ $N_1 = 0{,}0264\ Dv$ лош. силъ,

полезная работа $N_2 = \mu \frac{Pv}{75}$ лош. силъ.

Наждачныя шайбы шлифовальныхъ машинъ вращаются со скоростью отъ 20 до 30 m/sec., обтянутыя кожаными наждаковыми лентами деревянныя шайбы (для шлифовки мѣдныхъ предметовъ) имѣютъ скорость до 35 m/sec.

i. Молоты.

1. Кулачные молоты.

Пестовые молоты. Высота подъема 52 до 65 cm; число ударовъ въ минуту 80 (200) до 120 (350). Вѣсъ бабы молота отъ 200 (12) до 300 (100) kg. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія въ среднемъ $\eta = 0{,}8$. Числа, помѣщенныя въ скобкахъ, служатъ для быстроходныхъ молотовъ.

Лобовые молоты. Высота подъема 60 до 100 cm; число ударовъ въ минуту 40 до 60. Вѣсъ бабы 700 до 1200 kg.

Хвостовые молоты. Плечи рычага дѣлаются въ отношеніи отъ 4 : 9 до 4 : 12; высота подъема 50 cm; число ударовъ въ минуту 120. Вѣсъ бабы молота отъ 200 до 320 kg, иногда доходитъ до 750 kg.

Для проковки крицъ кулачными молотами расходуется работа отъ 14 до 18 лошадиныхъ силъ, и требуется отъ 30 до 35 минутъ времени.

Фрикціонные молоты. Высота подъема 1,2 до 2,4 m. Число ударовъ 50 до 150 въ минуту. Вѣсъ бабы отъ 150 до 750 kg **).

---

*) См. M. Grübler, Der Spannungszustand in Schleifsteinen und Schmirgelscheiben, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897. стр. 860 и слѣд.

**) См. Glasers Annalen, томъ V, стр. 104, и Z. d. V. d. Ing. 1870, стр. 751.

НТБ ДНУЗТ

2. Паровые молоты.

Вѣсъ бабы, высота подъема и число ударовъ измѣняются въ зависимости отъ назначенія молота. По А. Ледебуру:

	Вѣсъ бабы. kg	Высота подъема. m	Число ходовъ въ минуту.
Въ кузницахъ:			
для проковки мал. предм..	50—500	0,15—0,6	200—400,
„ „ больш. „ .	500—1000	0,6—1,0	100—200;
Въ пудлинговыхъ мастерскихъ: для проковки и уплотненія крицъ	1500—2500	1,0—1,5	80—100;
Въ прокатныхъ мастерск.:			
для сварки и проковки предметовъ средней величины..	2500—5000	1,25—1,8	80—100,
для сварки и проковки предметовъ большой величины.	5000—10000	1,5—2,4	60—80;
Въ бессемеровскихъ и сталелитейныхъ мастер.:			
для предм. среднихъ разм..	10000—20000	2,0—3,0	60—80,
„ „ большихъ „ ..	20000—50000	3,0—3,2	60.

По изслѣдованіямъ Кика, для достиженія подобныхъ деформацій (измѣненія формы) въ подобныхъ тѣлахъ, изъ одного и того же матеріала, необходимо затратить ударную работу, пропорціональную объему этихъ тѣлъ.

Разсчетъ паровыхъ молотовъ (по фонъ-Гауеру).

Обозначимъ черезъ:

G вѣсъ бабы молота съ поршнемъ и поршневымъ стержнемъ въ kg,
H высоту подъема молота въ m,
H_1 высоту подъема, при которой происходитъ перемѣна хода, въ m,
R сопротивленіе отъ тренія въ kg,
d діаметръ поршня въ m,
F полную площадь поршня въ qm,
rF площадь поршня за вычетомъ площади стержня, въ qm,
$A = 10\,000$ kg/qm, давленіе 1 атм.,
p абсолютное давленіе входящаго пара въ атм.,
p' абсолютное давленіе исходящаго пара въ атм.,
e степень расширенія нижняго пара = ходу поршня, дѣленному на часть хода поршня во время наполненія,

НТБ ДНУЗТ

e' = степень сжатія $= \frac{H - H_1 + z}{z}$, гдѣ z разстояніе поршня въ наивысшемъ его положеніи до верхней крышки цилиндра,

$$\beta = \frac{1 + \ln e}{e} \quad \text{и} \quad \beta' = \frac{e' \ln e'}{e' - 1}.$$

При:	$e = 1{,}25$,	$1{,}5$,	$1{,}75$,	2
имѣемъ:	$\beta = 0{,}979$;	$0{,}937$;	$0{,}891$;	$0{,}847$.
При:	$e' = 3$,	4,	5,	6
имѣемъ:	$\beta' = 1{,}648$;	$1{,}848$;	$2{,}012$;	$2{,}150$.

Высота подъема принимается обыкновенно $H = 0{,}025 \sqrt{G}$.

Діаметръ поршневого стержня принимается $^1/_2$ до $^5/_8\ d$ въ молотахъ съ толстымъ стержнемъ; въ молотахъ же съ тонкимъ стержнемъ:

при высотѣ подъема	для ковки желѣза	для ковки стали
меньшей 1 m	$^1/_{12}$ до $^1/_{10}\ d$	$^1/_{10}$ до $^1/_8\ d$
отъ 1 до 2 m	$^1/_{10}$ „ $^1/_8\ d$	$^1/_8$ „ $^1/_6\ d$
большей 2 m	$^1/_8$ „ $^1/_6\ d$	$^1/_6$ „ $^1/_5\ d$;

если же молотъ подверженъ дѣйствію свѣжаго верхняго пара, то эти размѣры должны быть увеличены на $25^0/_0$.

Нижеслѣдующія формулы относятся до молотовъ съ **расширеніемъ** нижняго пара; для молотовъ безъ расширенія имѣемъ $e = 1$ и слѣд. необходимо подставить: $\beta = 1$.

α. Молоты безъ верхняго пара, безъ сжатія свѣжаго пара.

$$F > \frac{G + R}{A\,[r\,(\beta p - 1) + 1 - p']};$$

$$H_1 = H\,\frac{G + R + A\,F\,(p' - 1)\,(1 - r)}{A\,F\,r\,(\beta p - p')}.$$

При $r = 0{,}97$, $p' = 1{,}1$ и $R = 0{,}08\ G$ имѣемъ:

$$F > \frac{G}{8981\,[\beta p - 1{,}103]}; \qquad H_1 = H\,\frac{G + 27{,}8\,F}{8981\,F\,(\beta p - 1{,}1)}.$$

β. Молоты безъ верхняго пара, со сжатіемъ свѣжаго пара.

$$F > \frac{G + R}{A\,[r\,(\beta p - 1) + 1 - p']};$$

$$H_1 = H\,\frac{G + R - A\,F\,(r\,p' + 1 - r - \beta'\,p')}{A\,F\,[r\,(\beta p - p') + p'\,(\beta' - 1)]}.$$

При $r = 0{,}96$, $p' = 1{,}1$ и $R = 0{,}08\ G$ имѣемъ:

$$F > \frac{G}{8888\,(\beta p - 1{,}104)};$$

$$H_1 = H\,\frac{G + 10185\,F\,(\beta' - 0{,}996)}{10185\,F\,(0{,}873\,\beta p + \beta' - 1{,}96)}.$$

НТБ ДНУЗТ

γ. Молоты съ верхнимъ паромъ.

$$F > \frac{G + R}{A[r(\beta p - 1) + 1 - p']};$$

$$H_1 = H \frac{G + R + AF(p - r p' + r - 1)}{AF[r(\beta p - p') + p - p']}.$$

При $p' = 1{,}1$ $R = 0{,}08\,G$ имѣемъ:

$$F > \frac{G}{9259[r(\beta p - 1) - 0{,}1]};$$

$$H_1 = H \frac{G + 9259\,F(p - 0{,}1\,r - 1)}{9259\,F[r(\beta p - 1{,}1) + p - 1{,}1]}.$$

δ. Молоты съ расширеніемъ верхняго пара (Делена).

$$F = \frac{1}{A} \frac{(G + R)H}{H_1(r p - 1) + H(2 - p' - r) - M \ln c},$$

гдѣ $$c = \frac{H - H_1(1 - r)}{r H}$$ и

$$M = H_1(r p - p') + H p'.$$

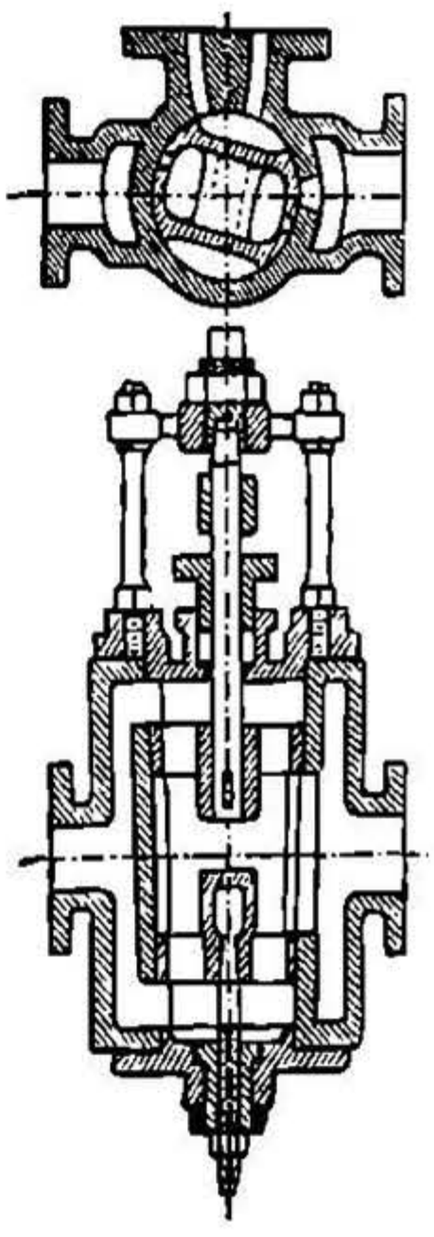
Величина H_1 принимается тѣмъ меньше сравнительно съ H, чѣмъ сильнѣе долженъ быть ударъ и чѣмъ больше число ударовъ.

Для $p' = 1{,}1$ и $R = 0{,}08\,G$ имѣемъ:

$$F = \frac{G\,H}{9259\,H_1(r\,p - 1) + H(0{,}9 - r) - M \ln c}.$$

На черт. 508 показано устройство **Вильсонова крана**, примѣняемаго для парораспредѣленія паровыхъ молотовъ Делена.

Черт. 508.



Паровпускной каналъ $= {}^1/_{16}$ до ${}^1/_{20} \times$ сѣченіе поршня. Высота цилиндра нѣсколько больше, чѣмъ требуется для хода. Для плотности поршня служатъ самопружинящія кольца. Толщина стѣнокъ цилиндра принимается нѣсколько больше обыкновенной и дѣлается часто вверху на ${}^1/_6$ меньше, чѣмъ внизу. При наинизшемъ положеніи бабы, послѣдняя должна имѣть направляющія на 0,6 своей длины. Станина молота, при вѣсѣ бабы до 700 kg, дѣлается одностороннею (объ одной ногѣ).

Вѣсъ фундамента для нановальни (шаботта): молотовъ для ковки желѣза дѣлается въ $6\,H$ разъ, по крайней мѣрѣ въ 8 разъ болѣе вѣса бабы;

молотовъ для ковки стали въ $10\,H$ разъ и не менѣе, чѣмъ въ 12 разъ, больше вѣса бабы.

Въ молотахъ со свѣжимъ верхнимъ паромъ вѣсъ шаботта берется на 30% больше.

НТБ ДНУЗТ

Давленіе P на фундаментъ наковальни (шаботта) въ kg вслѣдствіе ударовъ можетъ быть принято:

въ кричныхъ молотахъ:

$$P = 30\,GH \text{ до } 60\,GH,$$

въ молотахъ для проковки пакетовъ:

$$P = 60\,GH \text{ до } 95\,GH,$$

въ молотахъ для проковки стали:

$$P = 95\,GH \text{ до } 125\,GH,$$

гдѣ H высота подъема молота въ m (въ молотахъ со свѣжимъ верхнимъ паромъ H высота, соотвѣтствующая скорости).

Къ этому давленію долженъ быть прибавленъ вѣсъ фундамента подъ наковальней (шаботта). — Допускаемую нагрузку на грунтъ см. ч. II, строительное искусство.

k. Кузнечные прессы.

Въ повѣйшее время, вмѣсто паровыхъ молотовъ, стали примѣнять, особенно для изготовленія предметовъ массоваго производства и крупныхъ поковокъ изъ литого желѣза и стали, кузнечные прессы, дѣйствующіе давленіемъ воды. Выгоды примѣненія прессовъ состоятъ въ равномѣрности уплотненія отковываемаго предмета, при высокомъ полезномъ дѣйствіи пресса (малый расходъ пара), а равно и простомъ устройствѣ основанія. Ударовъ и сотрясеній нѣтъ. Прессъ можетъ быть примѣняемъ не только для проковки, но и для прессовки (штамповки) въ матрицахъ, а также и для другихъ работъ.

1. Примѣняются три **системы** устройства прессовыхъ кузницъ.

1. **Аккумуляторъ и насосъ.** Насосъ и прессъ всегда работаютъ при полномъ давленіи аккумулятора. Устройствомъ прессовыхъ поршней различнаго діаметра или аккумуляторовъ для различныхъ давленій можно утилизировать силу соотвѣтственно требованіямъ производства и достичь незначительнаго расхода пара. Изъ одного центральнаго мѣста можно приводить въ дѣйствіе нѣсколько прессовъ.

2. **Прессы, дѣйствующіе непосредственно отъ насоса.** Сила расходуется въ зависимости отъ производительности пресса. При отсутствіи аккумулятора расходъ на первоначальное устройство меньше. Насосъ, однако, долженъ имѣть размѣры, соотвѣтствующіе наибольшему давленію пресса и наибольшей скорости, почему все устройство требуетъ много мѣста и расходы по содержанію его весьма высоки.

3. **Прессы, дѣйствующіе непосредственно отъ паровыхъ или воздушныхъ мультипликаторовъ.** Эта система наиболѣе простая, требуетъ мало мѣста, даетъ наибольшую производительность и даетъ возможность автоматически регулировать расходъ силы въ зависимости отъ сопротивленія отковываемаго предмета.

НТБ ДНУЗТ

2. Соотношенія размѣровъ кузнечныхъ прессовъ.

Величина давленія находится въ зависимости отъ величины и формы предметовъ, подлежащихъ обработкѣ, и въ особыхъ случаяхъ опредѣляется только путемъ опытовъ.

Для проковки болванокъ принимаютъ давленіе въ 600 kg/qcm, если литое желѣзо достаточно сильно нагрѣто, а стальныя болванки достаточно мягки. Если d толщина наибольшей проковываемой квадратной болванки, b ширина площадки наковальни въ cm, то наибольшее давленіе въ kg будетъ:

$$P = 600\, b\, d.$$

Для стали болѣе твердой, которая можетъ быть нагрѣваема лишь до краснаго каленія, необходимо принимать болѣе высокое давленіе.

Ширина b площадки наковальни обыкновенно меньше толщины болванки и принимается 100 до 600 mm.

Наибольшее давленіе воды, соотвѣтствующее наибольшему давленію пресса, принимается 300 до 500 kg/qcm.

Общій ходъ пресса опредѣляется съ такимъ разсчетомъ, чтобы можно было свободно поворачивать наибольшіе, подлежащіе обработкѣ на прессу, предметы.

Для проковки болванокъ достаточно имѣть ходъ:

$$h = 1{,}5\, d.$$

У прессовъ съ паровыми мультипликаторами ходъ можетъ быть измѣняемъ въ предѣлахъ отъ $^1/_6$ до $^1/_{10}$ отъ общаго хода поршня.

Разстояніе между колоннами находится въ зависимости отъ размѣра обрабатываемыхъ на прессу предметовъ и условій устойчивости; оно выбирается по возможности малымъ.

Скорость сжимающей площадки при наибольшемъ развиваемомъ давленіи составляетъ у большихъ прессовъ, непосредственно соединенныхъ съ насосомъ, 25 до 50 mm въ секунду; у прессовъ съ паровыми мультипликаторами скорость больше. Скорость сжимающей площадки при обратномъ движеніи поршня (порожнемъ) значительно больше.

Число ходовъ зависитъ отъ характера поковокъ и способа обработки и составляетъ 20 до 30, при чистой обработкѣ 40 въ минуту.

По скорости и числу ходовъ опредѣляется величина и размѣры насоса и аккумулятора.

Для руководства при выборѣ отдѣльныхъ размѣровъ могутъ служить слѣдующія таблицы.

Гидравлическіе кузнечные прессы съ паровыми мультипликаторами

(завода Breuer, Schumacher & K⁰ въ Kalk-Köln).

Давленіе въ t	250	300	350	400	500	600	700	800	1000	1200	1500	1800	2000	4500	6000	7500	8000
Разст. между центр. колоннъ въ mm	800	800	900	1500	1500	1500	1500	1500	2440	2200	2200	2600	2600	3200	4500	4320	3860
	400	400	500	1000	1050	1050	1050	1050	1340	1200	1300	1300	1300	1500	1750	2100	2100
Ходъ част. mm	65	75	75	75	100	100	100	120	150	150	150	150	150	180	180	200	200
Общій ходъ mm	400	400	500	600	800	800	1000	1000	1000	1200	1400	1400	1500	1500	1500	1500	2000

НТБ ДНУЗТ

Гидравлическіе кузнечные прессы, непосредственно соединенные съ насосами

(безъ аккумуляторовъ).

Давленіе въ t.	300	600	1200
Разстояніе между центр. колоннъ въ mm.	1300 / 900	1700 / 1100	2200 / 1500
Ходъ въ mm.	900	800	1100

3. Детали гидравлическихъ кузнечныхъ прессовъ.

Прессъ состоитъ главнымъ образомъ изъ двухъ поперечинъ, соединенныхъ между собою четырьмя колоннами (болтами), въ верхней поперечинѣ обыкновенно помѣщается пресовой цилиндръ, а въ нижней устанавливается наковальня.

Поперечины у малыхъ прессовъ обыкновенно изготовляются изъ чугуна и изъ одного куска, а у большихъ — изъ литой стали и дѣлаются составными изъ нѣсколькихъ частей.

Колонны или болты изготовляются изъ прокованной стали весьма прочными, такъ какъ при эксцентричномъ дѣйствіи въ нихъ вызываются весьма значительныя изгибающія напряженія, отчего происходятъ колебанія въ верхней поперечинѣ.

Цилиндръ изготовляется изъ литой стали. Верхняя площадка пресса укрѣплена въ поперечинѣ, неразрывно связанной съ поршнемъ пресса, и направляется четырьмя его колоннами. Поршень, находясь въ наинизшемъ своемъ положеніи, долженъ еще имѣть достаточное направленіе въ цилиндрѣ; кромѣ того, кожаный манжетъ поршня долженъ легко замѣняться новымъ.

Для подъема верхней площадки пресса и поршня служитъ одинъ или нѣсколько цилиндровъ, дѣйствующихъ водой или паромъ. У прессовъ съ паровыми мультипликаторами примѣняется для этой цѣли паръ, а у прессовъ съ насосомъ и аккумуляторомъ — большею частію вода при низкомъ давленіи около 50 kg/qcm, для каковой цѣли требуется особый аккумуляторъ низкаго давленія. У прессовъ, непосредственно дѣйствующихъ отъ насоса (безъ аккумулятора), подъемный цилиндръ соединяется непосредственно съ насосомъ.

У прессовъ, примѣняемыхъ также для штамповки въ матрицахъ, иногда въ нижней поперечинѣ устанавливается особый гидравлическій цилиндръ для выдавливанія отштампованной части. У прессовъ значительныхъ размѣровъ примѣняются часто особые гидравлическіе цилиндры для смѣны нижней части (наковальни), а равно и для поворачиванія и перемѣщенія частей, обрабатываемыхъ на прессу.

Распредѣленіе давленія достигается у прессовъ съ паровыми мультипликаторами при помощи круглаго золотника, производя-

НТБ ДНУЗТ

щаго распредѣленіе пара. Пресса, дѣйствующіе отъ насоса, имѣютъ распредѣлительный клапанъ въ водѣ сжатой; при этомъ необходимо примѣнять уравновѣшенные клапаны для достиженія легкаго хода распредѣлительнаго механизма.

Насосы для дѣйствія прессовъ съ аккумуляторами представляютъ въ большинствѣ случаевъ горизонтальные двойные паровые насосы съ маховымъ колесомъ, расширеніемъ и охлажденіемъ пара. Если насосъ непосредственно соединенъ съ прессомъ (безъ аккумулятора), то слѣдуетъ выбирать конструкцію, при которой насосъ возможно скоро начинаетъ дѣйствовать и возможно скоро можетъ быть остановленъ, т.-е. сдвоенные паровые насосы безъ всякаго маховика или съ легкимъ маховикомъ; насосы эти работаютъ при большомъ наполненіи цилиндра. Регулированіе происходить при помощи дроссельныхъ клапановъ.

Аккумуляторы для большихъ давленій примѣняются: съ непосредственной нагрузкой и воздушные аккумуляторы системы Преттъ и Зеельгофъ, для небольшихъ давленій — аккумуляторы съ непосредственной нагрузкой. Фирма А. Борзигъ, въ Берлинѣ, примѣняетъ дифференціальные аккумуляторы, у которыхъ поршень нагружается при помощи подвѣски къ нему грузовъ снизу.

Паровой мультипликаторъ представляетъ вертикальный паровой цилиндръ, съ расположеннымъ надъ нимъ стальнымъ (прокованнымъ) водянымъ цилиндромъ; оба цилиндра соединены между собою четырьмя стальными колоннами. Поршневой стержень парового цилиндра образуетъ поршень водяного цилиндра, который при помощи трубы соединенъ съ прессовымъ цилиндромъ. Поршень парового цилиндра подверженъ давленію пара лишь снизу, и обратное его движеніе происходитъ отъ дѣйствія собственнаго вѣса. При движеніи парового поршня вверхъ, поршень водяного цилиндра гонитъ воду въ прессовой цилиндръ. При помощи особаго клапана происходитъ соединеніе цилиндра съ водянымъ резервуаромъ, отчего начало хода прессового поршня можетъ происходить на любой высотѣ, по желанію.

4. Условія правильной работы кузнечныхъ прессовъ.

Сжимающая площадка пресса должна опускаться возможно скорѣе. При работѣ порожнемъ, до соприкосновенія съ отковываемымъ предметомъ, прессовой цилиндръ долженъ наполняться водой изъ расположеннаго на нѣкоторой высотѣ открытаго резервуара. Послѣ соприкосновенія съ отковываемымъ предметомъ необходимо произвести на него, при помощи распредѣлительнаго механизма, давленіе, пропорціональное сопротивленію этого предмета при отковкѣ. Обратное движеніе поршня должно точно такъ же происходить возможно скорѣе, причемъ необходимо имѣть возможность остановить поршень въ любомъ мѣстѣ его хода. Движеніе распредѣлительнаго механизма должно происходить по возможности легко.

НТБ ДНУЗТ

B. Станки для обработки дерева.

a. Машины для распиловки.

1. Лѣсопильныя рамы.

Обозначимъ черезъ:
H высоту подъема рамы въ m,
h наибольшую высоту разрѣза или наибольшій діам. ствола въ m,
n число двойныхъ ходовъ въ 1 минуту,
v скорость пилы въ m/sec.

Вертикальныя рамы. Число пилъ до 24. Рама должна быть построена по возможности легче, равно какъ и шатуны. Верхнюю и нижнюю доски рамы всего лучше изготовлять изъ лучшей Мартеновской стали, а соединеніе досокъ изъ трубъ. Натяженіе пилъ достигается при помощи клиньевъ. Цѣлесообразно устраивать передачу движенія снизу и подшипники кривошипнаго вала вмѣстѣ со станинами укрѣплять на общей фундаментной плитѣ.

Эти рамы требуютъ устройства подъ ними ямы, глубиною въ 1,8 m. Если, вслѣдствіе присутствія воды, яма такой глубины не можетъ быть устроена, то глубина ея можетъ быть уменьшена; для этого слѣдуетъ движущіе шкивы расположить сбоку рамы и поставить колѣнчатый валъ на трехъ подшипникахъ.

Подача достигается либо непрерывно при помощи колесъ тренія, либо черезъ опредѣленные промежутки времени посредствомъ храпового колеса; въ послѣднемъ случаѣ подача бревна происходитъ при движеніи пилъ книзу, т.-е. при пиленіи. Для лучшей распиловки подача бревна начинается уже при подъемѣ пилъ, а именно на $^3/_4$ хода, и оканчивается въ то время, когда пилы должны еще пройти книзу $^1/_4$ хода.

Обыкновенно принимается: $H = 0{,}65\,h$; $n = 190$ до 250 въ минуту; $v = 2{,}9$ m въ сек. для легкихъ лѣсопильныхъ рамъ, $v = 3{,}3$ m въ сек. для тяжелыхъ лѣсопильныхъ рамъ.

Длина шатуна $= 6{,}5\,H$. Подача дерева 0 до 7 mm въ теченіе одного разрѣза и можетъ быть измѣняема на ходу.

Производительность лѣсопильныхъ рамъ съ катками при распиловкѣ бревенъ на доски и брусья мягкаго дерева доходитъ до 6 бревенъ, длиною въ 8 m, въ часъ

Расходуемая работа N до 12 лошадиныхъ силъ.

Горизонтальныя лѣсопильныя рамы. Станки эти имѣютъ только одну пилу, рѣжущую какъ при переднемъ, такъ и при заднемъ ходѣ рамы. Пила укрѣпляется къ деревянной рамѣ болтами. Лѣсопильная рама и шатунъ дѣлаются деревянными. Рама перемѣщается въ чугунныхъ направляющихъ горизонтально. Длина шатуна (изъ дерева) $= 3{,}5\,H$.

Вибираютъ: $H = 0{,}8\,h$; $v = 6{,}5$ m въ сек. для большихъ рамъ, $v = 6{,}0$ m въ сек. для малыхъ рамъ; $n = 210$ до 350 въ минуту.

НТБ ДНУЗТ

Подача телѣжки въ этихъ станкахъ безпрерывна и можетъ измѣняться на ходу; она равна 0 до 4 mm въ теченіе двойного разрѣза. Скорость задняго хода телѣжки около 0, 4 m въ секунду. Расходуемая работа $N =$ отъ 2 до 5 лошадиныхъ силъ.

Пилы для фанерокъ дѣлаютъ отъ 300 до 350 разрѣзовъ въ минуту; подача безпрерывна и измѣняется отъ 0,5 до 1,3 mm для каждаго двойного разрѣза. Телѣжка двигается вертикально, при пиленіи снизу кверху. Расходуемая работа $N = 1{,}5$ до 2,5 лошад. силъ.

2. Круглыя пилы.

Діаметръ пилы отъ 0,15 до 1,2 m. **Скорость** на окружности для продольно-рѣжущихъ круглыхъ пилъ = 40 до 50 m въ секунду, а для поперечно-рѣжущихъ около 30 m въ секунду. **Подача**, производимая отъ руки или самоходомъ посредствомъ веревокъ, цѣпей, катковъ или надвиганіемъ телѣжки, доходитъ до 20 m въ минуту, смотря по роду и крѣпости распиливаемаго дерева.

Расходуемая работа N до 20 лошадиныхъ силъ.

3. Ленточныя пилы.

Ленточная пила обхватываетъ обыкновенно 2 вертикально одинъ надъ другимъ расположенныхъ шкива, діаметромъ 0,65 до 1,25 m. Скорость пилы до 20 m въ секунду; надъ и подъ мѣстомъ распиловки должны находиться легко переставляемыя деревянныя колодки, служащія направляющими. Шкивы покрываются кожей или резиной. Верхній шкивъ долженъ быть по возможности легче сконструированъ и быть подвижнымъ, съ тѣмъ, чтобы съ помощью пружинъ, резиновыхъ буферовъ или противовѣсовъ пила всегда могла быть одинаково натянута; ось шкива должна имѣть возможность нѣсколько перемѣщаться въ вертикальной плоскости, благодаря чему являются излишними закраины у шкива.

Подача отъ руки или самоходомъ. **Расходуемая работа** N до 12 лошадиныхъ силъ.

4. Фигурныя пилы.

Подъемъ перемѣнный отъ 90 до 180 mm. Число подъемовъ 600 въ минуту. Расходуемая работа N около 0,5 лошадиной силы.

5. Приборы для точенія круглыхъ и плоскихъ пилъ.

Діаметръ наждачной шайбы 0,30 m; толщина ея 9 mm; скорость на окружности около 14 m въ сек. при сухой шлифовкѣ. Расходуемая работа N около 0,5 лош. силы.

b. Деревострогальные станки.

1. Строгальные станки съ вертикальной осью вращенія ножей.

Число оборотовъ 200 до 250 въ минуту. Подача измѣняется отъ 2 до 5 m въ минуту. Расходуемая работа N отъ 3 до 6 лошадиныхъ силъ.

НТБ ДНУЗТ

2. Строгальные станки съ горизонтальной осью вращенія ножей.

Число пожей 2. Скорость на окружности ножей около 22 m въ секунду. Подача до 7,0 m въ минуту.

c. Станки для выдѣлки шпунтовъ въ бревнахъ и доскахъ.

Скорость на окружности ножей около 25 m въ секунду. Діаметръ патрона 250 до 300 mm. Подача отъ руки или самоходомъ. Расходуемая работа N до 6 лошадиныхъ силъ.

d. Фрезерные и шиподѣлательные станки.

Число оборотовъ шпинделя до 3500 въ минуту. Подача всегда отъ руки. Для нѣкоторыхъ работъ. напр., при производствѣ мебели, выгодно къ станку устроить приспособленіе, съ помощью котораго можно было бы измѣнять направленіе вращенія шпинделя ножей. Расходуемая работа N около 2 лошадиныхъ силъ.

e. Копировальные станки.

На 120 до 150 оборотовъ фрезернаго вала приходится одинъ оборотъ обдѣлываемаго предмета. Подача (самодѣйствующая) при грубой копировкѣ около 0,4 m, а при чистой отдѣлкѣ около 0,09 m въ минуту. На одинъ оборотъ обдѣлываемаго предмета подача при грубой копировкѣ—10 до 12 mm; при чистой отдѣлкѣ—2,5 mm. Расходуемая работа N отъ 1 до 1,5 лошадиныхъ силъ.

f. Сверлильные станки.

Станки эти подобны станкамъ, употребляющимся для сверленія металловъ (см. стр. 622); нажимъ сверла на предметъ всегда производится только отъ руки. Число оборотовъ шпинделя въ минуту до 3000. Расходуемая работа N около 1 лошадиной силы.

g. Долбежные станки.

Число ходовъ въ минуту 150 до 300; скорость 1,5 до 2,7 m въ секунду; перемѣщеніе дерева производится отъ руки и $= 0,5$ до 2,5 mm на каждый ходъ. Расходуемая работа $N = 0,75$ до 1,5 лошадиныхъ силъ.

h. Общія данныя.

Вслѣдствіе значительнаго числа оборотовъ ножей у деревообдѣлочныхъ машинъ, валы, къ которымъ прикрѣпляются ножи. должны имѣть безукоризненные подшипники и обильную, по возможности автоматическую, смазку; смазки саломъ слѣдуетъ избѣгать, всего лучше примѣнять смазку масломъ.

Передача движенія **электродвигателями** (на каждый отдѣльный станокъ по двигателю) имѣетъ въ этомъ случаѣ большія преимущества и весьма удобна, ибо неизбѣжные промежуточные приводы

НТБ ДНУЗТ

и опасные, вслѣдствіе большой скорости, ремни здѣсь устраняются. Цѣлесообразно примѣнять для этой цѣли моторы трехфазнаго тока, хотя часто, въ случаяхъ, когда необходимо имѣть эти двигатели въ освѣтительной сѣти, примѣняются и двигатели постояннаго тока. Число оборотовъ главнаго вала станка часто допускаетъ помѣщеніе якоря электродвигателя непосредственно на этомъ валу, напримѣръ у круглыхъ пилъ, строгальныхъ и шнунтовальныхъ станковъ якорь помѣщается на продолженіи главнаго рабочаго вала, а у фрезерныхъ станковъ въ промежуткѣ между двумя подшипниками. Перемѣна направленія вращенія вала у фрезерныхъ станковъ производится при помощи особаго коммутатора, дѣйствующаго ножною педалью. У ленточныхъ пилъ и долбежныхъ станковъ электродвигатель помѣщается внутри самаго станка или устанавливается отдѣльно близъ станка. Въ обоихъ случаяхъ передача отъ электродвигателя на станокъ производится черезъ посредство пары зубчатыхъ колесъ.

Для удаленія стружекъ и опилокъ механическимъ путемъ, а также и для очистки воздуха въ помѣщеніи станковъ рекомендуется примѣненіе **эксгаусторовъ.**

II. МАШИНЫ ДЛЯ ПОДЪЕМА ГРУЗОВЪ *).

Общія данныя.

Пусть означаютъ:

Q полезный грузъ, P дѣйствительную движущую силу,

P_0 идеальную движущую силу, т.-е. ту силу, которая была бы достаточна для подъема груза Q, если бы не требовалось преодолѣвать никакихъ сопротивленій отъ тренія въ машинѣ;

тогда **степень полезнаго дѣйствія:**

$$\eta = \frac{P_0}{P}.$$

Общая степень полезнаго дѣйствія η есть произведеніе степеней полезнаго дѣйствія отдѣльныхъ передачъ, постоянно находящихся между собою во взаимномъ зацѣпленіи:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \ldots .$$

Если:

h высота подъема груза Q въ m,

s путь, описываемый точкой приложенія силы P по направленію дѣйствія этой силы во время одного подъема груза Q, въ m,

c скорость подъема груза въ m/сек.

---

*) См. Ad. Ernst. Die Hebezeuge, 2 изд., Berlin 1895

НТБ ДНУЗТ

v скорость перемѣщенія точки приложенія силы P, то по закону механической работы:

$$P_0 s = Q h; \qquad P_0 = Q \frac{h}{s} = Q \frac{c}{v};$$

$$P = \frac{P_0}{\eta} = \frac{1}{\eta} Q \frac{h}{s} = \frac{1}{\eta} Q \frac{c}{v}.$$

А. Блоки.

Пусть:

P натяженіе сбѣгающаго каната въ kg,
P_1 натяженіе набѣгающаго каната въ kg,
R радіусъ блока, до средины каната или цѣпи, въ cm,
d_1 радіусъ цапфы блока въ cm,
d толщина каната или желѣза цѣпного звена (діаметръ шарнирныхъ болтовъ у цѣпей Галля) въ cm,
μ_1 коэффиціентъ тренія цапфъ (см. стр. 225 и слѣд.),
α центральный уголъ для дуги, обхваченной канатомъ.

Въ общемъ случаѣ: $$\frac{P}{P_1} = \frac{1}{\eta} = x.$$

1. Блоки для пеньковыхъ канатовъ.

$$x = 1 + \frac{0{,}06\, d^2}{R} + \frac{\mu_1 d_1 \sin {}^1\!/_2\, \alpha}{R} \text{ до } 1 + \frac{0{,}18\, d^2}{R} + \frac{\mu_1 d_1 \sin {}^1\!/_2\, \alpha}{R}.$$

Если $\alpha = 180^0$, то:

$$\frac{P}{P_1} = x = 1 + \frac{0{,}06\, d^2}{R} + \frac{\mu_1 d_1}{R} \text{ до } 1 + \frac{0{,}18\, d^2}{R} + \frac{\mu_1 d_1}{R};$$

Обыкновенно $R = 4\, d$, $d_1 = 0{,}8\, d$, $\mu_1 = 0{,}08$, тогда:

для $d =$	1,6	2,6	3,6	4,6	5,2 cm:
$\frac{P}{P_1} = x =$	1,04 до 1,09	1,06 до 1,13	1,07 до 1,18	1,09 до 1,22	1,09 до 1,25

2. Для **опредѣленія коэффиціента полезнаго дѣйствія блоковъ для проволочныхъ канатовъ** нѣтъ надежныхъ опытовъ. Для канатовъ, діам. $d = 1{,}6$ до $1{,}8$ cm, съ толщиной проволоки $\delta = 0{,}9$ до 1 mm, найдено, при діаметрѣ блоковъ $2R = 50$ до 60 cm и 144 проволокахъ въ канатѣ, въ среднемъ:

$$\frac{P}{P_1} = \frac{1}{\eta} = x = 1{,}04.$$

3. Цѣпные блоки.

$$x = 1 + \frac{0{,}2\, d}{R} + \frac{\mu_1 d_1 \sin {}^1\!/_2\, \alpha}{R} \text{ до } 1 + \frac{0{,}3\, d}{R} + \frac{\mu_1 d_1 \sin {}^1\!/_2\, \alpha}{R}.$$

Если $\alpha = 180^0$, то:

$$\frac{P}{P_1} = x = 1 + \frac{0{,}2\, d}{R} + \frac{\mu_1 d_1}{R} \text{ до } 1 + \frac{0{,}3\, d}{R} + \frac{\mu_1 d_1}{R};$$

Обыкновенно $R = 10\, d$, $d_1 = 3\, d$, $\mu_1 = 0{,}08$; отсюда, незави-

НТБ ДНУЗТ

симо отъ величины d, но въ зависимости отъ жесткости цѣпи имѣемъ:

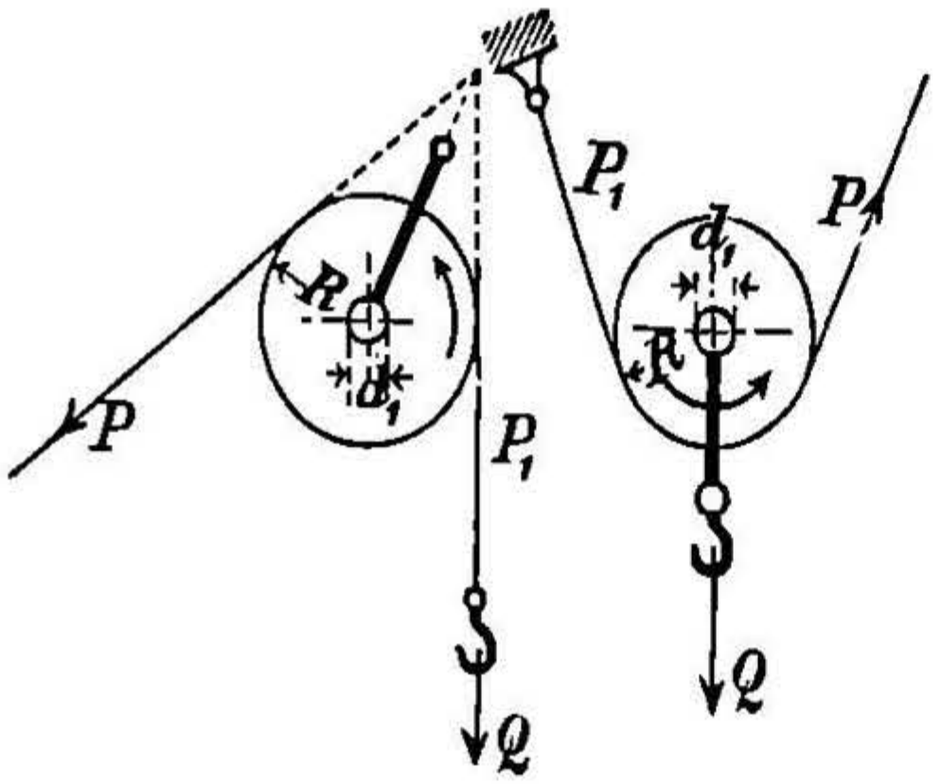
$$\frac{P}{P_1} = x = 1{,}044 \text{ до } 1{,}06.$$

Для **блоковъ съ кулачками** слѣдуетъ принимать высшій предѣлъ

$$x = 1{,}06.$$

Въ **частныхъ случаяхъ** имѣемъ:

Черт. 509. Черт. 510.



1. Для **неподвижнаго блока** (черт. 509):

$$P_1 = Q, \quad \text{слѣд. } P = Qx;$$

2. Для **подвижного блока** (черт. 510):

$$Q = \sqrt{P^2 + P_1^2 - 2PP_1\cos\alpha}$$

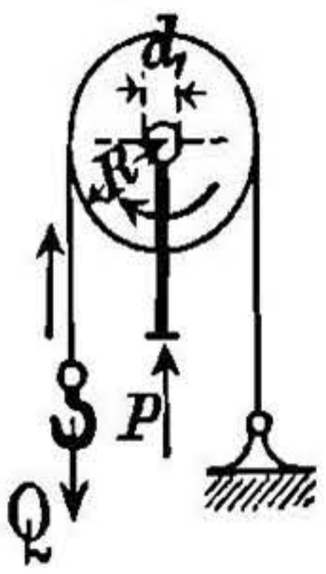
или

$$P = Q\frac{x}{\sqrt{1 + x^2 - 2x\cos\alpha}}.$$

Обыкновенно $\alpha = 180^0$ и слѣд.:

$$P = Q\frac{x}{1+x}; \qquad P_1 = Q\frac{1}{1+x}.$$

Черт. 511.



3. Для **обращеннаго подвижного блока** (черт. 511) и $\alpha = 180^0$ (вмѣсто P подставляемъ Q):

$$P_1 = Qx \quad \text{и} \quad P = Q + P_1 = Q(1+x).$$

B. Полиспасты.

a. Обыкновенные полиспасты.

Пусть:

Q грузъ и P сила,

n число блоковъ (четное или нечетное, смотря по способу закрѣпленія одного изъ концовъ каната или цѣпи),

x величина, опредѣленная для блоковъ въ **A.**,

η коэффиціентъ полезнаго дѣйствія полиспаста: тогда:

$$\frac{P}{Q} = x^n\frac{x-1}{x^n-1}; \qquad \eta = \frac{1}{n\,x^n}\frac{x^n-1}{x-1}.$$

Отсюда при:	$n =$	4	5	6	7	8
Среднее значеніе для цѣпей:	$x = 1{,}05$; $\eta =$	0,88	0,86	0,85	0,82	0,80
Среднее значеніе для канатовъ:	$x = 1{,}10$; $\eta =$	0,80	0,75	0,71	0,68	0,65
	$x = 1{,}15$; $\eta =$	0,71	0,66	0,62	0,58	0,54.

10-блочные полиспасты для проволочныхъ канатовъ гидравлическихъ подъемныхъ машинъ даютъ, при толщинѣ проволоки 1 mm и 114 до 144 проволокахъ въ канатѣ, при діаметрѣ блока 50 до 60 cm, коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta = 0{,}80$.

НТБ ДНУЗТ

Для другихъ соотношеній опытныхъ данныхъ въ настоящее время не имѣется.

b. Дифференціальные блоки Вестона (черт. 513).

Идеальная передача (P_0 см. стр. 637):

$$\frac{P_0}{Q} = \varphi = \frac{1}{2}\,\frac{R_2 - R_1}{R_2};$$

подставляя

$$x = 1 + \psi,$$

имѣемъ

$$\psi = x - 1,$$

и приблизительно:

$$\frac{P}{Q} = \frac{P_0}{Q} + \psi$$

$$= \frac{1}{2}\,\frac{R_2 - R_1}{R_2} + \psi,$$

а коэффиціентъ полезнаго дѣйствія:

$$\eta = \frac{P_0}{P} = \frac{\varphi}{\varphi + \psi}.$$

Для цѣпныхъ блоковъ, у которыхъ

$$\psi = 0{,}06;$$

имѣемъ:

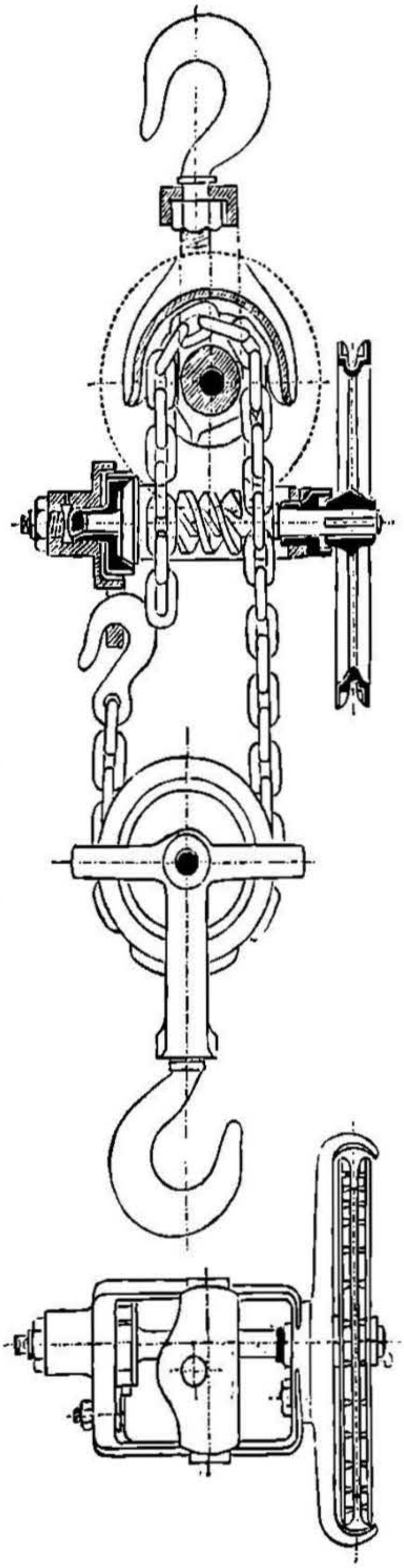
для $R_1 : R_2$	$Q : P$	η
7 : 8	8,2	0,51
8 : 9	8,6	0,48
9 : 10	9,1	0,45
10 : 11	9,5	0,43
11 : 12	9,8	0,41
14 : 15	10,7	0,36

При болѣе точномъ разсчетѣ имѣемъ (согласно съ дѣйствительностью) полезное дѣйна 6% менѣе.

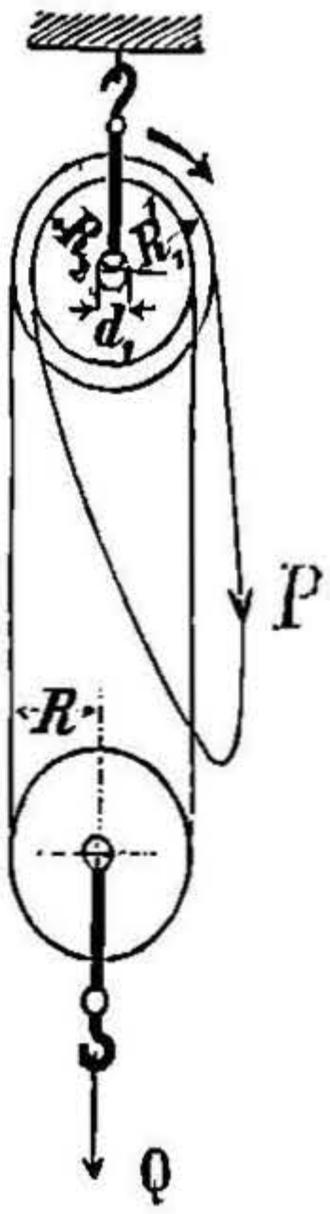
Условіе **самотормаженія** полиспаста:

$$\frac{R_1}{R_2} \geqq 1 - 2\psi.$$

Черт. 512.



Черт. 513.



НТБ ДНУЗТ

Для низшаго предѣла имѣемъ поэтому $R_1 : R_2 = 8 : 9$.

Калиброванныя цѣпи (стр. 514 до 518) нагружаются по возможности слабѣе для избѣжанія весьма нежелательнаго удлиненія звеньевъ. Вполнѣ нагруженные дифференціальные полиспасты, вслѣдствіе сильнаго износа частей при частомъ употребленіи, скоро приходятъ въ негодность.

c. Винтовые блоки.

Изготовляются съ примѣненіемъ безконечныхъ двухходовыхъ винтовъ (червяковъ). При выборѣ соотвѣтствующаго подъема винта (до 22^0) получается достаточно высокая степень полезнаго дѣйствія ($\eta = 0{,}60$ до $0{,}65$); ввиду не вполнѣ надежнаго самотормаженія требуется устройство тормаза или зубчатаго останова. По Беккеру (блокъ котораго изображенъ на черт. 512) употребляютъ всегда тормаза, приводимые въ дѣйствіе отъ давленія поднимаемаго груза. Давленіе на зубецъ винтового колеса, пропорціальное величинѣ поднимаемаго груза, служитъ тормазящей силой. Опусканіе груза производится незначительнымъ натяженіемъ цѣпи ручного цѣпного блока въ сторону, противоположную вращенію этого блока при подъемѣ груза. Подобные тормаза имѣются у блоковъ Людерса, Болцани, Гоккель и К^0 и т. и.

Винтовые блоки Е. Беккера съ тормазомъ.

Наибольшій поднимаемый грузъ. kg	безъ цѣпей. kg	Вѣсъ съ цѣпями для подъема въ 3 m. kg	Толщина цѣпного желѣза. mm
500	14,5	25,5	7
1000	22,5	38	8
1500	25,5	42	9
2000	37	58	10,5
3000	45	72	12
5000	70	110	15,5

C. Домкраты прямого дѣйствія.

a. Домкраты съ зубчатою рейкою.

Употребляются для подъема вагоновъ, орудій, грузовъ и при тяжелыхъ рабочихъ станкахъ. Станина этихъ домкратовъ въ послѣднее время приготовляется изъ ковкаго чугуна или изъ стальныхъ отливокъ. Поднимаемый грузъ отъ 2000 до 20 000 kg. Передача одинарная или двойная (при грузахъ болѣе 3000 kg). Передаточное число $= {}^1/_4$ до ${}^1/_7$. Число зубцовъ движущей шестерни $= 4$, рѣже $= 3$. Высота вагоннаго домкрата $= 0{,}8$ m, высота подъема $= 0{,}25$ до $0{,}5$ m. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta = 0{,}4$ до $0{,}6$ (въ зависимости отъ числа передачъ и числа зубцовъ движущей

НТБ ДНУЗТ

шестерни). Въ виду необходимости сохраненія малыхъ размѣровъ приходится допускать высокія напряженія матеріала — до $k = 1500$ kg/qcm, почему части эти скоро изнашиваются. Разсчетъ зубцовъ по стр. 458 и слѣд.

b. Винтовые домкраты съ винтовымъ перемѣщеніемъ.

Обозначенія см. стр. 229 и 230.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія винта $\eta = \dfrac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varrho)}$.

Подъемъ	$\operatorname{tg}\alpha = 0{,}04$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,125
При вращеніи винта.. ...	$\eta = 0{,}22$	0,26	0,30	0,33	0,36	0,41	0,46
При вращеніи гайки.	$\eta = 0{,}15$	0,18	0,21	0,24	0,26	0,30	0,35.

Самоопусканія груза не будетъ, если $\alpha < \varrho$; уголъ α принимается обыкновенно 5^0 и 6^0 (слѣд. $\mu = 0{,}1$).

Давленіе на стержень винта (стального или изъ хорошаго мелкозернистаго желѣза) = 300 до 500 kg/qcm. Діаметръ его долженъ быть разсчитанъ на сложное сопротивленіе крученію и сжатію или растяженію. Высота гайки опредѣляется по допускаемому напряженію для винтовой нарѣзки, подверженной изгибу, или по допускаемому давленію на единицу площади, причемъ слѣдуетъ выбирать большій изъ полученныхъ размѣровъ. Допускаемое давленіе на единицу поверхности между сталью или хорошимъ мелкозернистымъ желѣзомъ и бронзой $k \leqq 100$ kg/qcm, а между сталью или желѣзомъ и чугуномъ $k \leqq 60$ kg/qcm. См. стр. 436 и 437.

Подъемные козлы для паровозовъ.

Наибольшій поднимаемый грузъ 50 тоннъ, такъ что на каждый изъ четырехъ винтовыхъ домкратовъ приходится 12,5 тоннъ. Высота подъема = 1,75 m. Длина балокъ между козлами 3,45 m; винты приводятся въ дѣйствіе посредствомъ зубчатыхъ передачъ.

D. Лебедки (сложные вороты).

a. Барабанъ для каната.

Пусть:
R радіусъ барабана въ cm, d діаметръ каната въ cm,
$d_1 = 2r$ діаметръ цапфы оси барабана въ cm,
μ_1 коэффиціентъ тренія цапфы.
Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія (безъ передачи):

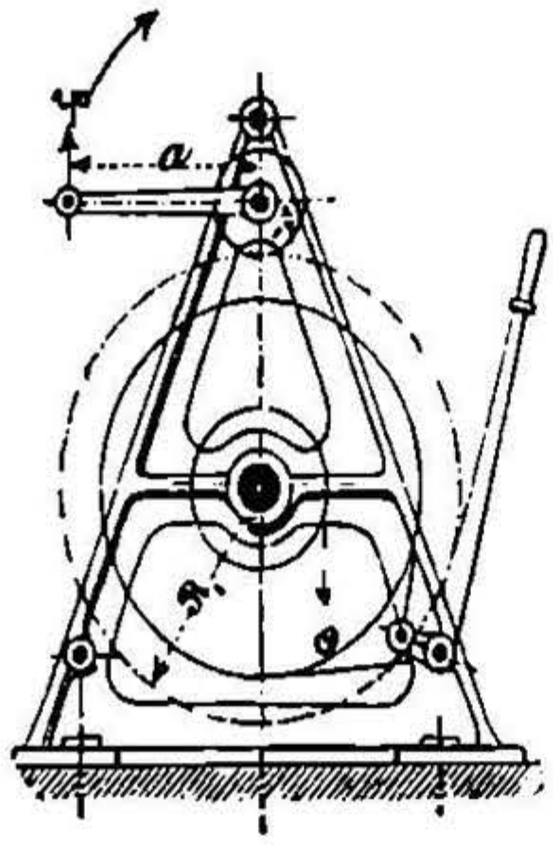
$$\eta = \frac{1}{1 + 0{,}09\,\frac{d^2}{R} + \frac{\mu_1 r}{R}}.$$

НТБ ДНУЗТ

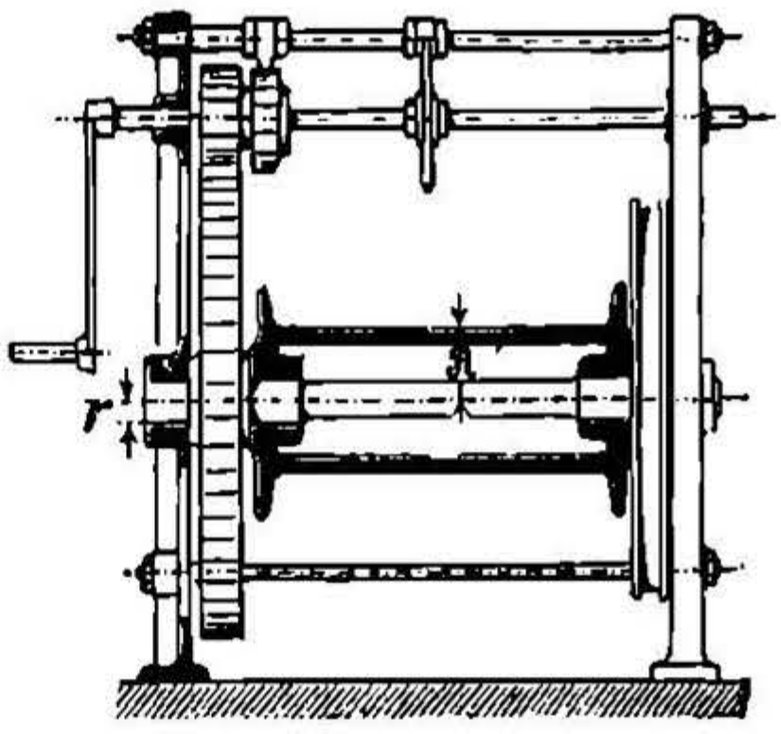
Если, напр., въ случаѣ пеньковыхъ канатовъ $R = 6\,d$, $d_1 = 2d$, $\mu_1 = 0{,}08$, то:

$$\eta = \frac{1}{1{,}013 + 0{,}015\,d}.$$

Черт. 514.



Черт. 515.

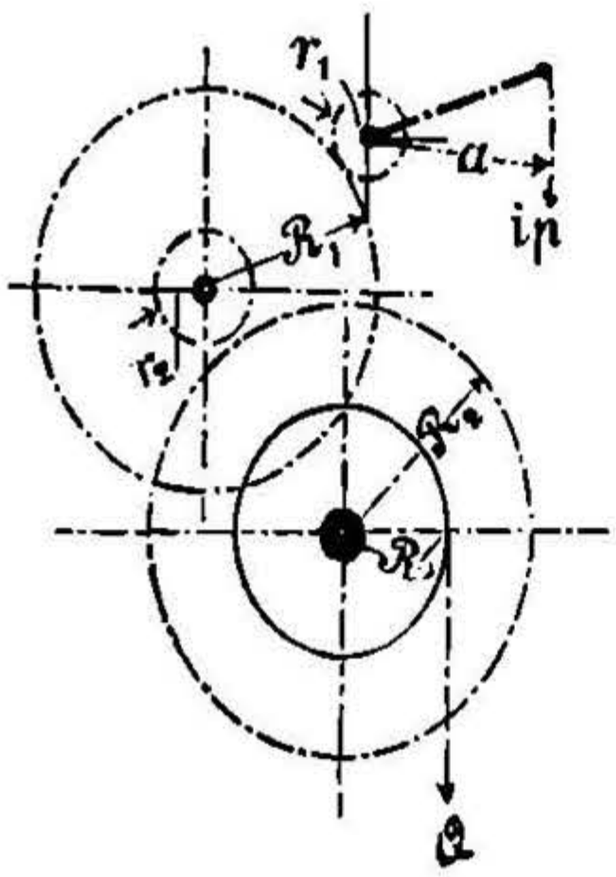


Для	$d =$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0 cm
	$\eta =$	0,97	0,965	0,96	0,95	0,945	0,94	0,93	0,925	0,92.

Разсчетъ канатовъ и цѣпей, отношеніе радіуса барабана къ толщинѣ каната и цѣпного желѣза см. стр. 508 и слѣд., 514 и слѣд.

b. Зубчатая передача.

Черт. 516.



Обозначимъ черезъ (черт. 516):
R радіусъ барабана до центра сѣченія каната или цѣпи въ cm,
i число рабочихъ,
p силу одного рабочаго въ kg,
$P = ip$ силу, дѣйствующую на рукоять, въ kg,
a плечо рукоятки въ cm (см. стр. 548),
v скорость рукоятки въ m/sec.,
Q грузъ въ kg,
c его скорость въ m/sec.,
φ общее передаточное число,
η общій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія.

Изъ выраженія:

$\eta P a = Q R \varphi$ находимъ:

сила $P = \frac{1}{\eta}\,\frac{QR}{a}\,\varphi$ или **грузъ** $Q = \eta\,\frac{P\,a}{R\varphi}$,

передаточное число $\varphi = \frac{r_1}{R_1} \cdot \frac{r_2}{R_2} \ldots = \eta\,\frac{P\,a}{QR}$.

НТБ ДНУЗТ

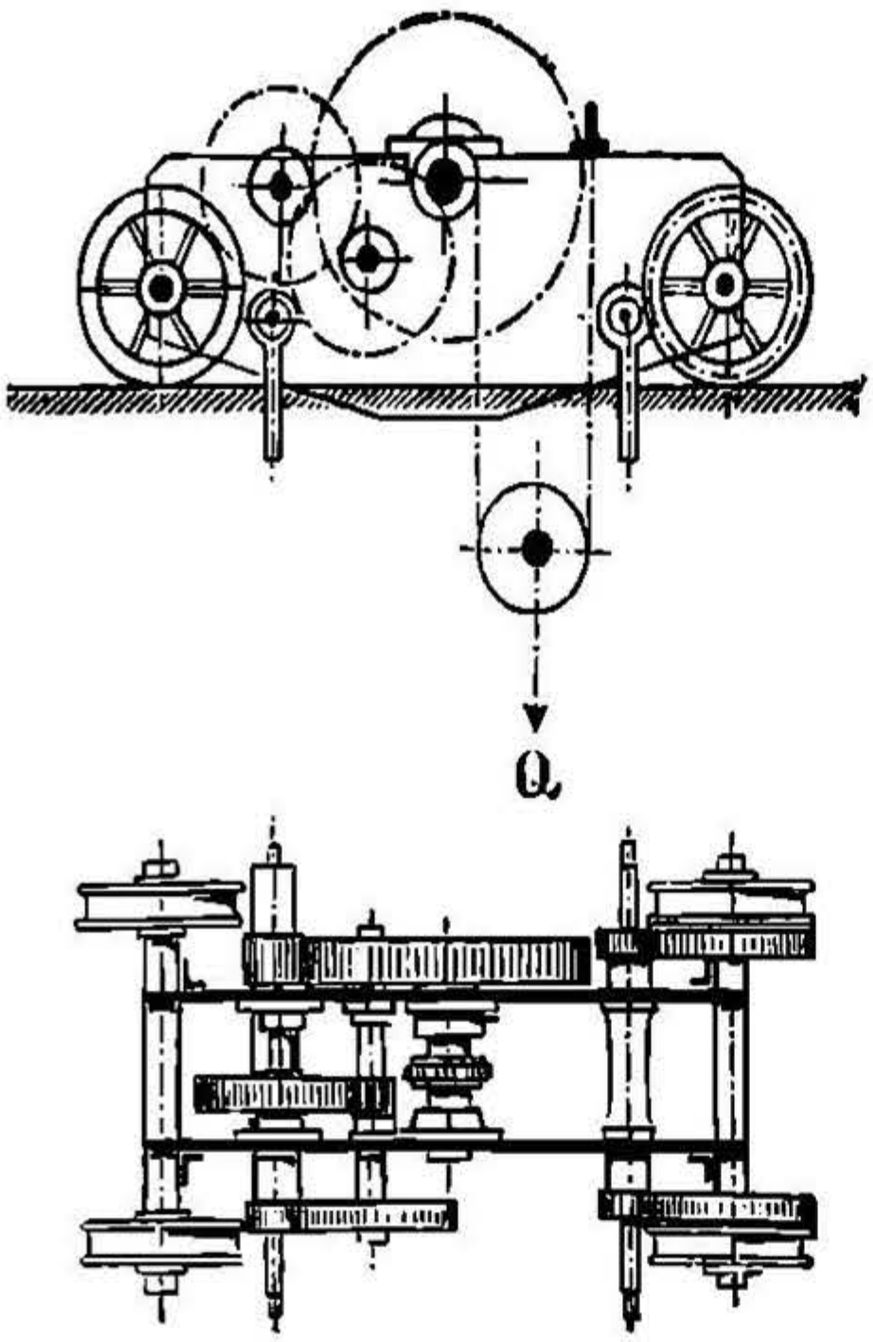
Каждое изъ отношеній $r_1 : R_1$, $r_2 : R_2 \ldots$ не должно быть меньше 1 : 8.

1. Въ случаѣ ручного привода.

$i = 1$, 2 или 4; $p = 10$ до 15 kg для 8-часового рабочаго времени.

$v = 0{,}8$ до 1 m въ сек.; $a = 35$ до 40 cm; рукоять располагается на разстояніи ~ 1 m отъ пола. (См. стр. 548).

Черт. 517.



Число зубчатыхъ передачъ до 4, если же этого сдѣлать нельзя, то между грузомъ и барабаномъ устанавливаются блоки и полиспасты. Непосредственной передачи отъ рукоятки къ барабану слѣдуетъ избѣгать, съ тѣмъ, чтобы не вводить большихъ колесъ. При большомъ числѣ передачъ слѣдуетъ первую ось сдѣлать выдвижною, съ цѣлью возможнаго подъема меньшихъ грузовъ съ большею скоростью.

Наименьшее число зубцовъ $z = 10$ до 12; шагъ зацѣпленія t опредѣляется по давленію на зубецъ (см. стр. 459 и слѣд.); длина зубца $b = 2t$. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія каждой пары передаточныхъ колесъ (принимая во вниманіе треніе въ зубцахъ и цапфахъ) $\eta \sim 0{,}92$. Скорость груза получается по поднимаемому грузу и производительности рабочихъ (ipv mkg/сек) изъ

$$c = \eta \frac{ipv}{Q}.$$

Примѣры. Неподвижныя лебедки (черт. 514 и 515). Подвижныя лебедки (черт. 517).

2. Въ случаѣ машиннаго привода

(посредствомъ ремней, канатовъ, валовъ или двигателей) дѣйствующая сила должна быть такова, чтобы по возможности достаточно было имѣть только 2 передачи; при электромоторахъ часто, вслѣдствіе большого числа оборотовъ ихъ, требуется устройство трехъ передачъ или предпочитаютъ червячную передачу (червякъ въ масляной ваннѣ, η до 0,85). Наименьшее число зубцовъ $z = 20$ до 12; длина зубцовъ $b = 2{,}5\,t$. Разсчетъ телѣжки указанъ въ статьѣ

НТБ ДНУЗТ

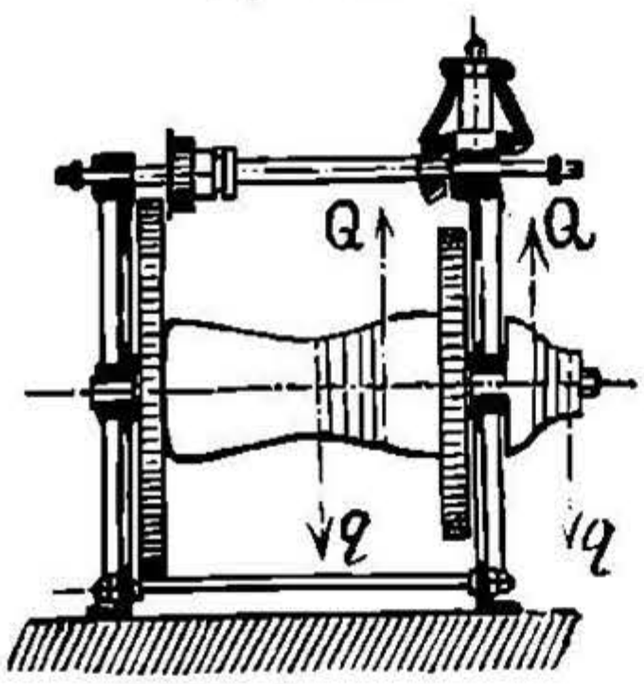
о мостовыхъ кранахъ. Скорость поднимаемаго груза $c = 0{,}1$ m до 0,5 m въ секунду, въ зависимости отъ величины груза; послѣдняя величина для небольшихъ грузовъ.

c. Предохранительныя приспособленія.

(См. стр. 524 до 530).

d. Коническіе фрикціонные барабаны.

Черт. 518.



Обозначимъ черезъ:

Q грузъ въ kg,

q натяженіе сбѣгающаго конца каната въ kg,

μ_0 коэффиціентъ тренія (для покоя) между канатомъ и барабаномъ,

e основаніе натуральныхъ логариемовъ (см. стр. 40 и 46),

$\alpha = 2n\pi$ центральный уголъ для дуги, обхватываемой канатомъ.

Канатъ или цѣпь не наматываются (въ нѣсколько рядовъ), а обхватываютъ барабанъ и соскальзываютъ съ него по направленію меньшаго радіуса барабана; n число оборотовъ каната, тогда

$$q = \frac{Q}{e^{\mu_0 \alpha}}; \qquad n = \frac{\log (Q : q)}{2\mu_0 \pi \log e}.$$

При $\mu_0 = 0{,}25$ (пеньковый канатъ по желѣзному барабану):

$$n = 1{,}46 \log (Q : q),$$

$\mu_0 = 0{,}40$ (пеньковый канатъ по деревянному барабану):

$$n = 0{,}91 \log (Q : q).$$

Эти барабаны употребляются для корабельныхъ лебедокъ. Вслѣдствіе соскальзыванія нагруженной части каната по направленію меньшаго радіуса барабана появляется сильное треніе и изнашиваніе каната; этого тренія можно избѣжать, употребляя:

e. Цилиндрическіе фрикціонные барабаны (черт. 519),

изъ которыхъ одинъ или оба вмѣстѣ приводятся въ движеніе посредствомъ зубчатыхъ передачъ.

Въ случаѣ работы одного барабана $\alpha = n\pi$;
въ случаѣ работы двухъ барабановъ: $\alpha = 2n_1\pi$.

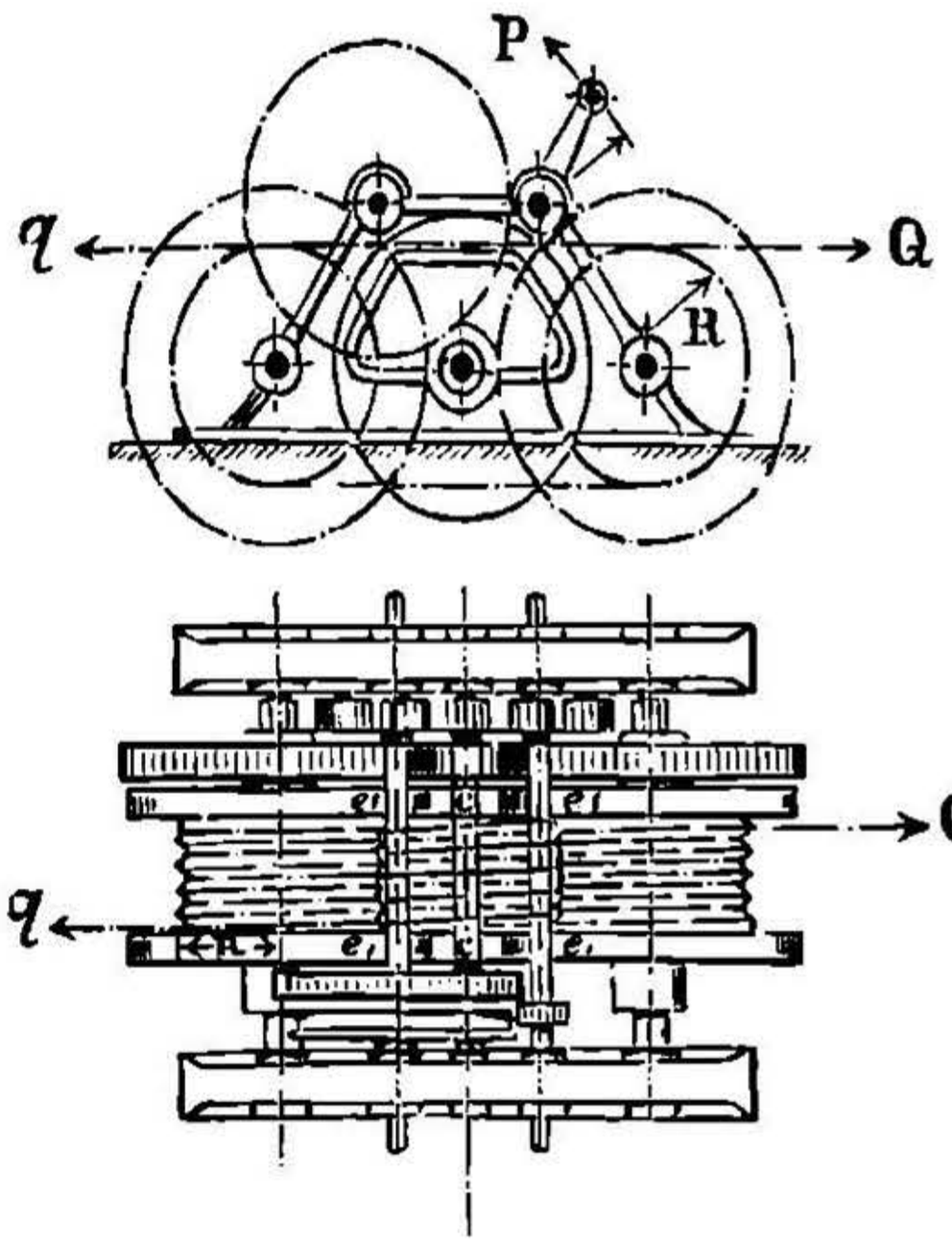
При $\mu_0 = 0{,}25$ и $(Q : q) = 200 \quad 100 \quad 50 \quad 25$
имѣемъ: $n = \quad 7 \quad 6 \quad 5 \quad 4$ и $n_1 = {}^1/_2\, n$.

НТБ ДНУЗТ

Нагрузка цапфъ оси барабана, вслѣдствіе дѣйствія суммы всѣхъ натяженій каната, весьма значительна. Для передачи этой нагрузки и уменьшенія значительнаго тренія цапфъ устанавливаются между заплечками барабана e_1 e_1 уравновѣшивающіе (разгружающіе) ролики c, вызывающіе только треніе II-го рода.

Въ этомъ случаѣ степень полезнаго дѣйствія барабановъ опредѣляется какъ для канатныхъ барабановъ (стр. 642).

Черт. 519.



E. Краны *).

a. Поворотные краны.

1. Общія данныя.

Неподвижные поворотные краны изготовляются съ постояннымъ и перемѣннымъ вылетомъ; здѣсь необходимо принимать въ разсчетъ конструкцію крана и родъ опоры.

Употребительны слѣдующіе **роды опоръ**:

1. Верхнимъ и нижнимъ подшипникомъ, причемъ верхній подшипникъ въ мастерскихъ прикрѣпляется къ балкамъ потолка (черт. 520 и 527), а внѣ зданій удерживается при помощи двухъ раскосовъ (черт. 528).

2. При помощи неподвижной колонны, изготовляемой обыкновенно изъ прокованной стали и укрѣпляемой на чугунной плитѣ (черт. 522).

3. При помощи шахты въ фундаментѣ (кранъ Ферберна, черт. 525); ввиду проявляющихся значительныхъ горизонтально направленныхъ сдвигающихъ усилій, требуется тщательное исполненіе, почему и дорого.

4. При помощи клепанной желѣзной пирамиды (черт. 551), на фундаментъ передаются лишь вертикальныя силы; устройствомъ противовѣсовъ натяженіе въ фундаментныхъ болтахъ можетъ быть по желанію уменьшено.

---

*) По А. Ридлеру.

НТБ ДНУЗТ

5. Ось вращенія удерживается поворотнымъ кругомъ, а грузъ уравновѣшивается противовѣсами такъ, что общій центръ тяжести находится всегда внутри поворотнаго круга; на фундаментъ передаются лишь вертикальныя силы.

Перемѣнный вылетъ достигается:

1. Передвиженіемъ катучей лебедки (черт. 527, 548 и 553).

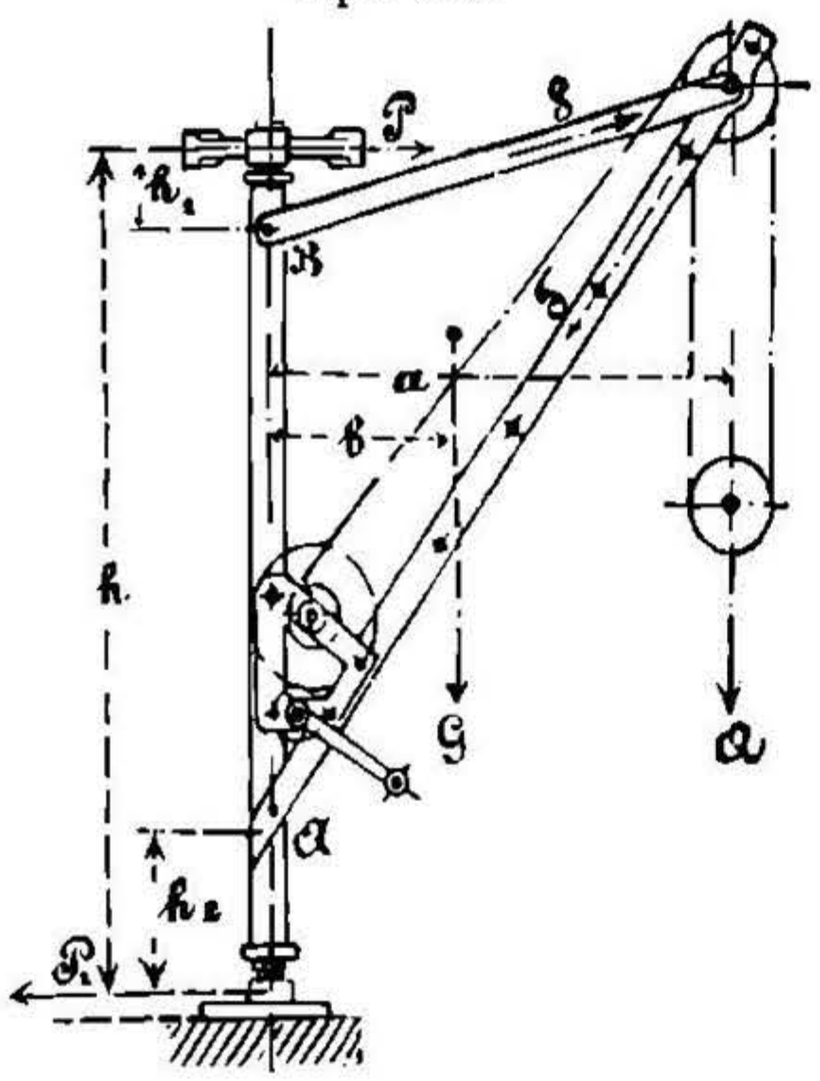
2. Подниманіемъ и опусканіемъ укосины; это достигается при малыхъ грузахъ цѣпью (черт. 528), при большихъ грузахъ съ помощью винта (черт. 529, 530 и 531).

2. Неподвижные поворотные краны.

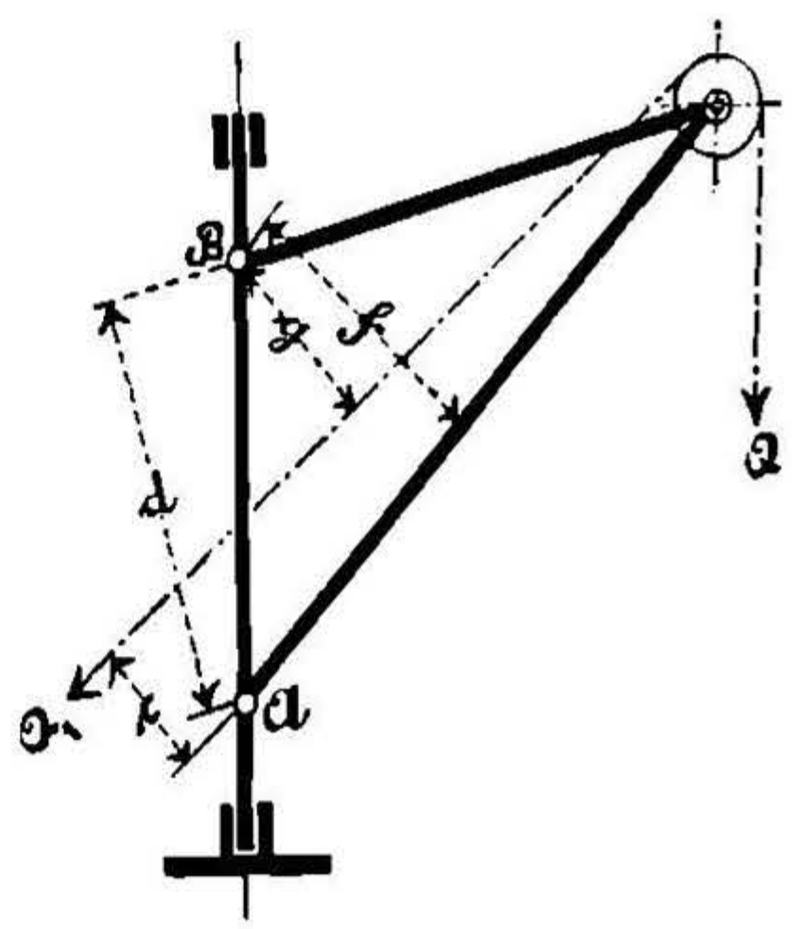
1. Поворотный кранъ съ подвижной вертикальной стойкой. (Магазинные краны).

Обозначимъ черезъ (черт. 520 и 521):
Q поднимаемый грузъ въ kg,
Q_1 натяженіе грузовой цѣпи въ kg,
G собственный вѣсъ крана съ блоками и цѣпью въ kg,
a, b, h, h_1 и h_2 плечи силъ въ cm (черт. 520),
d и c разстоянія отъ точки A, указанныя на черт. 521, въ cm,
f и g разстоянія точки B отъ укосины крана и цѣпи (черт. 521), въ cm.

Черт. 520.



Черт. 521.



Горизонтальное давленіе на цапфу крана:

$$P = Q\frac{a}{h} + G\frac{b}{h};$$

(большею частью приблизительно $h = a$, $b = 0{,}25\,a$, $G = Q$, и тогда $P = 1{,}25\,Q$).

Вертикальное давленіе на цапфу:
$V = Q + G$ (обыкновенно приблизительно $V = 2\,Q$).

НТБ ДНУЗТ

Стрѣла. Сила, растягивающая стрѣлу:

$$S = Q\frac{a}{d} + G\frac{b}{d} - Q_1\frac{c}{d};$$

стрѣла дѣлается изъ круглаго или плоскаго желѣза; допускаемое напряженіе $k_z = 600$ kg/qcm.

Укосина. Сила, сжимающая укосину:

$$T = Q\frac{a}{f} + G\frac{b}{f} + Q_1\frac{g}{f};$$

укосина обыкновенно деревянная или изъ прокатнаго желѣза и разсчитывается на продольный изгибъ съ 5 до 8-ымъ занасомъ прочности.

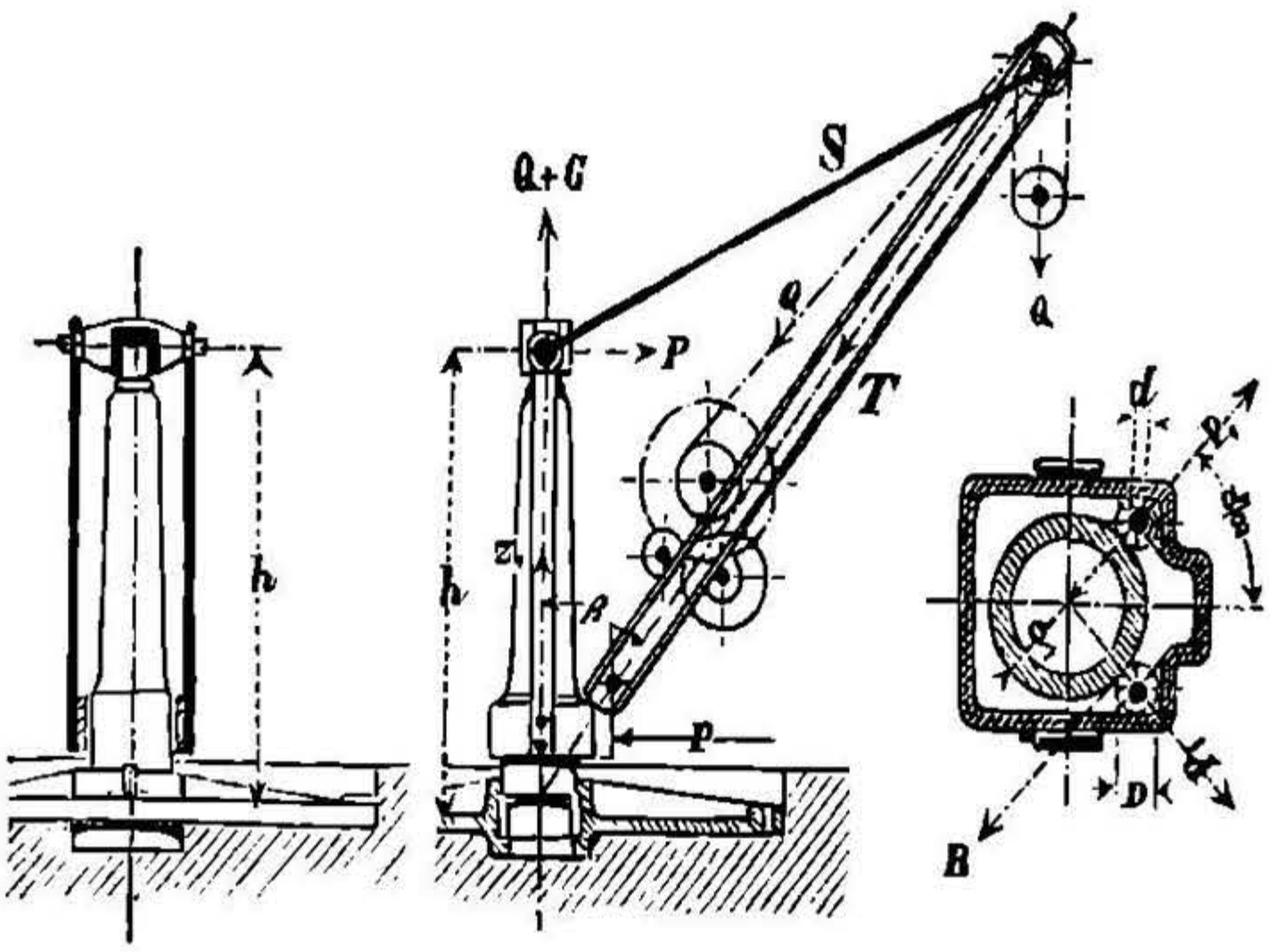
Вертикальная стойка (колонна) крана изгибается моментами Ph_1 или Ph_2 и подвержена также въ нижней части дѣйствію сжимающей силы $Q + G$. Стойка можетъ быть точно разсчитана на сложное сопротивленіе.

2. Поворотные краны съ неподвижной стойкой (колонной). (Береговые краны).

Цапфы, стрѣла и укосина разсчитываются, какъ и выше, въ 1.

Колонна. Разсчитывается на изгибъ, въ нижней части (черт. 522 и 523) моментомъ $Ph = Qa + Gb = W k_b$ (моментъ сопротивленія W для кольцевого сѣченія см. стр. 365 и 368). Кромѣ того, стойка подвергается сжатію силой $Q + G$. Точный разсчетъ долженъ быть произведенъ на сложное сопротивленіе. Для возможно меньшаго прогиба стойки выбираемъ ее настолько короткою, какъ это позволяютъ подшипники (чѣмъ меньше h, тѣмъ больше P).

Черт. 522.



Сѣченіе поперечины надъ стойкой разсчитывается на изгибъ отъ дѣйствія равнодѣйствующей отъ $-P$ (направленной влѣво) и $Q + G$, дѣйствующей въ центрѣ пяты какъ противодавленіе. Для чугуна $k_b = 300$, для желѣза и стальныхъ отливокъ $k_b = 600$ kg/qcm.

НТБ ДНУЗТ

Положеніе катковъ (для двухъ катковъ подъ угломъ $^1/_2\,\alpha$) показано на черт. 522 (съ правой стороны).

Давленіе на каждый катокъ: $P_1 = \dfrac{P}{2\cos {}^1/_2\,\alpha}$.

Если ϱ радіусъ цапфы стойки въ cm, D діаметръ катковъ въ cm, d діаметръ ихъ цапфъ въ cm, μ_1 коэффиціентъ тренія цапфъ, f плечо тренія при катаніи въ cm, то:

моментъ (въ cmkg), необходимый для вращенія крана:

$$M = P_1\,(2f + \mu_1 d)\,\frac{2\varrho}{D} + P\mu_1\,\frac{d_1}{2} + (Q+G)\,\mu_1\,\frac{d_1}{4}.$$

Большею частью $\mu_1 = 0{,}1$, $f = 0{,}05$ cm, $D = 5\,d$.

Фундаментъ. Обозначимъ черезъ (черт. 523):

G собственный вѣсъ всѣхъ частей, находящихся на вѣсу,

G_0 собственный вѣсъ центральной части крана, включая и фундаментную плиту,

Q_0 собственный вѣсъ фундамента.

Изъ уравненія моментовъ относительно оси вращенія E:

$$Q\,(a-c) + G\,(b-c) = G_0 c + Z\,d,$$

опредѣлимъ Z — натяженіе фундаментныхъ болтовъ:

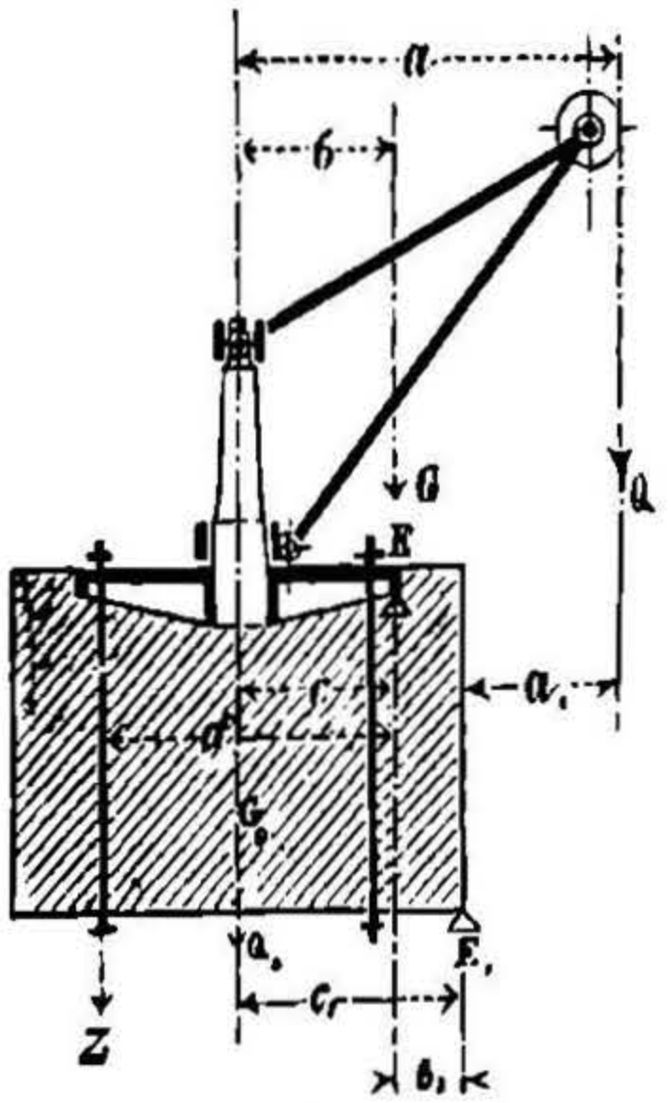
$$Z = \frac{Q\,(a-c) + G\,(b-c) - G_0 c}{d}.$$

Для устойчивости фундамента относительно точки E_1 необходимъ вѣсъ фундамента:

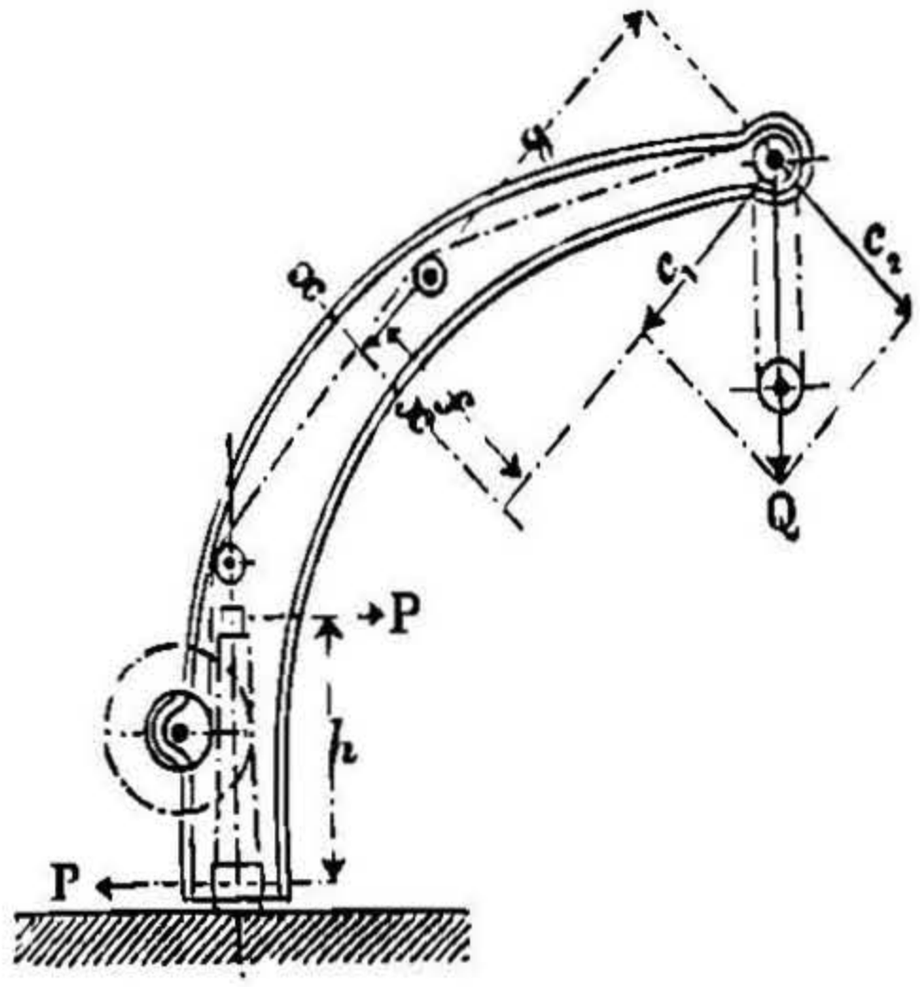
$$Q_0 = \frac{Q\,(a-c_1) + G\,(b-c_1)}{c_1}\,G_0.$$

Въ дѣйствительности вѣсъ фундамента долженъ быть отъ $2\,Q$ до $2{,}5\,Q_0$.

Черт. 523.



Черт. 524.



Конструкція. Стойка чугунная пустотѣлая: $k_b = 400$, большею частью изъ кованной стали $k_b = 800$ kg/qcm. Стрѣла и укосина изъ прокатнаго желѣза. Поперечина соединяется съ подшипни-

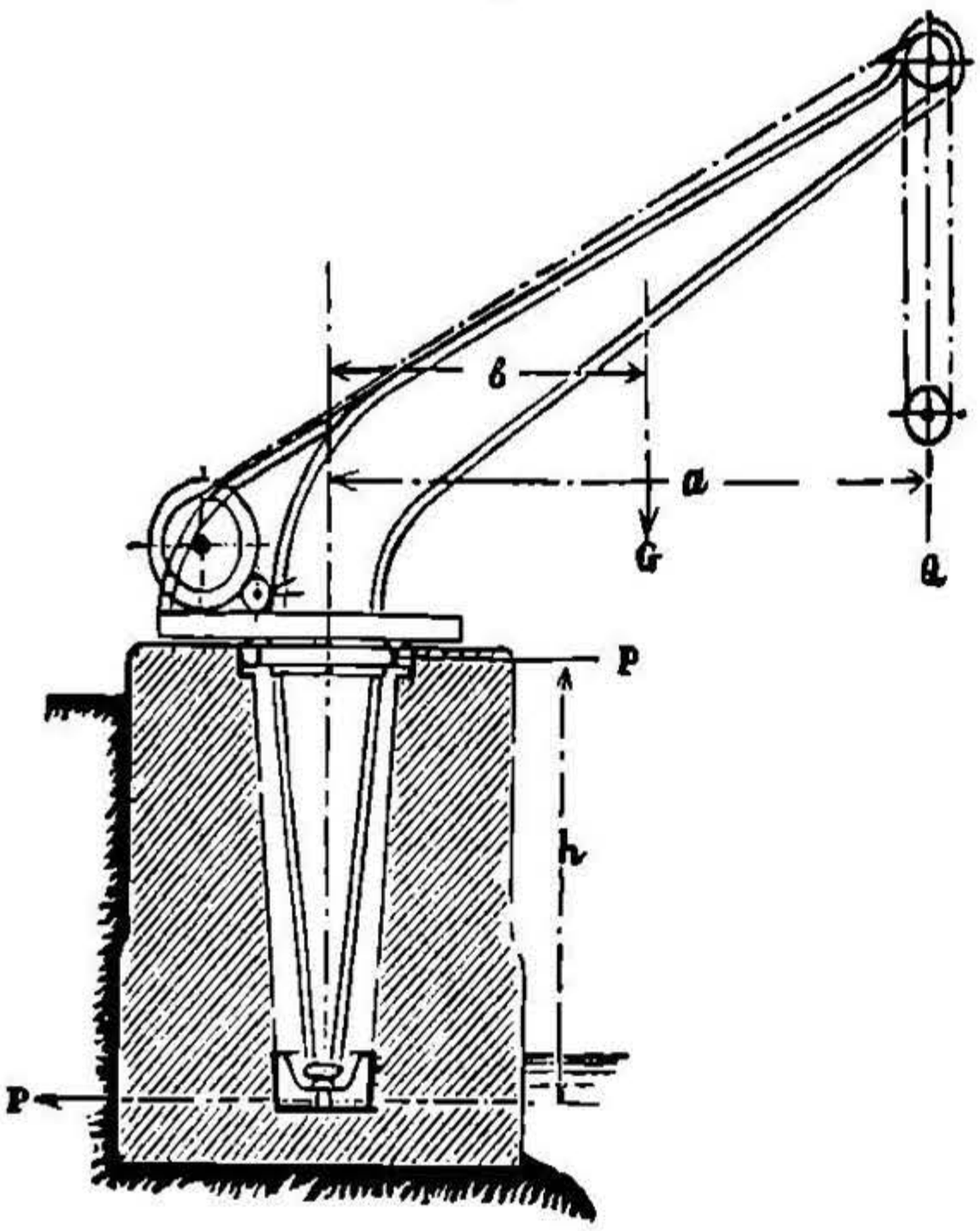
НТБ ДНУЗТ

ками катковъ посредствомъ двухъ чугунныхъ плитъ, поддерживающихъ вмѣстѣ съ тѣмъ и передачу подъемной лебедки, или же посредствомъ двухъ тягъ (черт. 522). Сила, растягивающая каждую тягу

$$Z_1 = {}^1/_2\, T \cos\beta.$$

T опредѣляется по вышеприведенному (см. стр. 648); подъемная лебедка крана поддерживается укосиною, которая составляется изъ двухъ полосъ прокатнаго желѣза.

Черт. 525.

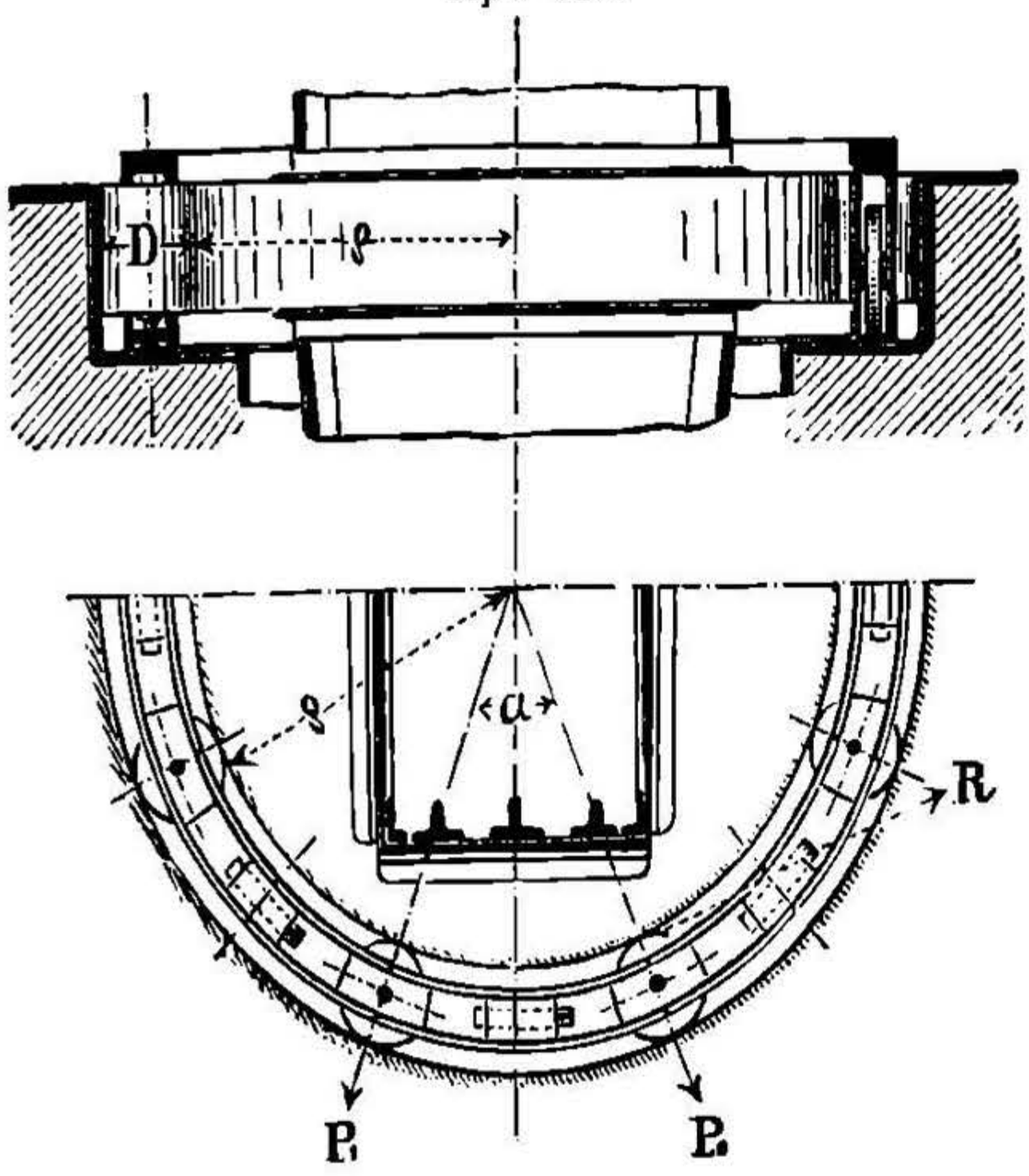


Въ кранахъ, предназначенныхъ для нагрузки судовъ, поѣздовъ и т. д., весьма часто замѣняютъ стрѣлу и укосину изогнутой желѣзной балкой (черт. 524).

Приблизительный разсчетъ нормальнаго поперечнаго сѣченія XX такой балки производится на сложное сопротивленіе сжатію силой C_1 (C_1 и C_2 составляющія силы Q) и изгибу моментомъ $C_1 f + C_2 g$.

При подъемѣ грузовъ свыше 10 тоннъ трудно изготовлять стойки изъ круглаго желѣза; тогда, вмѣсто свободно стоящихъ кранов, устраиваются краны въ шахтахъ.

Черт. 526.



3. Краны въ шахтахъ (сист. Ферберна).

Горизонтальная сила, стремящаяся сдвинуть кранъ (черт. 525):

$$P = Q\frac{a}{h} + G\frac{b}{h}.$$

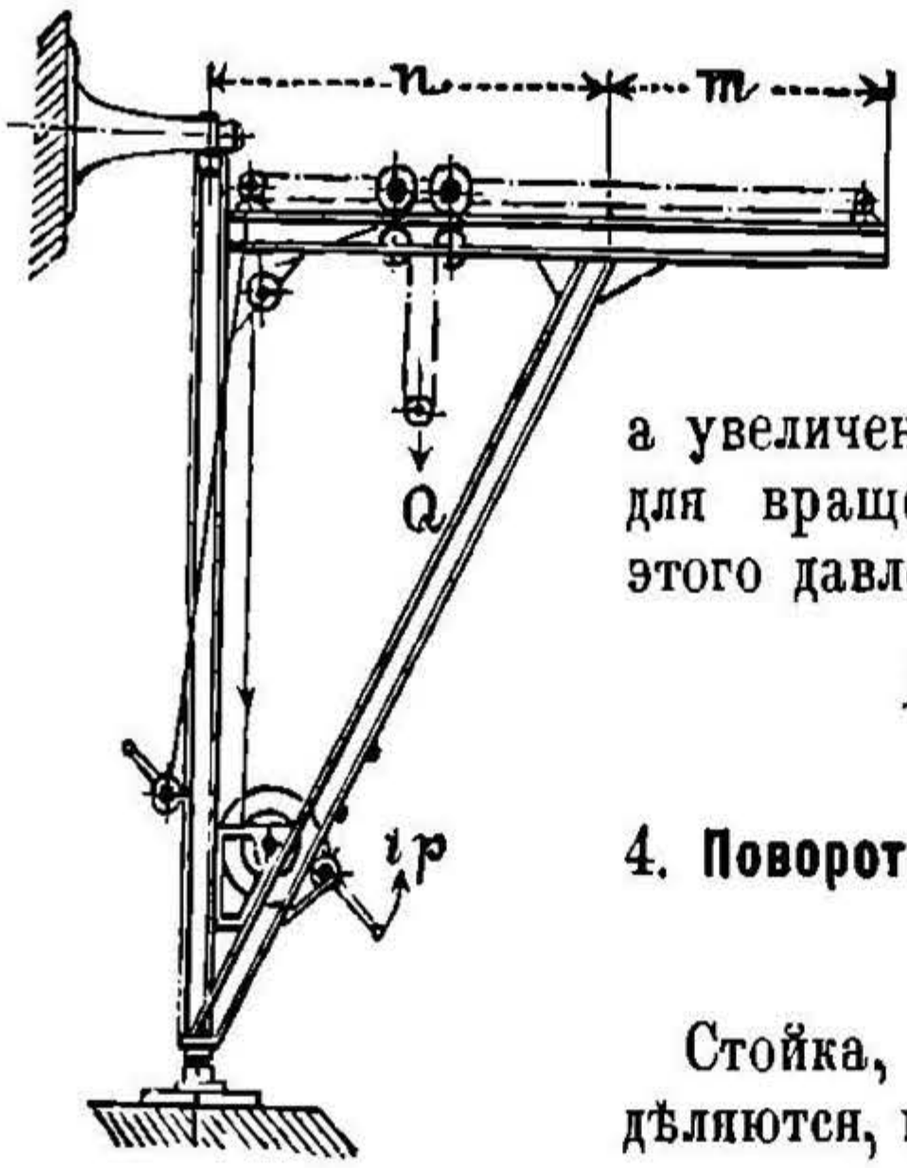
Приблизительный разсчетъ поперечнаго сѣченія балки производится по вышеприведенному. Поперечное сѣченіе тѣла крана въ мѣстѣ расположенія катковъ разсчитывается на сложное сопротивленіе сжимающей си-

НТБ ДНУЗТ

лѣ $Q+G$ и изгибающему моменту $Ph = Qa + Gb$. Обыкновенно $h \sim 0{,}5a$.

Расположеніе катковъ (черт. 526).

Черт. 527.



Полагая, что сжатію подвергаются только 2 катка, имѣемъ давленіе на катокъ:

$$P_1 = \frac{P}{2\cos {}^1/_2\,\alpha},$$

а увеличеніе момента, необходимаго для вращенія крана, отъ дѣйствія этого давленія:

$$M = 4P_1 f \frac{2\rho}{D}.$$

4. Поворотные краны съ телѣжками (черт. 527).

Стойка, цапфа и укосина опредѣдѣляются, какъ выше, по 1., стр. 647.

Поперечина крана разсчитывается на изгибъ моментами Qm и $^1/_4 Q\,n$; при этомъ m достаточно принимать (вопреки черт. 527) до средины телѣжки, продвинутой вправо въ крайнее положеніе.

Усиліе тяги Z для перемѣщенія телѣжки обыкновенно равно $^1/_8$ до $^1/_5$ отъ величины груза.

5. Краны съ качающейся укосиной.

Пусть (черт. 528, стр. 652):

S и S_1 силы, необходимыя для качанія укосины въ началѣ и копцѣ качанія, въ kg,

s и s_1 плечи этихъ силъ относительно оси вращенія укосины, въ cm,

Q грузъ въ kg, плечи его a и a_1 въ cm,

G собственный вѣсъ укосины въ kg, плечи b и b_1 въ cm,

Q_1 усиліе въ грузовой цѣпи въ kg, плечи c и c_1 въ cm;

$$S = \frac{1}{2}\left(Q\frac{a}{s} + G\frac{b}{s} - Q_1\frac{c}{s}\right);$$

имѣемъ:

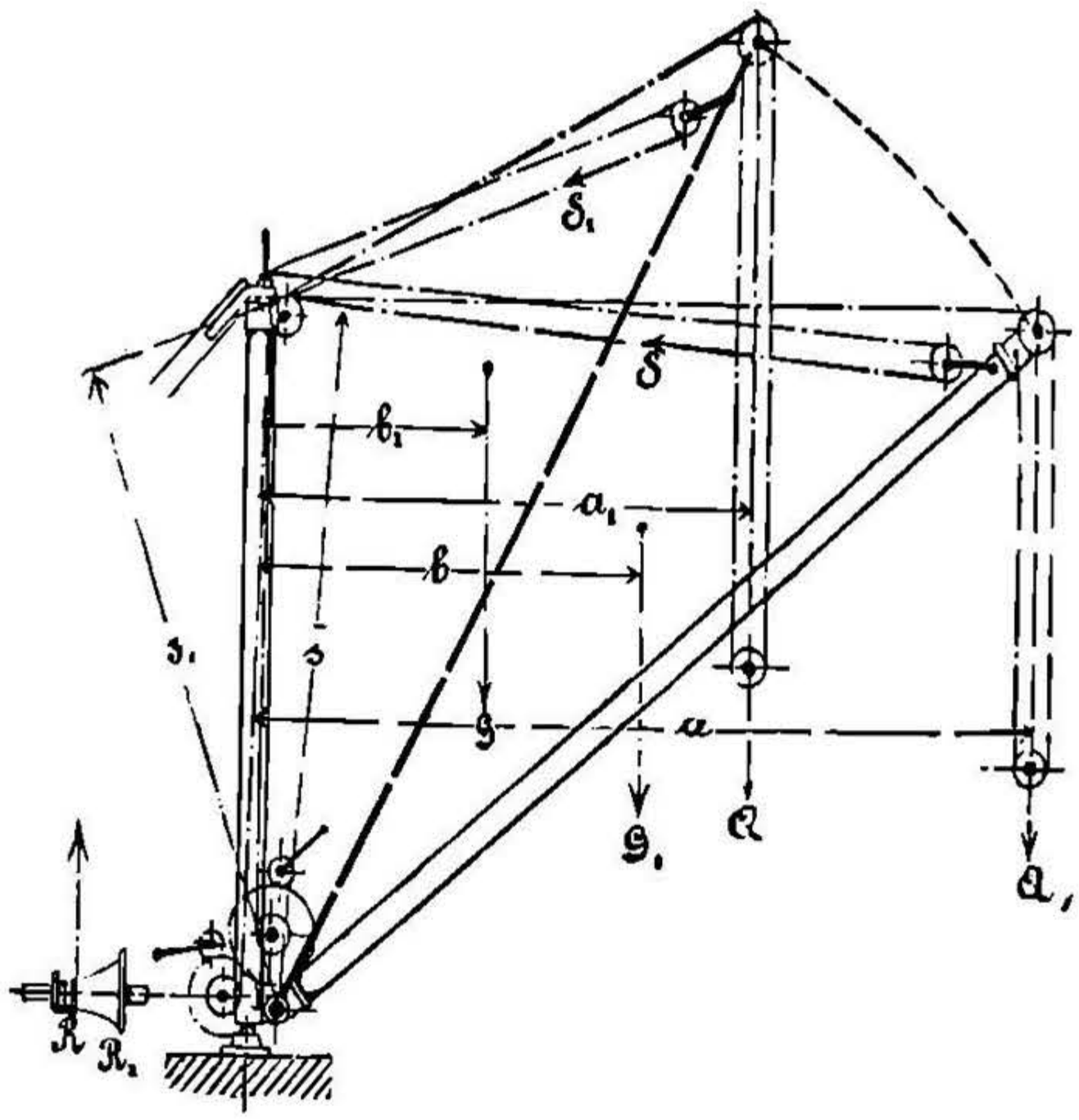
$$S_1 = \frac{1}{2}\left(Q\frac{a_1}{s_1} + G\frac{b_1}{s_1} - Q_1\frac{c_1}{s_1}\right).$$

Барабанъ лебедки, служащей для качанія укосины крана, устроенъ съ уменьшающимися постепенно радіусами, такъ что начальный моментъ равенъ конечному, $SR = S_1R_1$, гдѣ R_1 и R наибольшій

НТБ ДНУЗТ

и наименьшій радіусы барабана (черт. 528). Для измѣненія вылета крана посредствомъ подниманія и опусканія укосины, безъ вращенія крана, примѣняются также:

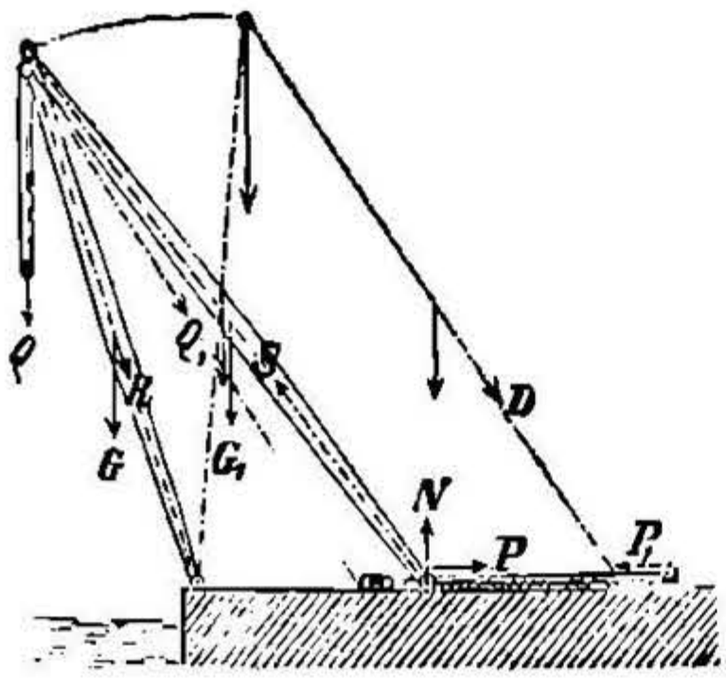
Черт. 528.



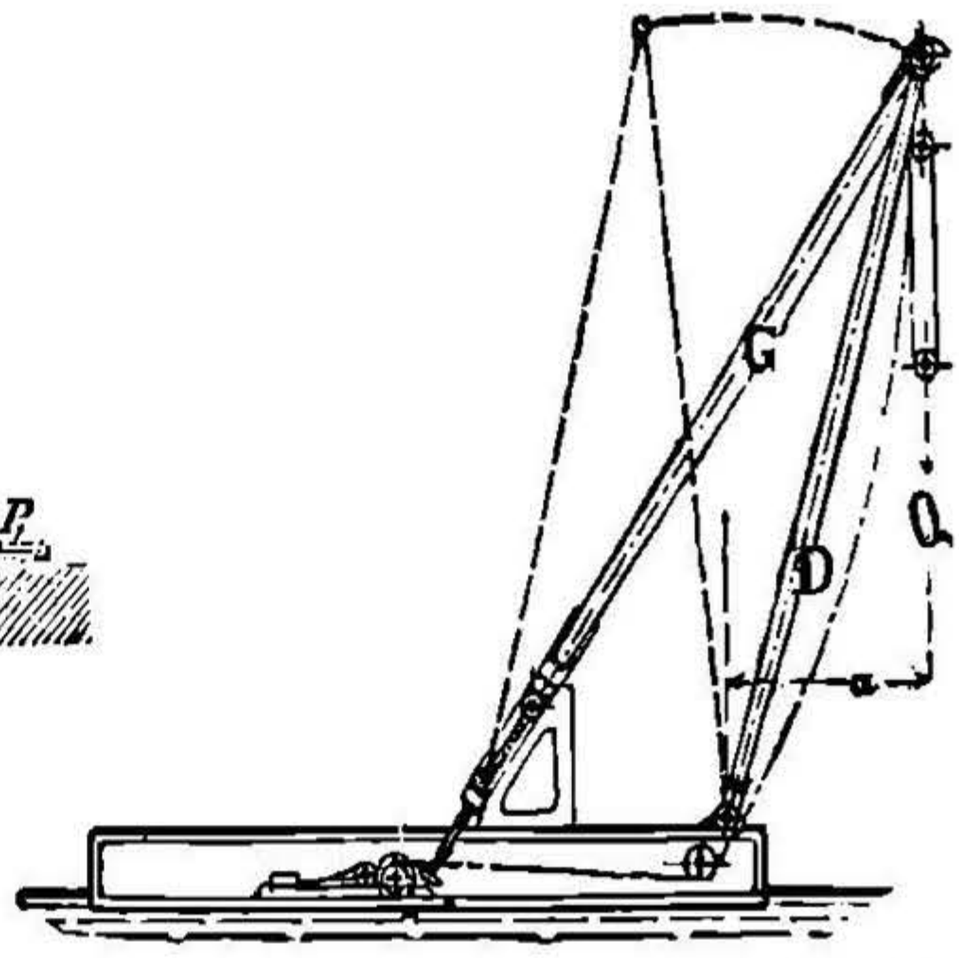
6. Краны съ двойными укосинами.

Краны съ горизонтальнымъ движущимъ винтомъ (черт. 529) требуютъ значительнаго мѣста и большого фундамента.

Черт. 529.



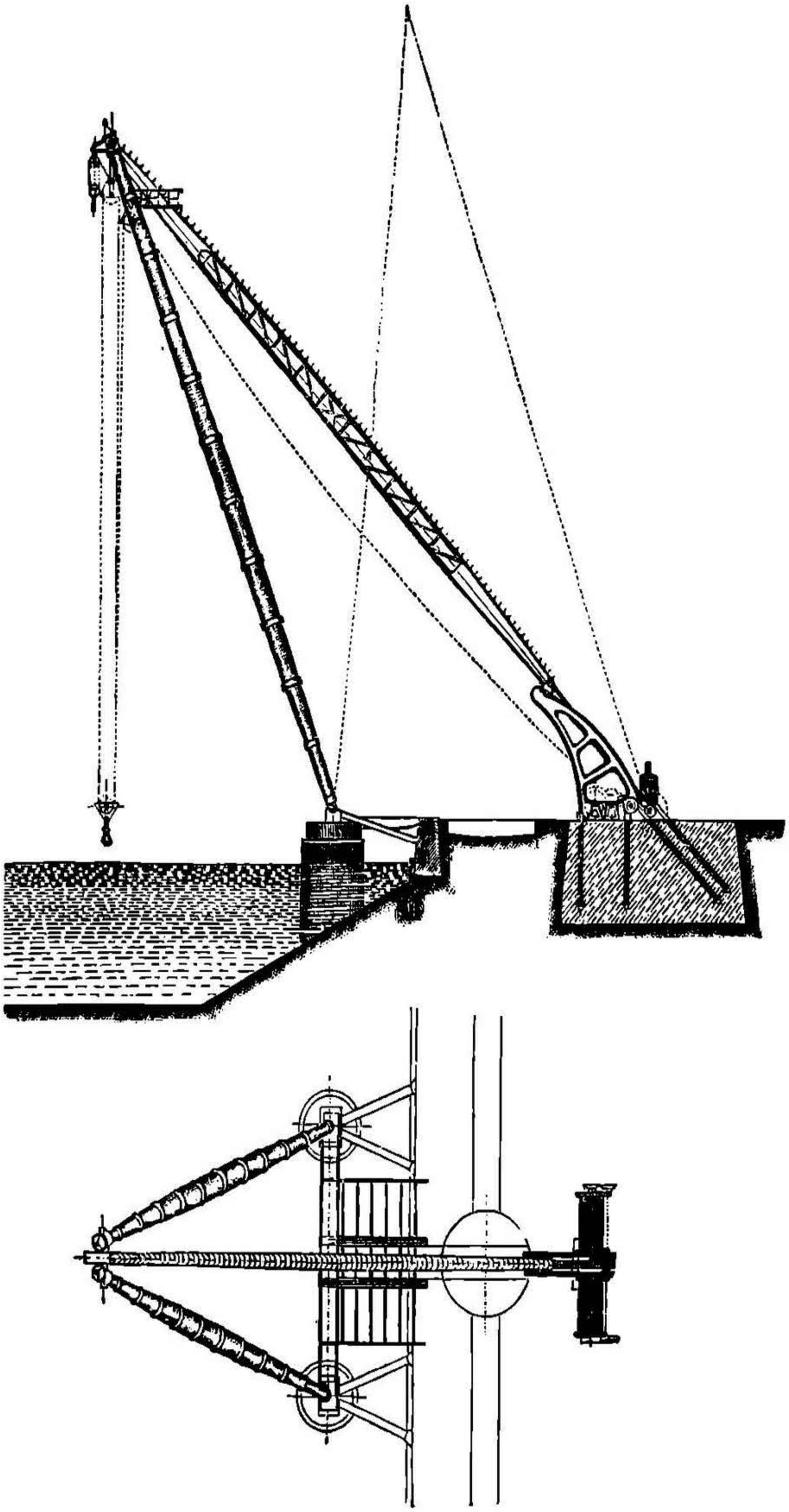
Черт 530.



Если движущій винтъ помѣстить наклонно соотвѣтственно среднему положенію задней укосины (черт. 530), то длина винта получается значительно меньшая. Наиболѣе короткіе винты и наименьшаго мѣста требуетъ конструкція, показанная на черт. 531, при которой винтъ всегда сохраняетъ на-

НТБ ДНУЗТ

Черт. 531.



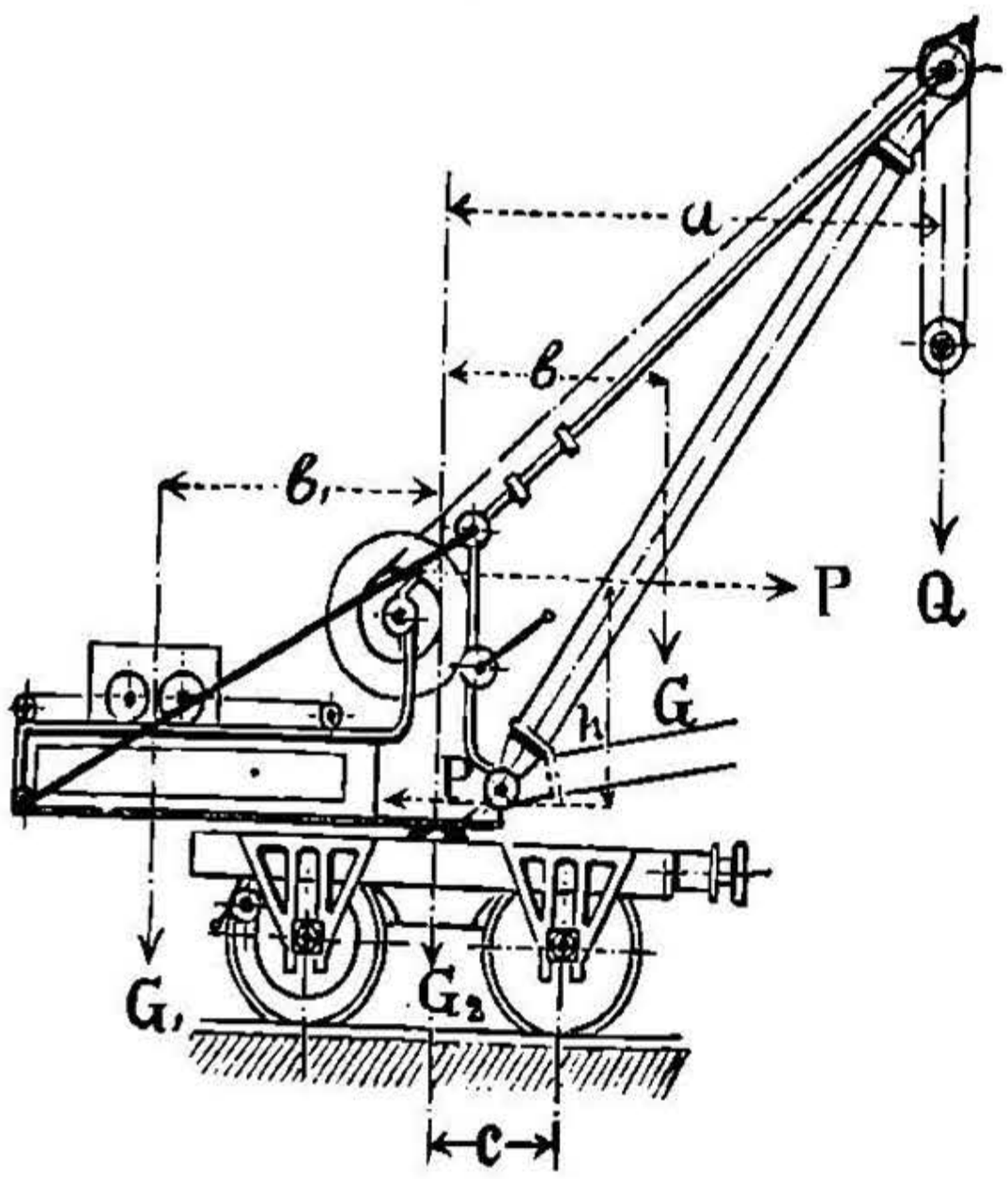
правленіе задней укосины. Для этого требуется кривая напра вляющая и поворотный подшипникъ для винта.

НТБ ДНУЗТ

3. Передвижные краны.

1. Передвижные по двумъ рельсамъ поворотные краны.

Черт. 532.



Для **устойчивости крана** требуется какъ наименьшій допускаемый общій вѣсъ (черт. 532):

$$G+G_0+G_1=Q\frac{a-c}{2c}.$$

Этотъ грузъ долженъ быть такъ распредѣленъ, чтобы и въ ненагруженномъ состоянiи общій центръ тяжести оставался въ промежуткѣ между колесами, т.-е. чтобы.

$$G_1(b_1-c)-G_0c-\\-G(b+c)<0,$$

гдѣ означаютъ:

Q грузъ,

a вылетъ,

G собственный вѣсъ поворотной части,

G_0 собственный вѣсъ платформы, G_1 противовѣсъ, b и b_1 плечи дѣйствiя силъ G и G_1, $2c$ разстоянiе между осями.

Если колея меньше $2c$, то надо ввести её въ уравненiе вмѣсто $2c$.

Желательно имѣть **противовѣсъ** G_1 такой величины, чтобы стойка при нагруженномъ и ненагруженномъ кранѣ подвергалась одинаковому напряженiю:

$$G_1=\frac{Qa}{2b_1}+G\frac{b}{b_1}.$$

Обыкновенно G_1 принимается нѣсколько менѣе (какъ это выходитъ по разсчету на устойчивость, согласно вышеприведенныхъ уравненiй).

Противовѣсъ можетъ быть устраиваемъ передвижнымъ либо отъ руки (уходъ затруднителенъ), либо автоматически отъ дѣйствiя груза.

Въ желѣзнодорожныхъ кранахъ укосина должна быть устроена такъ, чтобы, при освобожденiи тяги, можно было привести ее въ горизонтальное положенiе.

2. Поворотные краны, перемѣщающіеся по одному рельсу.

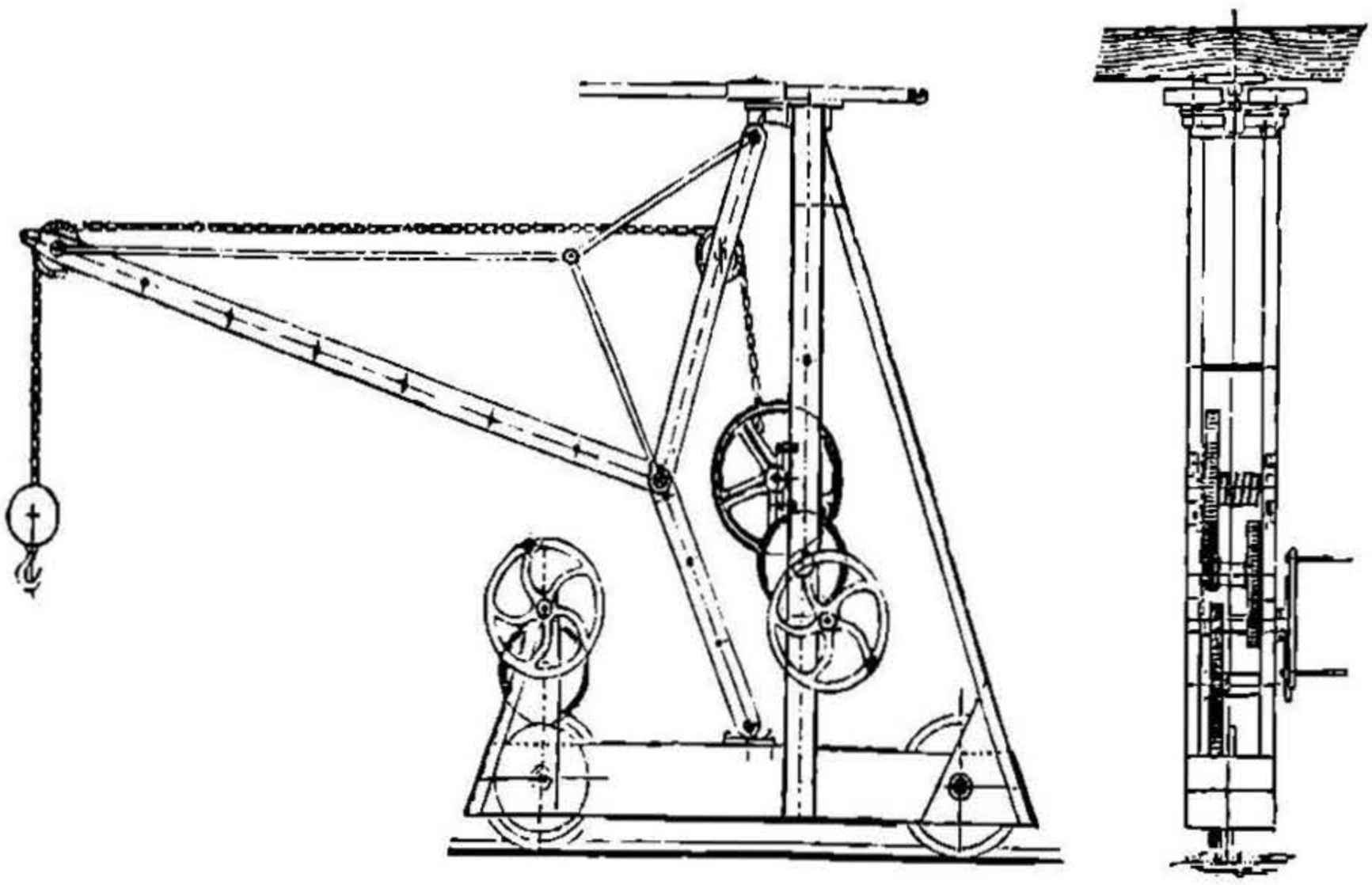
(Велосипедные краны).

Эти краны требуютъ лишь незначительнаго узкаго пространства для своего перемѣщенiя, почему въ мастерскихъ весьма цѣле-

НТБ ДНУЗТ

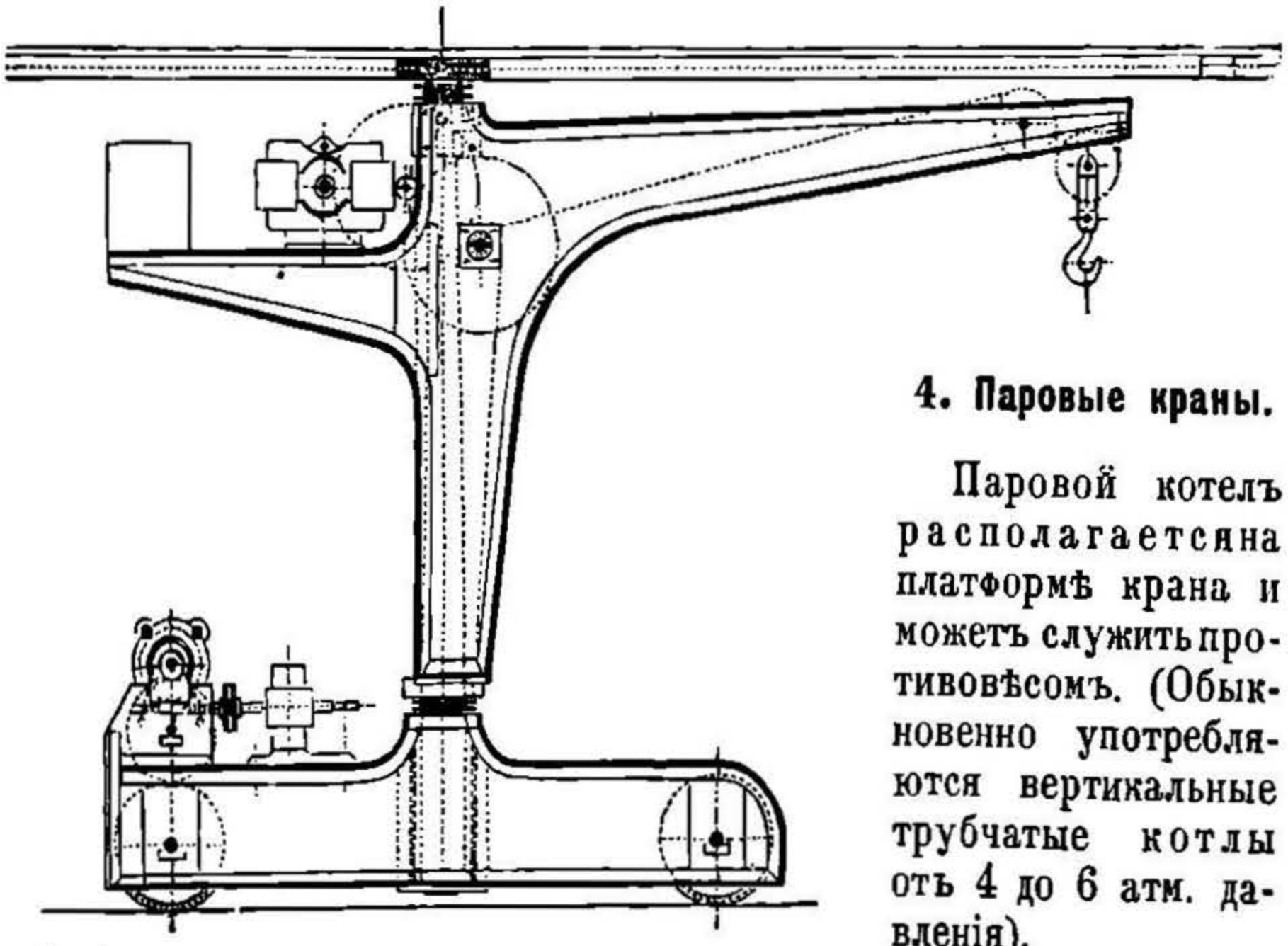
сообразны. Верхнему поясу часто даютъ выгибъ книзу (черт. 533) для того, чтобы укосина могла свободно проходить подъ приводами мастерской. Черт. 533 представляетъ велосипедный кранъ съ руч-

Черт. 533.



ной передачей. Велосипедный кранъ съ электрической передачей и двумя двигателями показанъ на черт. 534.

Черт. 534.



4. Паровые краны.

Паровой котелъ располагаетсяна платформѣ крана и можетъ служить противовѣсомъ. (Обыкновенно употребляются вертикальные трубчатые котлы отъ 4 до 6 атм. давленія).

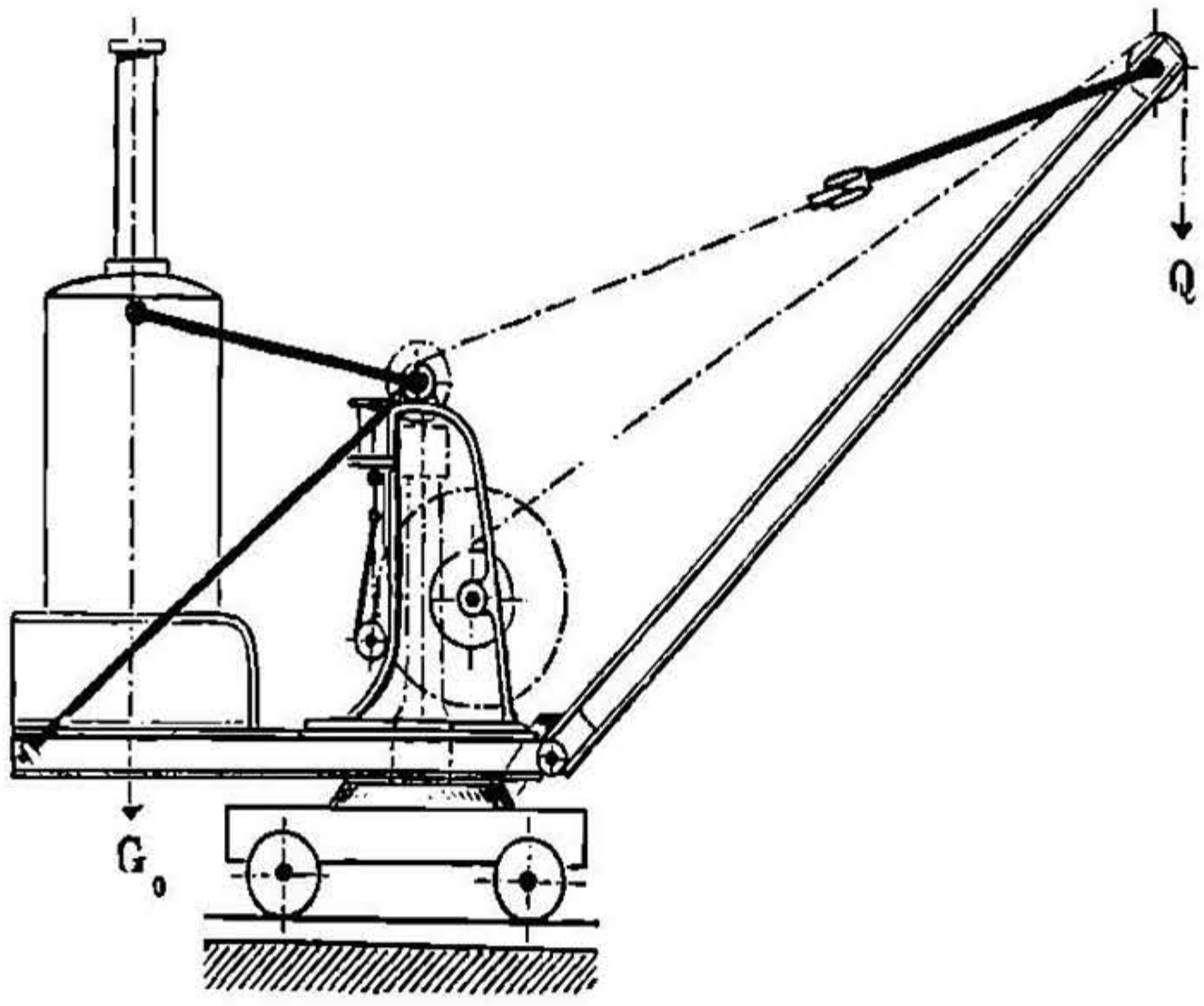
1. **Сдвоенная паровая машина приводитъ въ движеніе колѣнчатый валъ** (число оборотовъ въ минуту $n = 80$ до 150), отъ котораго передается движеніе отдѣльнымъ лебедкамъ крана посредствомъ соединительныхъ (сцѣпныхъ) муфтъ.

НТБ ДНУЗТ

Устройство это примѣняется въ передвижныхъ поворотныхъ кранахъ (черт. 535) главнымъ образомъ, въ рѣчныхъ гаваняхъ, ибо здѣсь особенно желательно механическое передвиженіе крана вслѣдствіе необходимости частыхъ его перестановокъ.

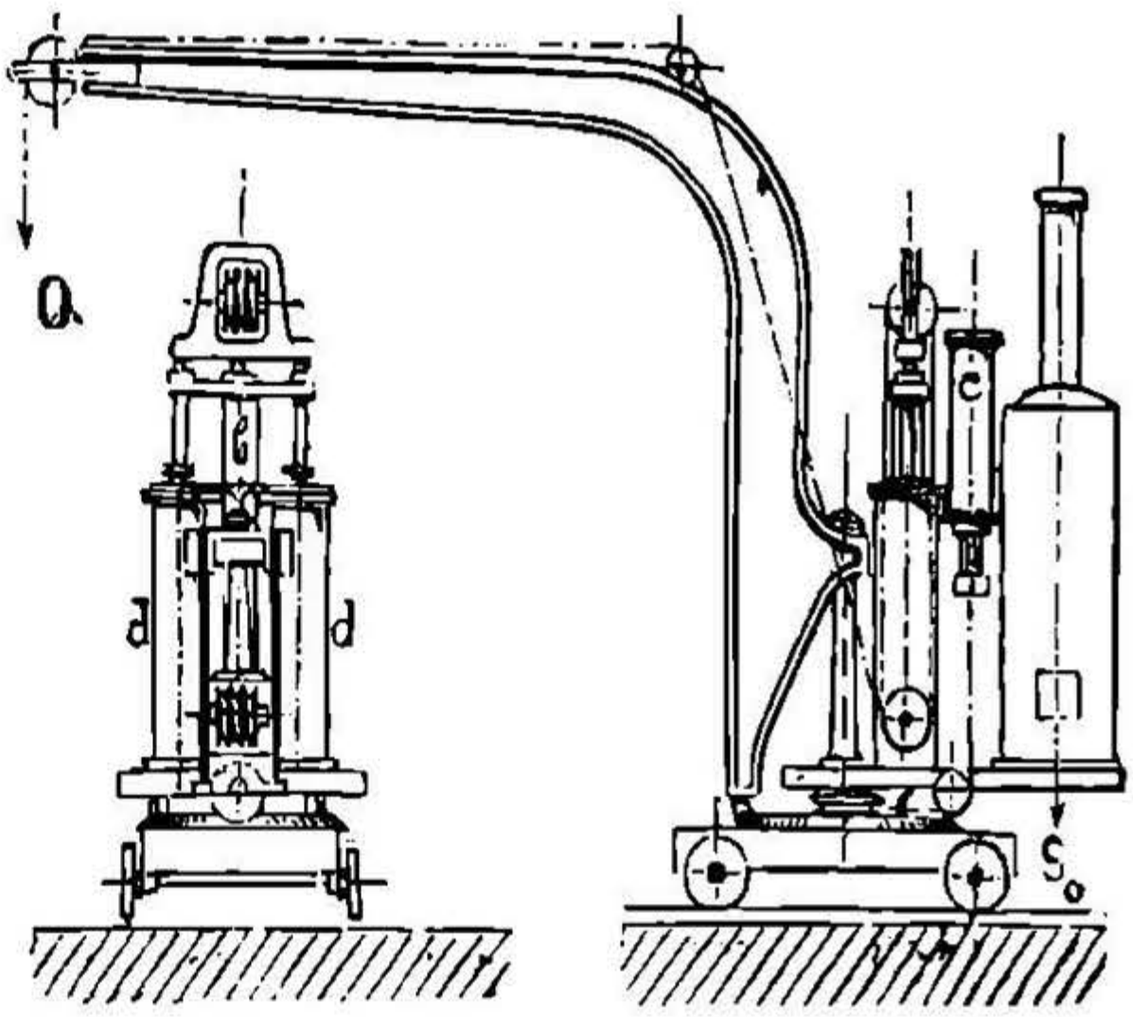
Опусканіе груза только при помощи тормаза.

Черт. 535.



2. Для подъема грузовъ и т. д. употребляются также **подъемныя паровыя машины** прямого дѣйствія (черт. 536), у которыхъ ходъ поршня увеличивается посредствомъ передачи полиспастами. Опусканіе груза достигается уменьшеніемъ отверстія для выхода отработавшаго пара; имѣютъ примѣненіе въ кранахъ, употребляемыхъ въ строительномъ дѣлѣ при весьма значительныхъ скоростяхъ (c=1 до 2 m въ секунду), но для грузовъ не больше 2 тоннъ.

Черт. 536.



Употребительны также краны для нагрузки системы Броуна (черт. 536), съ гидравлическимъ тормазнымъ цилиндромъ b между 2-мя паровыми цилиндрами d, служащими для подъема грузовъ. Опусканіе груза и удерживаніе его на мѣстѣ производится уменьшеніемъ отверстія для прохода воды. Кромѣ того, для поворачиванія крана имѣется паровой цилиндръ c двой-

НТБ ДНУЗТ

ного дѣйствія, вращающій кранъ посредствомъ цѣпи на неподвижномъ блокѣ, помѣщенномъ на колоннѣ крана.

Передвиженіе производится большею частью отъ руки, почему употребляются обыкновенно въ морскихъ портахъ, производя выгрузку изъ одного и того-же люка продолжительное время. Они работаютъ быстрѣе крановъ, указанныхъ въ 1., производя до 30 полныхъ манипуляцій въ часъ. При расходѣ около 17 kg пара въ часъ, одинъ кранъ даетъ въ часъ около 20 000 kg угля изъ одного люка. Поднимаемый грузъ 1500 до 2000 kg, высота подъема до 13 m. Желательно имѣть возможно большую ширину колеи (до 2,5 m).

b. Катучіе краны.

1. Общія данныя.

Катучіе краны примѣняются въ настоящее время, главнымъ образомъ, въ мастерскихъ, ибо они вполнѣ обслуживаютъ всю площадь, подъ ними находящуюся, тогда какъ поворотные краны не утилизируются для угловъ зданій. Для небольшихъ грузовъ или крановъ, употребляемыхъ рѣдко, достаточно имѣть ручную передачу; для болѣе усиленной работы примѣняется машинный приводъ. Употребительны слѣдующія передачи:

1. При помощи пеньковыхъ и хлопчатобумажныхъ канатовъ.
2. При помощи квадратныхъ валовъ или круглыхъ валовъ съ продольными канавками.
3. При помощи электродвигателей.

Краны съ канатнымъ приводомъ въ настоящее время примѣняются рѣдко, валы преимущественно при значительныхъ грузахъ, въ большинствѣ случаевъ примѣняются электродвигатели. При этомъ каждое изъ трехъ перемѣщеній (подъемъ груза, поперечное перемѣщеніе лебедки, продольное перемѣщеніе крана) производится отдѣльнымъ электродвигателемъ, съ приспособленіемъ для перемѣны хода, или всѣ три движенія производятся однимъ электродвигателемъ, вращающимся въ одномъ направленіи, при помощи трехъ зубчатыхъ передачъ съ перемѣной хода, такъ же, какъ и при канатной передачѣ или передачѣ валами.

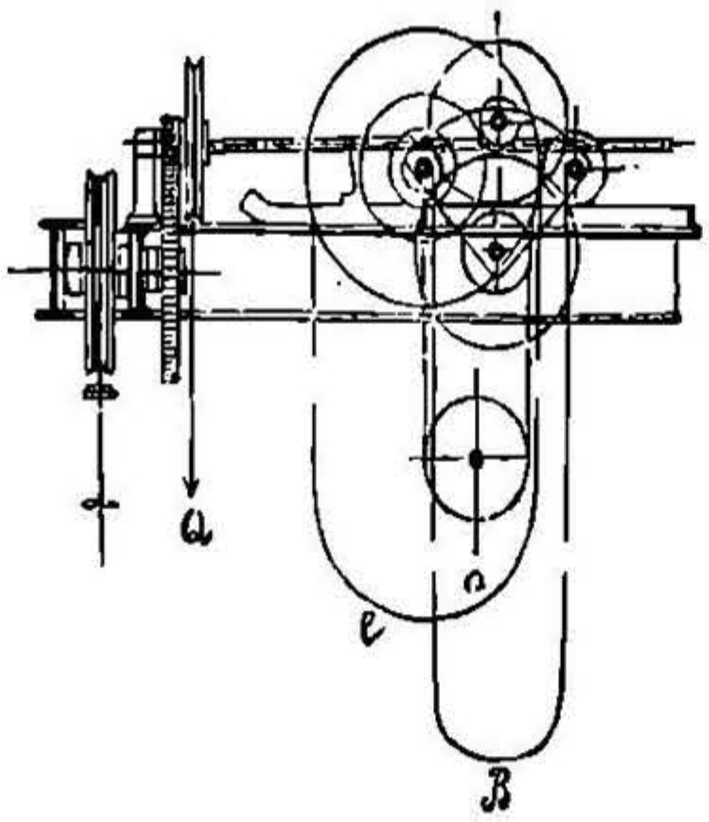
Передача тремя электродвигателями удорожаетъ электрическую часть, удешевляя механическую передачу; въ общемъ, однако, обходится дешевле, чѣмъ передача отъ одного электродвигателя. Колебаніе тока при перемѣнѣ вращенія каждаго отдѣльнаго электродвигателя дѣйствуетъ плохо на сѣть проводовъ, вызывая миганіе свѣта въ лампахъ; живая сила быстро вращающагося якоря мѣшаетъ быстрой остановкѣ и затрудняетъ правильную манипуляцію.

У крановъ съ однимъ электродвигателемъ послѣдній устанавливается либо сбоку, либо посрединѣ балки, или же на лебедкѣ. Наиболѣе распространены краны съ однимъ электродвигателемъ, рас-

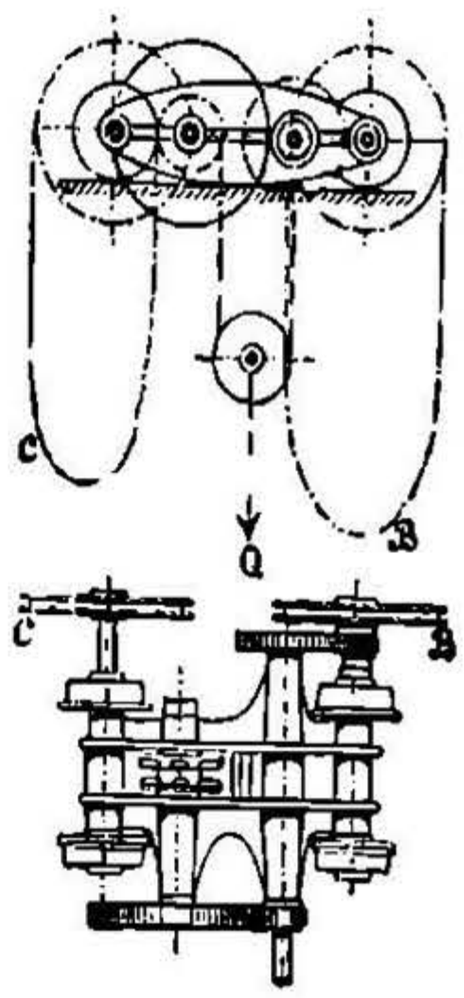
НТБ ДНУЗТ

положеннымъ сбоку *). Въ виду сильнаго износа передаточнаго зуб-

Черт. 537.

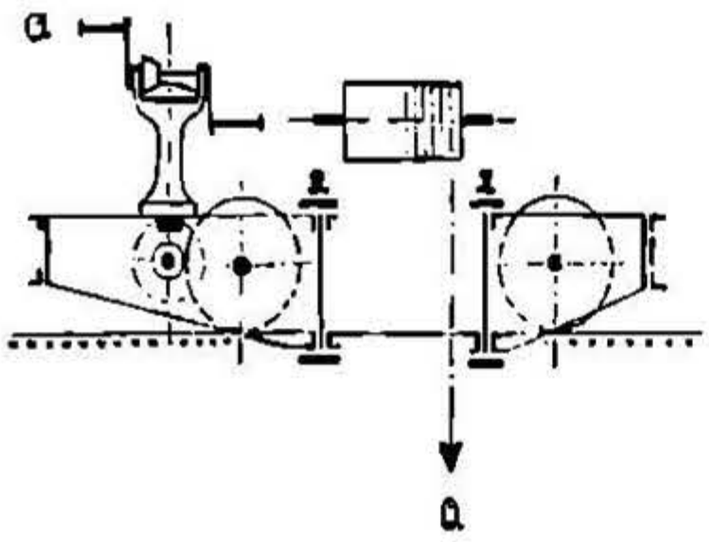


Черт. 538.

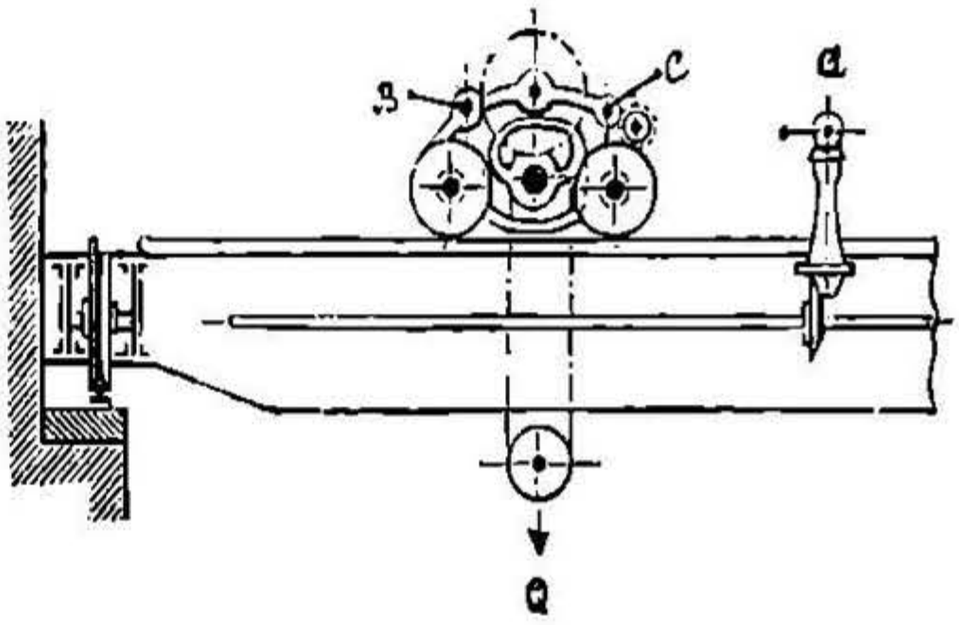


чатаго механизма, нѣкоторые заводы переходятъ на конструкцію съ тремя электродвигателями.

Черт. 539.



Черт. 540.



2. Катучіе краны ручные.

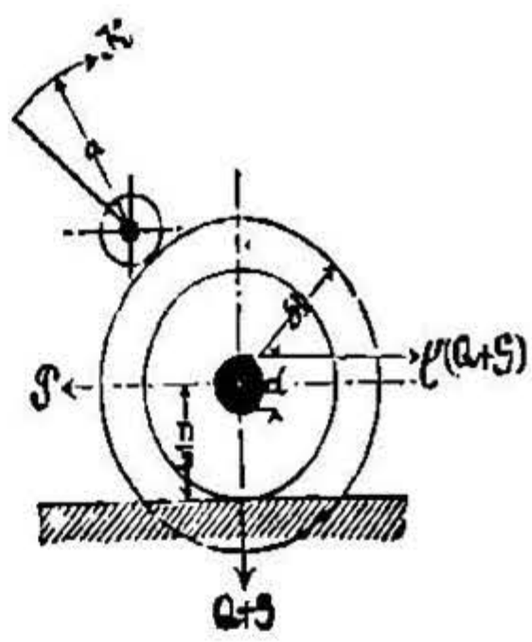
Разсчетъ лебедки производится по вышеупомянутому.

Моментъ для вращенія колеса при перемѣщеніи всего крана получается изъ выраженія:

$$M = (Q+G)\left(\mu_1 \frac{d}{2} + f\right),$$ гдѣ:

Q поднимаемый грузъ, G общій собственный вѣсъ крана; $\mu_1 = 0{,}1$; $f = 0{,}05$ cm.

Черт. 541.



Зубчатая передача для передвиженія крана ($\eta = 0{,}9$):

$$\frac{R}{r} = \frac{M}{0{,}9\,Ka}.$$

Конструкція крана. Балки крана имѣютъ приспособленіе A (черт. 537, 539 и 540) для поперечнаго перемѣщенія всего крана, по которому перемѣщается лебедка. Кранъ приводится въ дѣйствіе сни-

*) См. также Chr. Eberle, Elektrisch betriebene Krane, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 1 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

зу посредствомъ безконечныхъ цѣпей (черт. 537 и 538), или же всѣ части крана приводятся въ движеніе сверху отъ передвижныхъ телѣжекъ (черт. 539 и 540). При этомъ *B*—передача для подъема груза, *C*—для поперечнаго перемѣщенія лебедки.

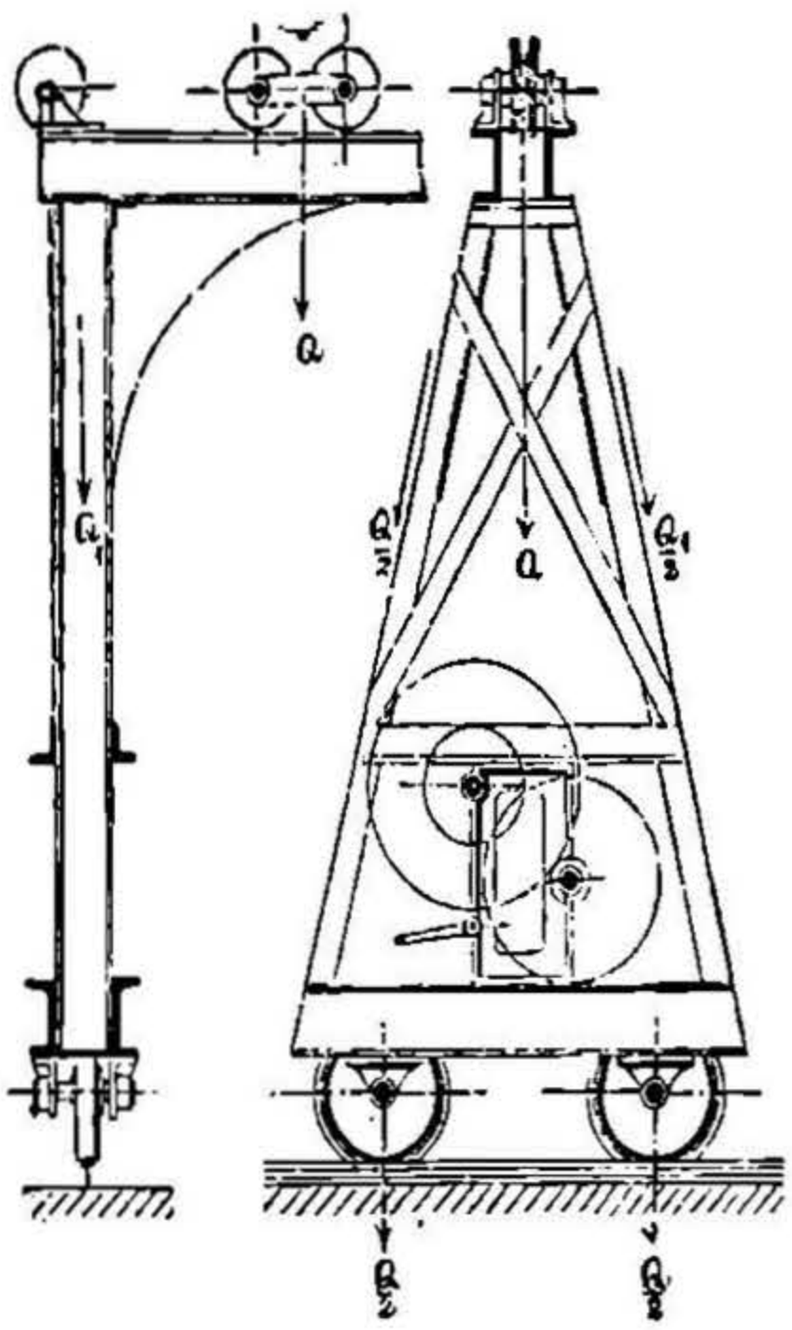
Если лебедка приводится въ движеніе снизу, то она должна быть самотормазящей или же снабжена тормазомъ, работающимъ подъ дѣйствіемъ поднимаемаго груза (напр., тормазъ Беккера, стр. 641); въ такомъ случаѣ опусканіе груза происходитъ, если тянуть за ручную цѣпь въ сторону, противоположную, чѣмъ при подъемѣ груза.

Разсчетъ балокъ. Каждая изъ двухъ балокъ разсчитывается на нагрузку 0,5 Q или $\sim$ 0,8 Q, для того случая, когда грузъ (при катучихъ телѣжкахъ съ барабанами), вслѣдствіе навиванія каната на барабанъ, приближается къ одной изъ балокъ крана.

На заводскихъ дворахъ, желѣзныхъ дорогахъ, гдѣ крановой рельсъ не можетъ быть укрѣпленъ въ стѣнѣ, пользуются **передвижными козлами.**

Укосина разсчитывается на сжатіе силой 0,5 Q_1, въ предположеніи, что полный грузъ Q дѣйствуетъ на конецъ козла. Колеса телѣжки, ея оси и верхнее строеніе должны быть разсчитаны въ томъ предположеніи, что вся нагрузка крана Q расположена съ одной его стороны. При заданной прочности верхняго строенія нагрузка должна быть распредѣлена на большее число колесъ.

Черт. 542.



3. Катучіе краны съ канатнымъ приводомъ.

1. Въ кранахъ старинной конструкціи скорость каната хлопчатобумажнаго **весьма значительна** (v = 25 до 30 m въ сек.), приводные шкивы малы (300 до 400 mm діаметромъ) при значительномъ числѣ оборотовъ (1000 до 2000 въ минуту). Общее передаточное число при подъемѣ грузовъ дѣлается до 1 : 3000; передача производится посредствомъ безконечныхъ винтовъ (червяковъ) и зубчатыхъ колесъ. Вслѣдствіе значительнаго числа передачъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta < 0{,}25$.

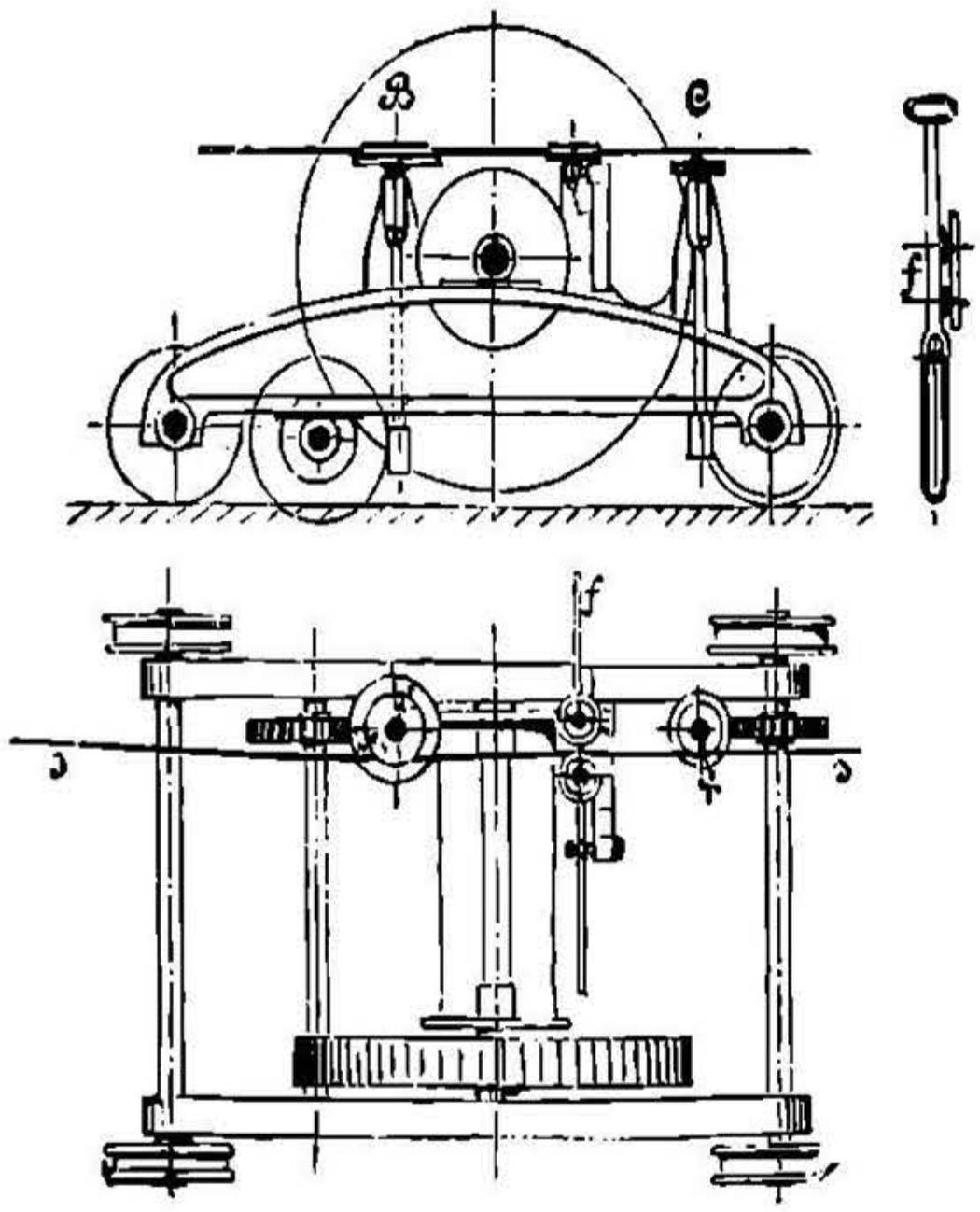
Канатная передача производится:

1) посредствомъ свободно движущагося каната s (черт. 543), который по желанію можетъ быть, посредствомъ направляющей части f, прижатъ къ движущимъ роликамъ r, r_1, r_2. Перемѣна движенія производится нажатіемъ каната на про-

НТБ ДНУЗТ

тивоположныя стороны ведущихъ роликовъ; скорость груза измѣняется въ зависимости отъ величины радіусовъ r_1 и r_2 ведущихъ роликовъ. Вслѣдствіе сильнаго отклоненія канатовъ, допускаются только хлопчатобумажные канаты, толщиною менѣе 12 mm при напряженіи < 15 kg/qcm. Разсчетъ канатовъ см. стр. 487 и 488.

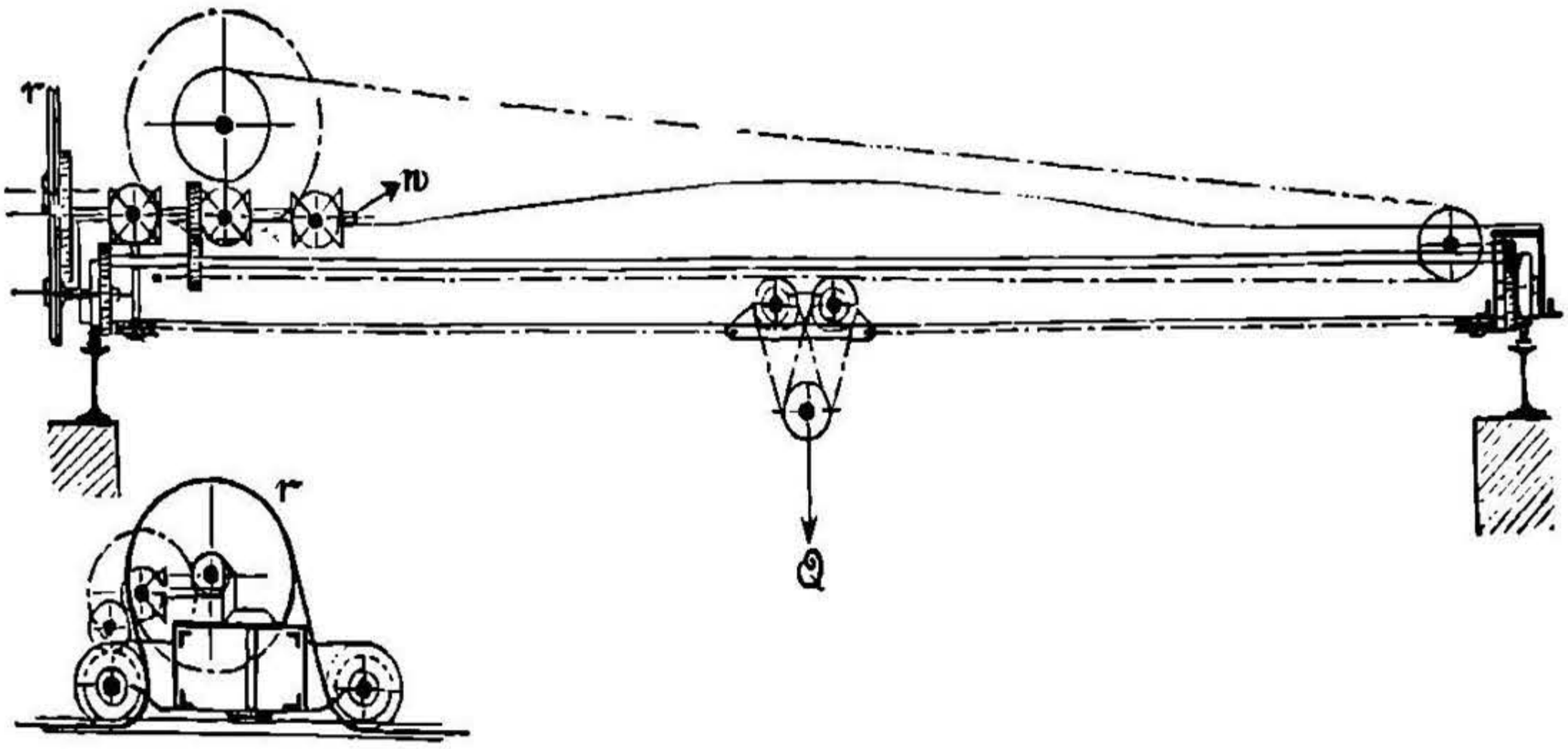
Черт. 543.



2) Канатная передача производится также посредствомъ постоянно вращающихся канатныхъ шкивовъ и валовъ съ фрикціонными соединеніями.

2. Въ кранахъ новѣйшей конструкціи (черт. 544) скорость каната (пенькового или хлопчатобумажнаго) значительно меньше ($v = 8$ до 12 m въ секунду); передаточные (движущіе) шкивы больше (діаметръ 0,8 до 1 m) и зубчатая передача на одномъ валу w ($n = 80$ до 180 въ минуту); дальнѣйшая передача движенія отдѣльнымъ частямъ крана производится посредствомъ фрикціонныхъ соединеній безъ винтовыхъ колесъ. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta =$ до 0,4.

Черт. 544.



Скорость поднимаемаго груза $c = 0{,}5$ до 1 m въ минуту (для грузовъ большихъ 10 тоннъ); при подъемѣ же и опусканіи меньшихъ грузовъ $c = 1{,}5$ до 2,5 m въ минуту. Перемѣщеніе крана или телѣжки со скоростью $c' = 2{,}5$ до 10 m въ минуту.

НТБ ДНУЗТ

Напряженіе каната на ведущемъ шкивѣ: $T > \frac{e^{\mu_0 \alpha}}{e^{\mu_0 \alpha} - 1} P$,

гдѣ P касательная сила, необходимая на окружности ведущаго шкива (см. стр. 234); въ повѣйшихъ конструкціяхъ, по черт. 544, дуга, обхватываемая канатомъ $\alpha = \pi$, $\mu_0 = 0{,}2$ до $0{,}4$ въ случаѣ защемленія каната въ клипообразномъ желобѣ ведущаго шкива, и тогда:

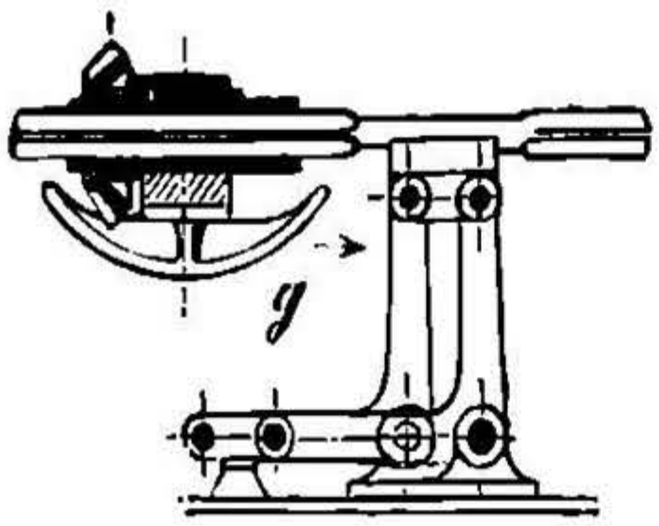
$$T > 2{,}2\,P \quad \text{до} \quad T > 1{,}4\,P.$$

Натяженіе каната подвижными грузами $= 1{,}5\,T$. Допускаемое напряженіе каната 15 до 20 kg/qcm. Діаметръ канатнаго шкива > 30 разъ взятой толщины каната. Направляющія для канатовъ располагаются въ разстояніи 4 до 5 m.

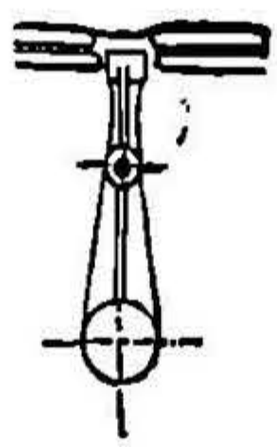
4. Катучіе краны съ передачей движенія посредствомъ валовъ.

Ведущій валъ, дѣлающій отъ 80 до 120 оборотовъ въ минуту, четырехгранный съ обточенными шейками (цапфами). Опоры валовъ располагаются на разстояніяхъ 3 m. Употребляются подшипники, вращающіеся (на маятникѣ) около горизонтальной оси (черт. 546), или двойные подшипники (черт. 545), отклоняющіеся въ сторону посредствомъ тяги g на движущемъ колесѣ и возвращающіеся въ

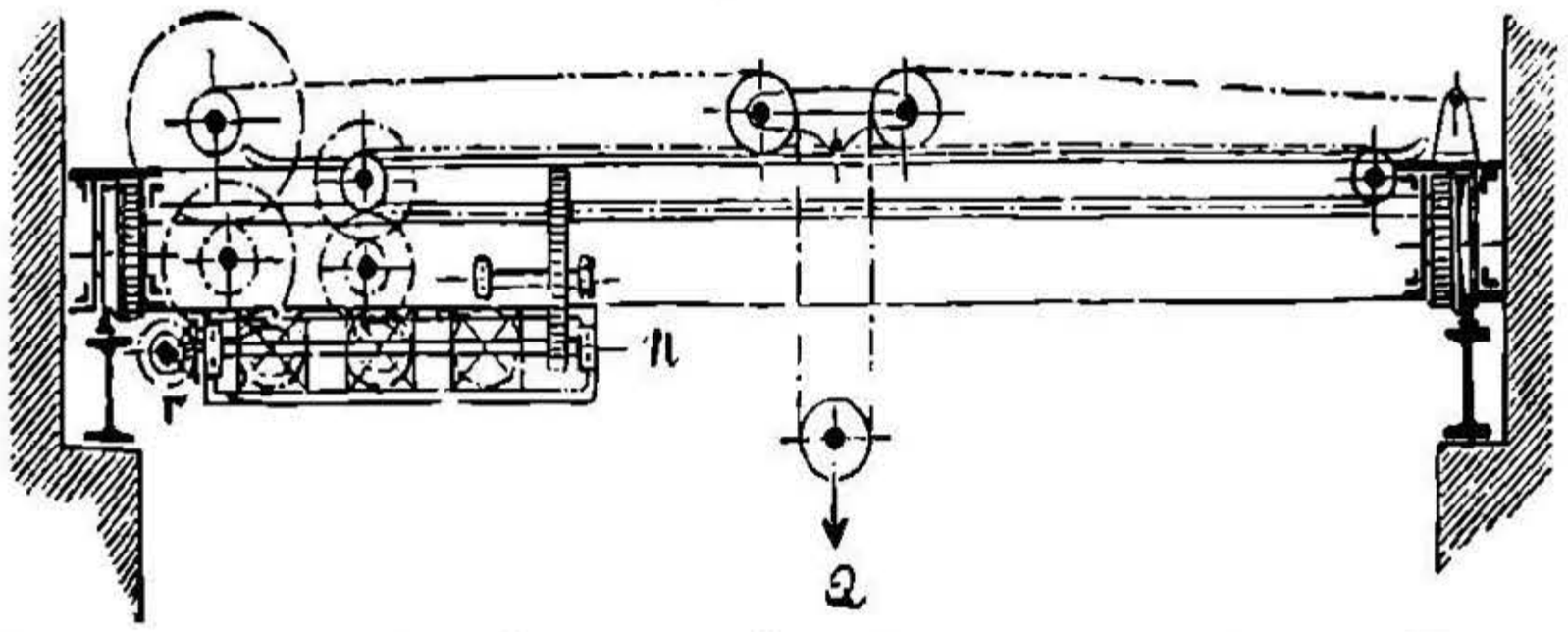
Черт. 545.



Черт. 546.



Черт. 547.



первоначальное положеніе подъ дѣйствіемъ противовѣсовъ. Передача движенія отъ ведущаго колеса r валу W (черт. 547) производится столькими фрикціонными соединеніями, сколько отдѣльныхъ движеній должно быть предаваемо отдѣльнымъ лебедкамъ. Общій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta = 0{,}4$ до $0{,}5$.

НТБ ДНУЗТ

III. ГИДРАВЛИЧЕСКІЯ ПОДЪЕМНЫЯ МАШИНЫ *).

(Подъемники см. стр. 672),

A. Ручной приводъ.

При употребленіи небольшихъ нагнетательныхъ насосовъ только въ переносныхъ **гидравлическихъ домкратахъ**. Движущая сила:

$$P = \frac{b}{a}\,\frac{d^2}{D^2}\,\frac{Q}{\eta}\ (\text{въ kg}),\ \text{гдѣ}$$

a и b плечи рычага со стороны рабочаго и со стороны поршня насоса, въ cm,

d и D діаметры поршня насоса и поршня, поднимающаго грузъ, въ cm,

Q поднимаемый грузъ въ kg,

η коэффиціентъ полезнаго дѣйствія.

При непродолжительной работѣ P доходитъ до 50 kg, въ случаѣ значительной передачи: $d \geqq 2$ cm, $b \geqq 3$ cm, $a \geqq 50$ cm, $\eta = 0{,}75$. Грузъ, поднимаемый гидравлическими домкратами, отъ 30000 до 60000 kg, при 25 до 30 cm высоты подъема.

B. Машинный приводъ.

a. Напорные резервуары.

Они располагаются въ чердачномъ помѣщеніи; напоръ = 15 до 20 m. Напорные резервуары употребляются для небольшихъ кранов и въ тѣхъ случаяхъ, когда вода берется изъ **городскихъ водопроводовъ**. При быстромъ отпираніи или запираніи главной магистральной трубы въ городской сѣти (при отсутствіи напорныхъ резервуаровъ) были бы значительныя колебанія напоровъ и удары. Объемъ баковъ долженъ быть по возможности великъ.

b. Аккумуляторы.

Аккумуляторами достигается значительное давленіе воды (отъ 40 до 50 атм., исполнено до 70 атм.) и небольшой расходъ воды при небольшихъ размѣрахъ трубопроводовъ и подъемныхъ машинъ; гидравлическія сопротивленія увеличиваются незначительно, болѣе значительныя сопротивленія отъ тренія въ движущихся частяхъ, сальникахъ и т. п. уменьшаются. Большее или меньшее давленіе обусловливается тѣми затрудненіями, которыя встрѣчаются при набивкѣ сальниковъ.

1. Аккумуляторы

располагаются по возможности ближе къ нагнетательнымъ насосамъ. При длинныхъ трубопроводахъ (болѣе 4000 m) на отвѣт-

*) По А. Эристу и А. Ридлеру.

НТБ ДНУЗТ

вленіяхъ трубъ, удаленныхъ отъ главной трубы, располагаются **вспомогательные аккумуляторы**, которые нагружаются слабѣе главныхъ аккумуляторовъ, съ тѣмъ, чтобы они раньше поднимались и имѣли колебанія лишь при сильныхъ измѣненіяхъ давленія.

Объемъ воды: $V \geqq$ суммѣ количества воды, наполняющаго всѣ цилиндры подъемныхъ машинъ, работающихъ одновременно. Полагая, что скорость опусканія и подъема груза равны между собою и что, даже въ случаѣ усиленной работы, нерабочее время подъемныхъ машинъ болѣе рабочаго, достаточно принимать $V = 0{,}33$ количества воды, соотвѣтствующаго одному наполненію цилиндровъ всѣхъ подъемныхъ машинъ; для небольшихъ сооруженій V принимается нѣсколько больше, съ цѣлью уменьшить размѣры насосовъ.

Разсчетъ. Даны: объемъ воды V, требуемое рабочее давленіе воды въ атм. p. Для большихъ сооруженій принимается діаметръ ныряла D до 60 cm, а высота подъема $H = 6$ до 9 m; вѣсъ или нагрузка на ныряло принимается:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} p.$$

Величина p должна быть соотвѣтственно увеличена или уменьшена на величину тренія (см. стр. 219, 220 и 531) при подъемѣ или опусканіи, почему треніе должно быть по возможности уменьшено. Набивка сальниковъ дѣлается посредствомъ колецъ хлопчатобумажной плетенки квадратнаго сѣченія; концы каждаго кольца плетенки кладутся въ притыкъ, стыки—въ перевязку (большею частью 5 колецъ, см. стр. 531).

Конструкція. Нагрузка аккумулятора производится посредствомъ желѣзныхъ плитъ на головѣ ныряла или подвѣской сосудовъ, наполненныхъ камнями (1 cbm камней вѣситъ 1600 до 2000 kg) или ломомъ желѣза (1 cbm вѣситъ 4000 kg); также выводятъ кирпичную кладку, неразрывно связанную съ доской якорями. Устраивая аккумуляторъ съ неподвижнымъ поршнемъ и движущимся цилиндромъ, можно достигнуть меньшей высоты сооруженія, но это устройство неудобно вслѣдствіе висячихъ и труднѣе доступныхъ сальниковъ. Въ серьезныхъ сооруженіяхъ употребляются неподвижные цилиндры. Водяные цилиндры составляются изъ звеньевъ, соединенныхъ фланцами на болтахъ. Ныряло дѣлается составнымъ изъ нѣсколькихъ частей; части соединяются заточкою и уплотняются кольцами изъ красной мѣди.

Арматура. Для предохраненія аккумулятора отъ слишкомъ высокаго подъема служитъ особый кулакъ, соединяющійся съ рычагомъ, автоматически останавливающимъ дѣйствіе нагнетательнаго насоса. Кромѣ того, имѣется при каждомъ аккумуляторѣ предохранительный клапанъ, а при группахъ аккумуляторовъ устраиваются отдѣльные запоры для каждаго аккумулятора.

Для предохраненія аккумулятора отъ паденія при лопаніи нагнетательной трубы устанавливается обратный клапанъ, который

НТБ ДНУЗТ

закрывастся въ то время, когда въ трубопроводѣ почему-либо уменьшается нормальное давленіе вслѣдствіе излома трубы *).

Если на данной сѣти трубъ расположено нѣсколько аккумуляторовъ, то остановка дѣйствія насоса производится только отъ одного аккумулятора. Остальные нагружены слабѣе, почему опускаются позднѣе, поднимаются раньше, ходъ ихъ ограничивается висящимъ надъ ними тяжелымъ кольцомъ.

2. Нагнетательные насосы.

Обозначимъ черезъ:

p рабочее давленіе воды передъ подъемными машинами въ атм.,

Q_{max} наибольшій, безпрерывно продолжающійся, расходъ воды всѣхъ подъемныхъ машинъ, въ $c\overline{b}m$ въ часъ,

η коэффиціентъ полезнаго дѣйствія нагнетательной трубы;

тогда производительность насоса (полагая, что 10% воды теряется безполезно):

$$N = 1{,}1\,\frac{1000\;Q_{max}\;10\,p}{60.60.75\,\eta} = \frac{11\;Q_{max}\;p}{270\,\eta}\text{ лош. силъ.}$$

По этимъ даннымъ разсчитывается **паровой котелъ**. Въ виду сильно колеблющагося (измѣняющагося) расхода пара, площадь уровня воды въ котлѣ (зеркало испаренія) должна быть значительна.

Паровыя машины лучше всего сдвоенныя. Аккумуляторъ соединенъ съ машиной самодѣйствующимъ приборомъ (система рычаговъ), посредствомъ котораго, при наивысшемъ положеніи аккумулятора, прекращается притокъ пара къ машинѣ, и въ то же время открываются продувательные краны парового цилиндра, и наоборотъ,— при опусканіи аккумулятора машина снова приводится въ движеніе. Кромѣ того, устраивается спеціальное приспособленіе, посредствомъ котораго расширительный золотникъ передъ новымъ пусканіемъ машины въ ходъ можетъ быть установленъ на полное наполненіе цилиндра. При значительно измѣняющемся расходѣ работы наполненіе цѣлесообразно регулировать посредствомъ регулятора производительности машинъ (см. стр. 600).

Въ случаѣ передачи движенія газовыми двигателями, приводный къ насосу ремень долженъ переводиться съ холостого шкива на рабочій и наоборотъ самимъ аккумуляторомъ.

Нагнетательные насосы прямого дѣйствія — такіе, у которыхъ стержень поршня насоснаго цилиндра непосредственно соединенъ со стержнемъ поршня парового цилиндра, т.-е. оба стержня составляютъ продолженіе одинъ другого; большею частью примѣняются дифференціальные насосы.

3. Трубопроводъ.

Вода, приводящая машины въ движеніе, должна быть чиста и не содержать въ себѣ кислотъ; обыкновенно вода берется изъ резер-

*) См. Z. d. V. d. Ing. 1891, A. Эрнстъ. Beiträge zür Entwicklung der Hebewerke mit Druckwasserbetrieb.

НТБ ДНУЗТ

вуаровъ, наполняемыхъ спеціальными насосами при посредствѣ фильтровъ.

Замерзаніе воды избѣгается укладкой трубъ на глубинѣ ниже промерзающаго слоя (отъ 3 до 7 фут. — смотря по климату) или устройствомъ прогрѣвающихъ аппаратовъ, или же трубы окружаются плохими проводниками теплоты. Употребленіе спирта, глицерина или прибавленіе солей требуетъ обратнаго трубопровода и только тогда является выгоднымъ, когда достать хорошую воду очень трудно. Въ большихъ сооруженіяхъ для питанія аккумуляторовъ пользуются холодной водой холодильниковъ паровыхъ машинъ, въ малыхъ сооруженіяхъ съ газовыми двигателями—охлаждающей водой газоваго двигателя.

Точки замерзанія

воднаго глицерина*).			воднаго алкоголя **).			
Вѣсовое процентное содержаніе глицерина.	Удѣльный вѣсъ.	Точка замерзанія град. С.	Вѣсовое процентное содержаніе алкоголя.	Точка замерзанія град. С.	Вѣсовое процентное содержаніе алкоголя.	Точка замерзанія град. С.
10	1,0245	— 1,0	2,58	— 1	21,7	— 12
20	1,0498	— 2,5	5,22	— 2	23,8	— 14
30	1,0771	— 6,2	7,36	— 3	26,0	— 16
40	1,1045	—17,2	9,58	— 4	28,0	— 18
45	1,1183	—26,2	11,50	— 5	30,0	— 20
50	1,1320	—32,0	13,27	— 6	33,5	— 24
		ниже	16,53	— 8	37,3	— 28
60	1,1582	—35,0	19,09	—10	41,2	— 32

Въ большихъ сооруженіяхъ нагнетательные трубопроводы устраиваются въ видѣ кольца, съ тѣмъ, чтобы имѣть возможность подводить воду къ подъемнымъ машинамъ съ двухъ сторонъ, а также и для того, чтобы избѣжать остановки въ работѣ на случай поломки трубъ.

Діаметръ трубъ опредѣляется по стр. 249 и слѣд. Скорость воды $v_{max} \leqq 3$ m въ сек., средняя скорость воды въ теченіе дневного разбора $v_m \leqq 0{,}5$ до 0,1 m въ сек.

Трубопроводы чугунные. Трубы отливаются вертикально, соединяются фланцами на резиновыхъ кольцахъ. Фланцевыя трубы при давленіяхъ > 10 атм. требуютъ усиленія противъ нормальныхъ размѣровъ (стр. 567). Чугунныя трубы замѣняются иногда желѣзными или стальными (см. стр. 572 до 575). Опредѣленіе толщины стѣнокъ трубопровода указано на стр. 422, причемъ p_i принимается = рабочему давленію + 5 атм. Для чугуна $k_z = 180$ kg/qcm ***).

---

*) См. Боллей, Handbuch der techn.-chemischen Untersuchungen, 1889, стр. 911.
**) См. Бейльштейнъ, Handbuch der organ. Chemie, т. I., 3 изд., 1893.
***) К. Бахъ для чугунныхъ трубъ принимаетъ p_i равнымъ наибольшему рабочему давленію въ kg/qcm, полагаетъ $k_z = 200$ kg/qcm и къ вычисленной такимъ образомъ толщинѣ стѣнокъ прибавляетъ 0,7 cm (для трубъ, отлитыхъ вертикально).

НТБ ДНУЗТ

Отдѣльныя части трубопровода снабжаются задвижками, спускными кранами въ наиболѣе пониженныхъ точкахъ и воздушными клапанами (вантузами) въ наиболѣе возвышенныхъ точкахъ трубопровода.

4. Набивки.

О набивкахъ кожаныхъ, металлическихъ, бумажныхъ см. стр. 531. Втулки сальниковъ должны быть легко доступны и видимы.

Для перемѣны набивки всѣ части, поддерживающія грузъ, тележки и т. п. должны быть подперты въ приподнятомъ положеніи, съ тѣмъ, чтобы можно было опустить обратно только ныряло и тогда уже перемѣнить набивку.

Манжеты кожаные, коробчатаго сѣченія, изготовляются изъ трехъ соотвѣтственно срѣзанныхъ ремней (черт. 365, стр. 531).

Треніе въ манжетахъ R см. стр. 220 и 531. Для хлопчатобумажной набивки имѣемъ, по А. Эрнсту, $\mu = 0{,}038$ до $0{,}064$; при 50 атм. давленія и діам. поршня 200 mm, $R = 120$ до 200 kg.

C. Гидравлическіе краны.

a. Краны гидравлическіе безъ передачи блоками.

Поворотные краны для чугуно- и сталелитейныхъ съ ныряломъ, имѣющимъ вертикальное направленіе, и поперечиной, по которой перемѣщается лебедка (черт. 548).

Направленіе ныряла по Бессемеру производится либо только въ расточенномъ нагнетательномъ цилиндрѣ или при помощи второй направляющей вверху; при послѣднемъ устройствѣ уменьшается напряженіе поршня на изгибъ отъ груза и собственнаго вѣса.

Значительно лучше устройство Бредта (черт. 548), при которомъ изгибающія напряженія воспринимаются особою клепанною желѣзною балкою квадратнаго сѣченія, а сѣченіе поршня соразмѣряется лишь съ величиною собственнаго вѣса и поднимаемаго груза. Расходъ воды, въ виду незначительной площади поршня, малъ; сальникъ не испытываетъ бокового давленія и не страдаетъ при вращеніи ныряла.

Перемѣщеніе лебедки отъ руки или при помощи нагнетательнаго цилиндра двойного дѣйствія. Вращеніе крана отъ руки.

Краны для сталелитейной (черт. 549) съ вспомогательными лебедками для опрокидыванія, выдвиганія и вдвиганія ковша и поворачиванія крана.

b. Краны съ передачей посредствомъ блоковъ.

1. Устройство поворотныхъ крановъ

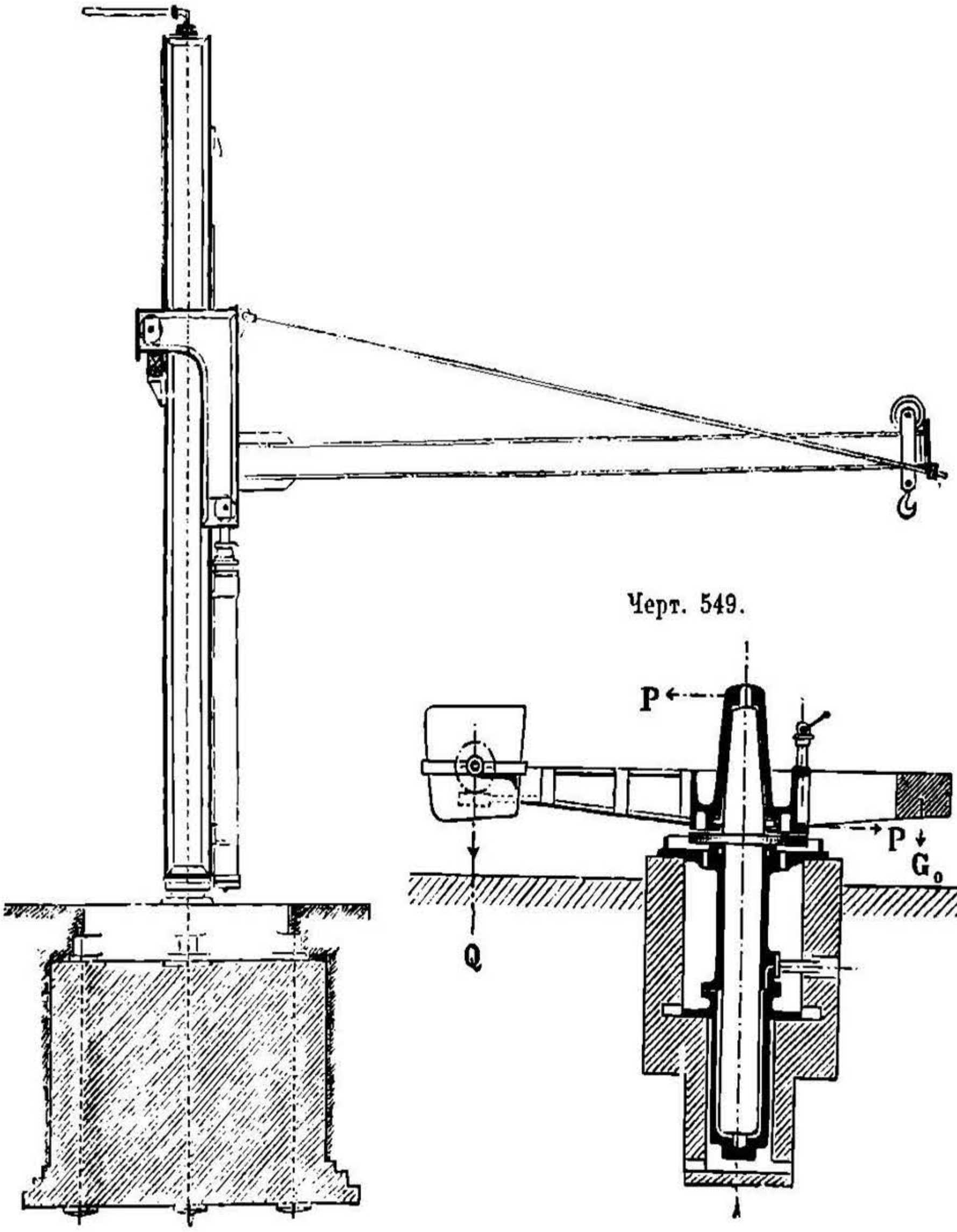
съ передачей посредствомъ блоковъ изображено на черт. 550 до 554.

Свободно стоящій поворотный кранъ (черт. 550, стр. 668).

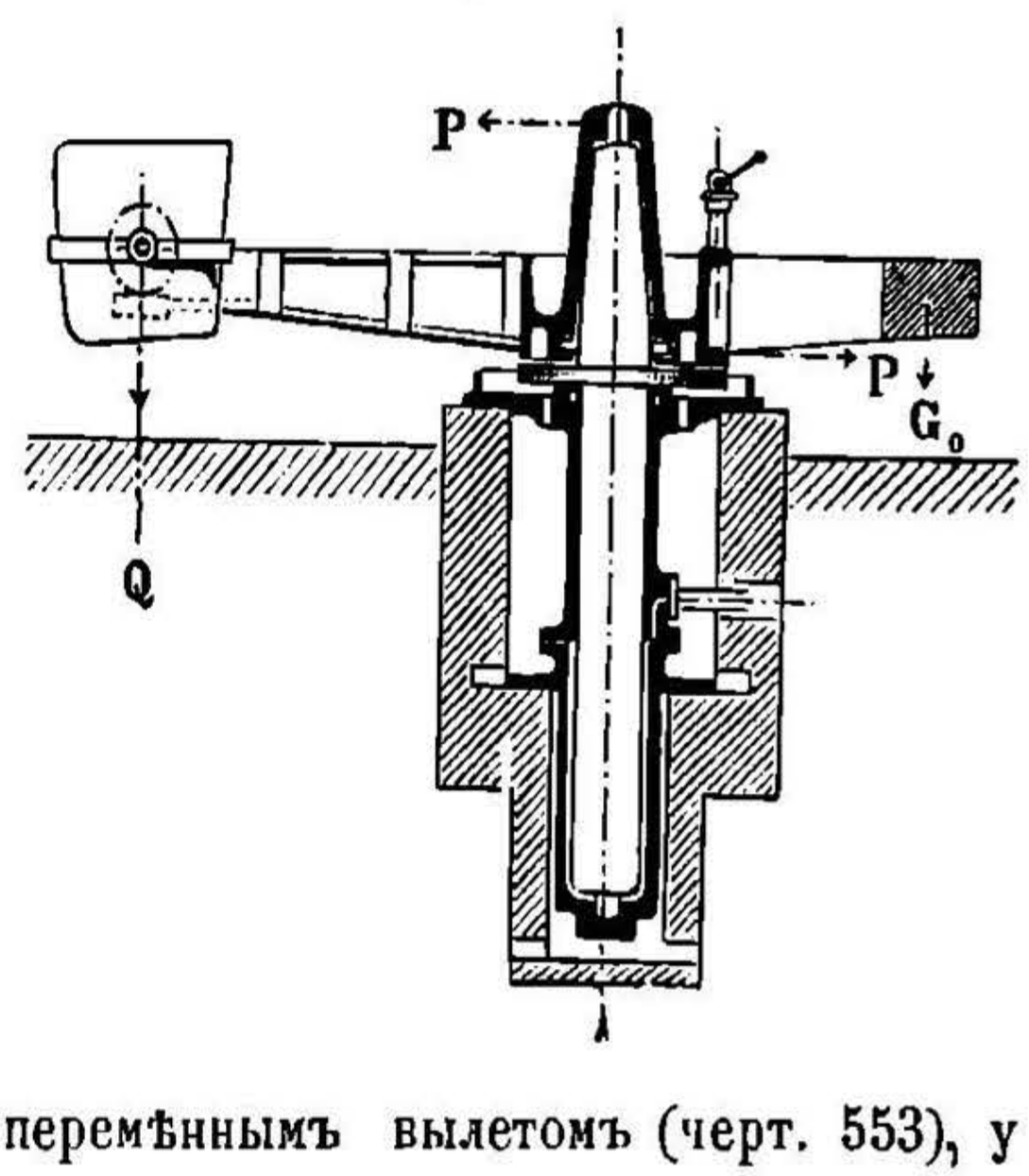
НТБ ДНУЗТ

Цилиндръ h для подъема груза, располагается наклонно; горизонтальный цилиндръ d служитъ для поворачиванія крана; у кранов съ пирамидой клепаннаго желѣза оба цилиндра горизонтальны (черт. 551). Стѣнной кранъ (черт. 552) съ двумя вертикальными цилиндрами, одинъ для подъема груза, а другой для вращенія крана.

Черт. 548.



Черт. 549.

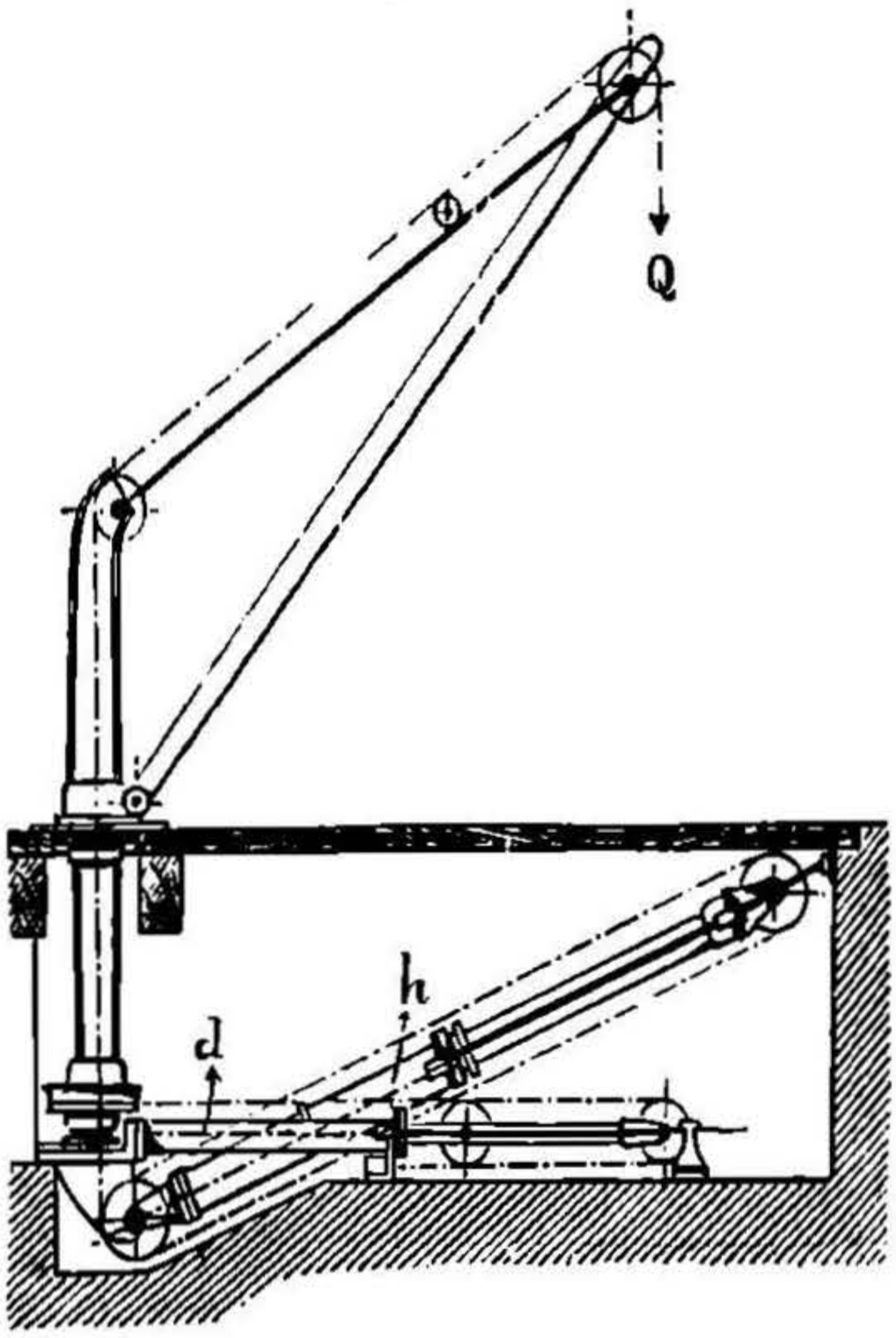


Литейный кранъ съ перемѣннымъ вылетомъ (черт. 553), у котораго подъемъ груза производится вертикальнымъ цилиндромъ справа, а поворачиваніе—вертикальнымъ цилиндромъ слѣва, перемѣщеніе лебедки—горизонтальнымъ цилиндромъ. Движущіе цилиндры для подъема груза простого дѣйствія, обратный ходъ отъ дѣйствія груза, обратный ходъ ненагруженнаго крюка происходитъ отъ собственнаго вѣса крюка (съ противовѣсомъ). Повора-

(Продолженіе на стр. 669).

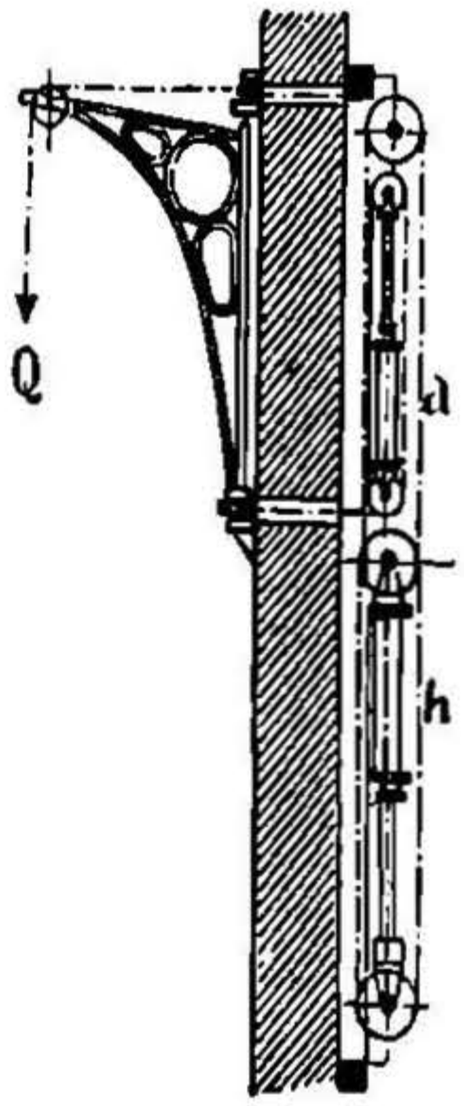
НТБ ДНУЗТ

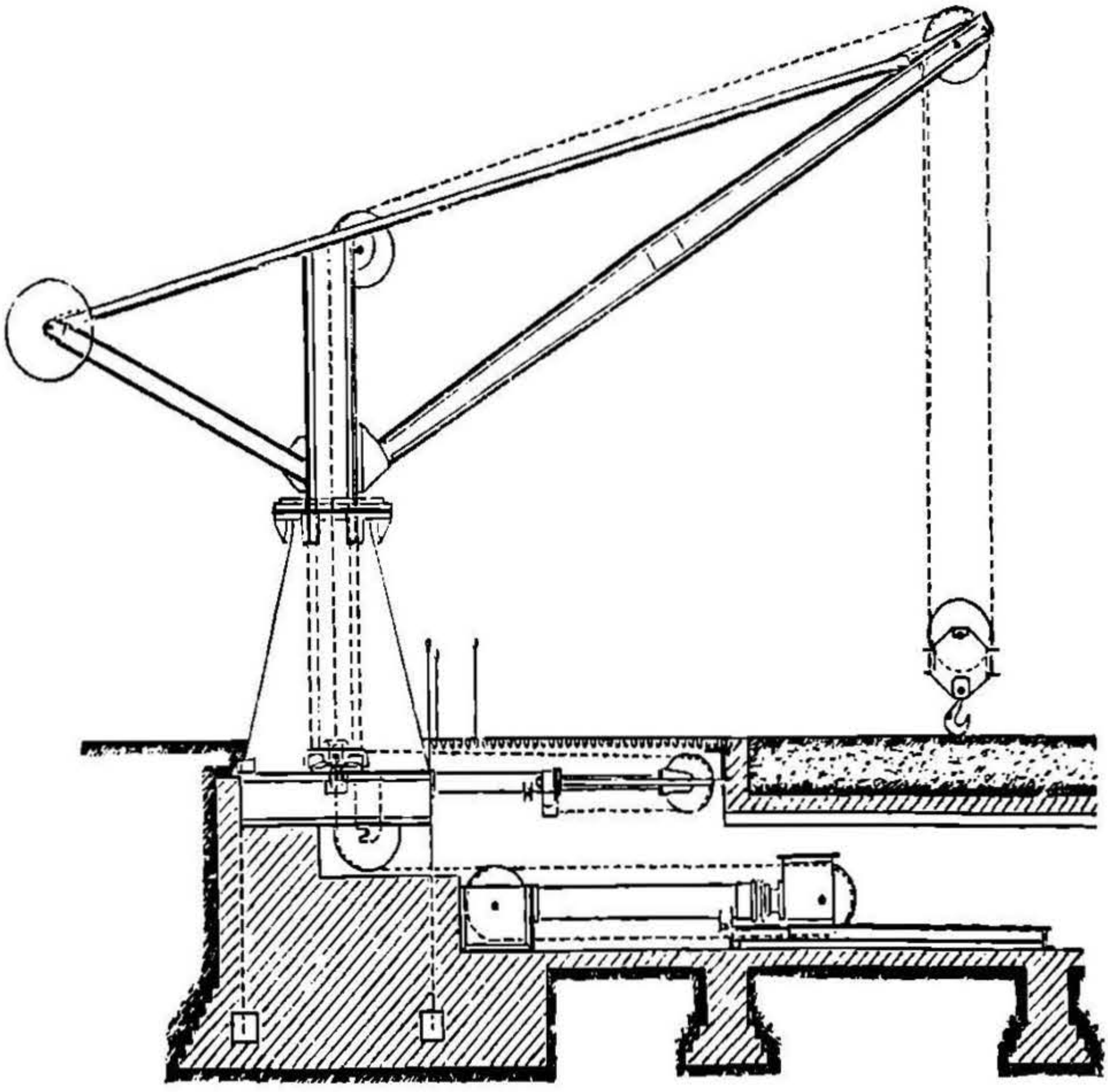
Черт. 550.



Черт. 551.

Черт. 552.



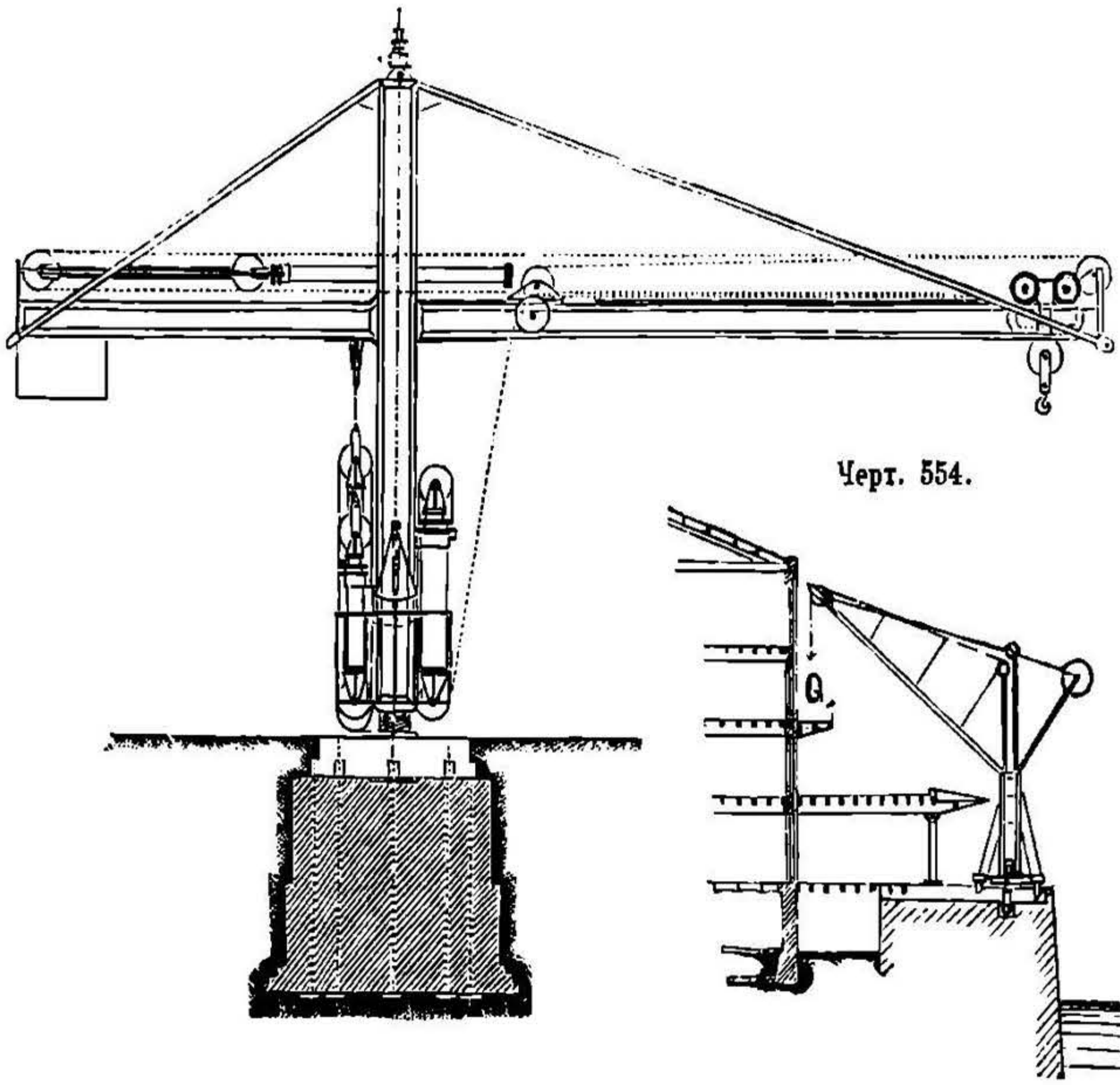


НТБ
ДНУЗТ

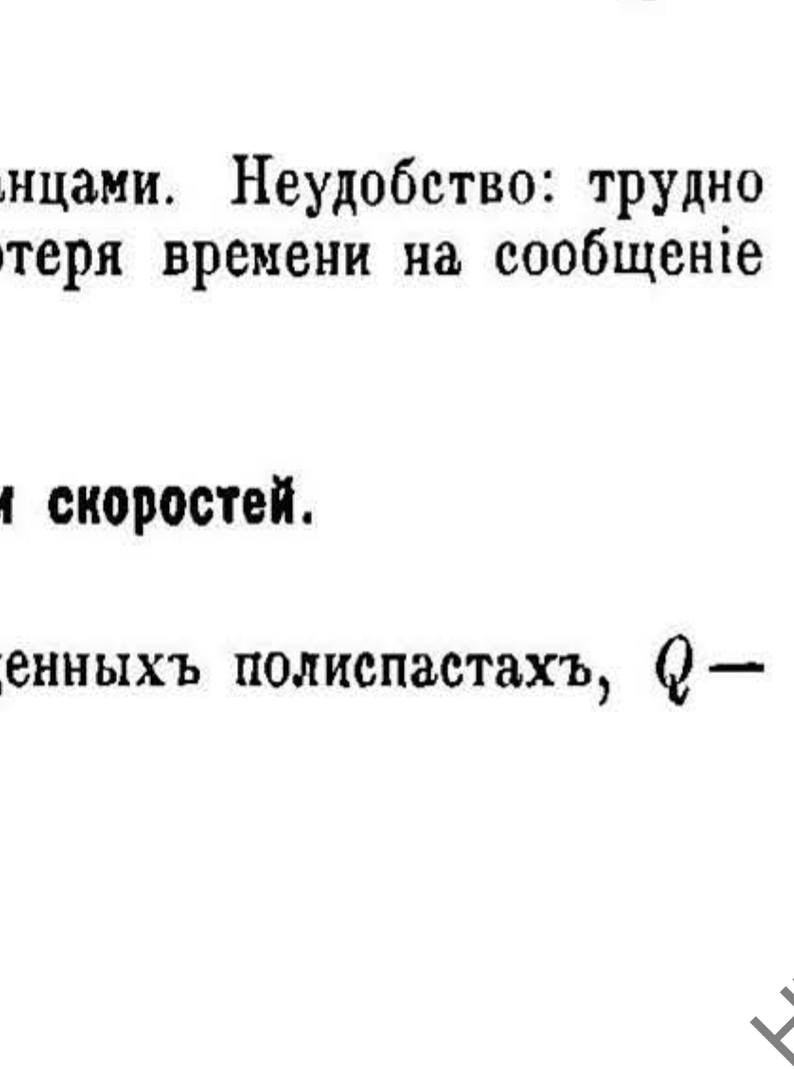
чиваніе небольшихъ крановъ, нагрузкой до 1500 kg, производится большею частью отъ руки.

Черт. 554 изображаетъ поворотный или катучій кранъ, имѣющій подвижное соединеніе съ трубопроводомъ посредствомъ телесконныхъ трубъ или рукавовъ. На трубопроводѣ черезъ каждые

Черт. 553.



Черт. 554.



10 m располагаются отростки съ фланцами. Неудобство: трудно достижимая плотность соединенія и потеря времени на сообщеніе и разобщеніе съ трубопроводомъ.

2. Соотношенія силъ и скоростей.

Если n число блоковъ въ обращенныхъ полиспастахъ, Q — грузъ, то движущая сила

$$P = \frac{nQ}{\eta};$$

НТБ ДНУЗТ

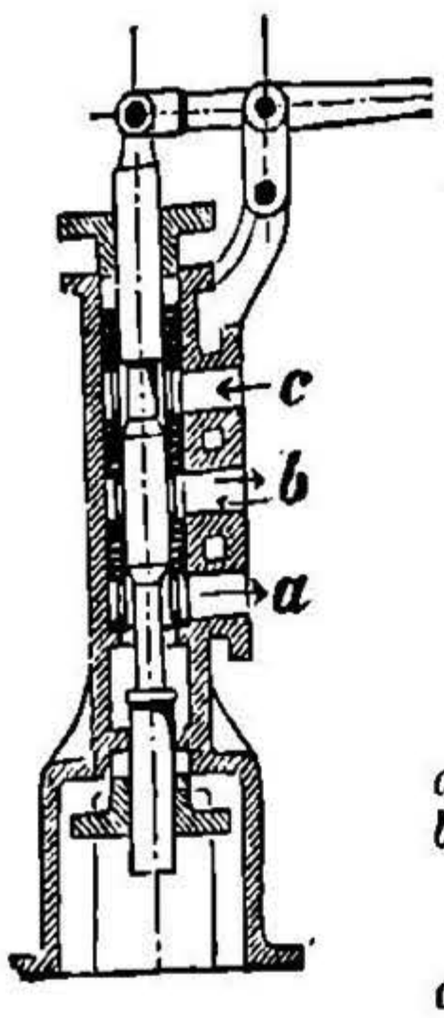
и путь груза равенъ n разъ взятому пути поршня. Полезное дѣйствіе η находится въ зависимости отъ передачи: для 10-блочныхъ канатныхъ полиспастовъ еще η до 0,75.

Діаметръ цѣпного блока $D \geqq 40\,d$,
Діаметръ канатнаго блока $D \geqq 500\,\delta$,
если d діам. цѣпного желѣза, а δ толщина проволоки.

Скорость движенія груза въ кранахъ отъ 3 до 5 тоннъ:
при подъемѣ груза $c = 0{,}5$ до 1,5 m въ сек.,
при поворачиваніи крана посредствомъ давленія воды: $v = 7$ до 8 m въ сек.

3. Распредѣленіе (черт. 556) производится золотниками изъ фосфористой бронзы со вставнымъ зеркаломъ. Поверхность неуравновѣшенныхъ золотниковъ опредѣляется по давленію въ плоскости соприкасанія < 100 атм.; вмѣсто золотниковъ употребляются иногда уравновѣшенные поршни (черт. 555) или клапаны.

Черт. 555.



Черт. 556.

a = выпускное отверстіе,
b = отверстіе, приводящее воду въ цилиндръ и отводящее изъ него воду,
c = впускное отверстіе (изъ аккумулятора).

Для предупрежденія ударовъ при пусканіи въ ходъ, слѣдуетъ ребра распредѣлительныхъ каналовъ дѣлать наклонными, вслѣдствіе чего невозможны будутъ какъ внезапный впускъ воды, такъ и въ особенности внезапная отсѣчка. По той же причинѣ слѣдуетъ устраивать большую передачу посредствомъ распредѣлительныхъ рычаговъ и постепенное дѣйствіе самодѣйствующаго останова. Обыкновенно на распредѣлительной коробкѣ устанавливается еще предохранительный клапанъ. Скорость воды въ распредѣлительныхъ каналахъ $v = 5$ до 10 m въ сек., при сильномъ же давленіи (до 50 атм.) доходитъ до $v = 20$ m въ сек., при соотвѣтствующей потерѣ давленія въ атм.

$p = \dfrac{1}{10\varphi^2}\dfrac{v^2}{2g}$, гдѣ коэффиціентъ скорости $\varphi \geqq 0{,}6$ и $g = 9{,}81$ m/sec^2.

Поперечное сѣченіе выпускного отверстія должно быть таково, чтобы скорость опусканія груза могла быть регулируема.

Разсчетъ распредѣлительнаго механизма.

Пусть означаютъ:
p давленіе воды въ золотниковой коробкѣ въ атм.,
x давленіе воды въ цилиндрѣ подъ поршнемъ въ атм.,
v (въ m/sec.) скорость воды во впускномъ каналѣ, измѣренная у отсѣкающаго ребра золотника и опредѣляемая уравненіемъ:

$$vf = u\,F,$$ гдѣ

НТБ ДНУЗТ

f площадь открытія окна на золотниковомъ зеркалѣ въ qm,
F площадь поршня въ qm,
u скорость поршня въ m/sec,
ζ коэффиціентъ для всѣхъ сопротивленій, преодолѣваемыхъ водой на всемъ пути отъ золотниковой коробки до момента дѣйствія на поршень (со включеніемъ сжатія струи во впускномъ каналѣ, для этой части сопротивленія $\zeta = 1{,}5$),

тогда имѣемъ соотношеніе:

$$x = p - \frac{v^2}{2g}\,\frac{1+\zeta}{10}.$$

Для данной нагрузки поршня P площадь его F находимъ изъ:

$$Fx = P$$

ζ зависитъ отъ формы канала и системы распредѣленія и для каждаго случая различно.

Для золотниковъ, у которыхъ площадь прохода $f = 2$ qcm, Г. Лангъ нашелъ при давленіи 50 атм. и при полномъ открытіи: $\zeta = 4$,
при уменьшеніи сѣченія до 0,08 qcm:

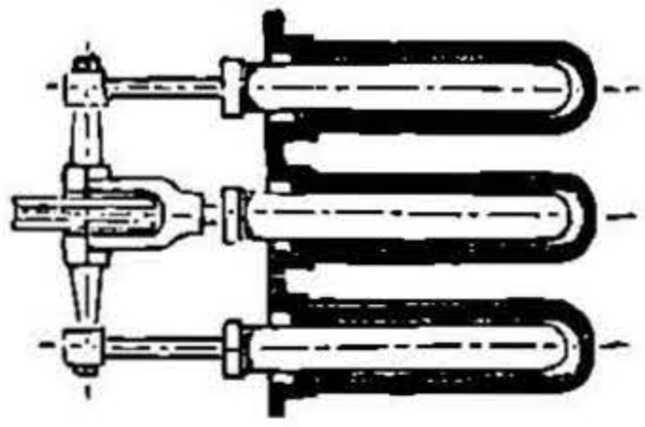
$$\zeta = 1{,}25\ ^*).$$

4. Перемѣнный расходъ воды для измѣняющихся по величинѣ грузовъ достигается:

1. Посредствомъ группы поршней (черт. 557), напр., 3 движущихъ цилиндра, причемъ вода дѣйствуетъ на всѣ три цилиндра при полномъ грузѣ: на два крайнихъ—при $^2/_3$ груза и на средній—при $^1/_3$ груза. Группа поршней разныхъ діаметровъ, при которой одинъ поршень вставляется въ другой въ видѣ телескопной трубы, примѣняется для подъемныхъ машинъ прямого дѣйствія.

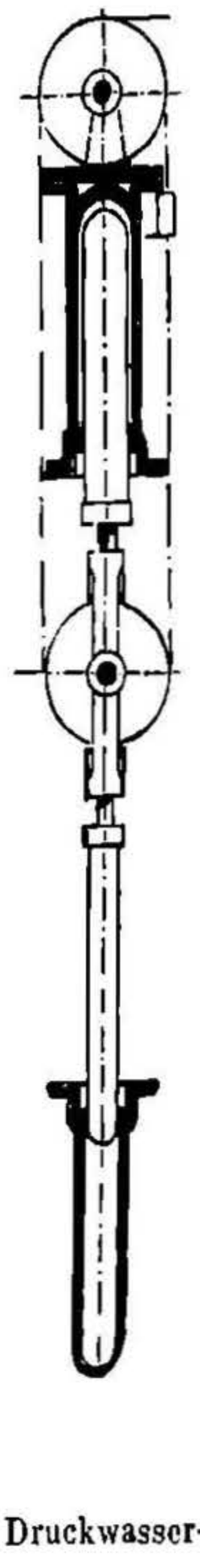
2. Посредствомъ дифференціальныхъ поршней (черт. 558 и 559). При подъемѣ всего груза

Черт. 557.

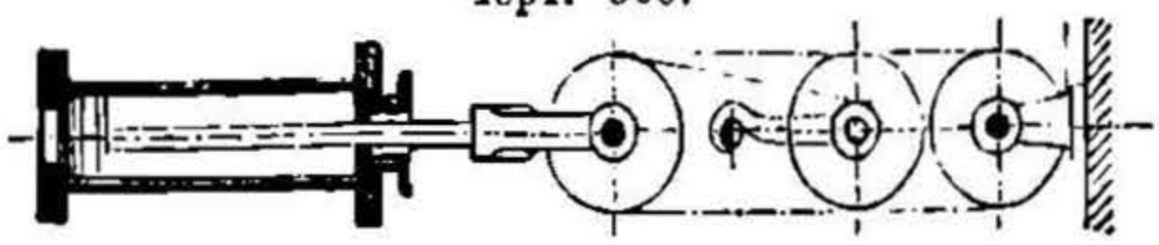


Черт. 558.

Черт. 559.



Черт. 560.



*) См. Ad. Ernst, Beiträge zur Entwicklung der Hebezeuge mit Druckwasserbetrieb, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 726.

НТБ ДНУЗТ

впускъ воды (черт. 558) производится черезъ отверстіе *u* со стороны большого поршня, и одновременно же происходитъ выпускъ воды черезъ отверстіе *o* со стороны малаго поршня. Для подъема же половины груза производится одновременный впускъ черезъ отверстія *u* и *o*.

3. Посредствомъ включенія и выключенія отдѣльныхъ блоковъ полиспаста (черт. 560). Для подъема всего груза движущій цилиндръ совершаетъ полный ходъ при небольшомъ числѣ передаточныхъ блоковъ; для подъема же части груза движущій цилиндръ совершаетъ только часть своего хода при дѣйствіи всѣхъ передаточныхъ блоковъ.

IV. ПОДЪЕМНИКИ.

a. Ручные подъемники.

Примѣняются съ выгодой для небольшихъ грузовъ до 25 kg, какъ то: для бумагъ, въ ресторанахъ для блюдъ и небольшихъ предметовъ промышленности.

Для грузовъ большихъ, до 600 kg, выгодны только при рѣдкомъ пользованіи. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія въ среднемъ 0,5. Производительность одного рабочаго 8 до 10 mkg въ секунду

b. Приводные подъемники.

Примѣняются, главнымъ образомъ, для грузовъ, при которыхъ могутъ находиться и проводники, рѣдко какъ пассажирскіе подъемники. Подъемная машина должна быть устроена съ самодѣйствующимъ остановомъ для избѣжанія несчастныхъ случаевъ при разрывѣ ремня.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія = 0,3 до 0,4. Скорость при подъемѣ грузовъ = 0,1 до max. 0,3 m въ сек., если подъемъ можетъ быть автоматически прекращенъ. Если грузъ поднимается вмѣстѣ съ проводникомъ и остановочный механизмъ приводится въ дѣйствіе послѣднимъ, то скорость можетъ быть выбрана больше. Наиболѣе употребительная подъемная сила для фабрикъ и магазиновъ отъ 500 до 1000 kg. Если приводный валъ и передача къ подъемнику приводится въ движеніе особымъ электродвигателемъ, вращающимся всегда въ одномъ направленіи, то такіе подъемники называются электрическими—непрямого дѣйствія.

c. Электрическіе подъемники.

Примѣняются для какихъ-угодно грузовъ, бóльшею же частью—какъ пассажирскіе подъемники или для грузовъ съ проводниками;

НТБ ДНУЗТ

рѣже примѣняются исключительно для тяжестей; первоначальное устройство обходится дорого, эксплоатаціонные расходы—невелики.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія = 0,3 до 0,4. Подъемная машина должна быть съ самодѣйствующимъ остановомъ для избѣжанія несчастныхъ случаевъ при порчѣ тормаза; поэтому примѣняются для передачи червякъ съ червячнымъ колесомъ. Электродвигатель сцѣпляется непосредственно съ валомъ червяка и можетъ вращаться въ ту и другую сторону. Червячное колесо изъ фосфористой бронзы, червякъ—стальной; оба тщательно обрабатываются. Давленіе вала червяка передается на гребенчатый или шаровой подшипникъ.

Скорость подъема грузовъ съ проводникомъ 0,3 до 1,5 m въ сек., безъ проводника—maximum 0,3 m въ сек.

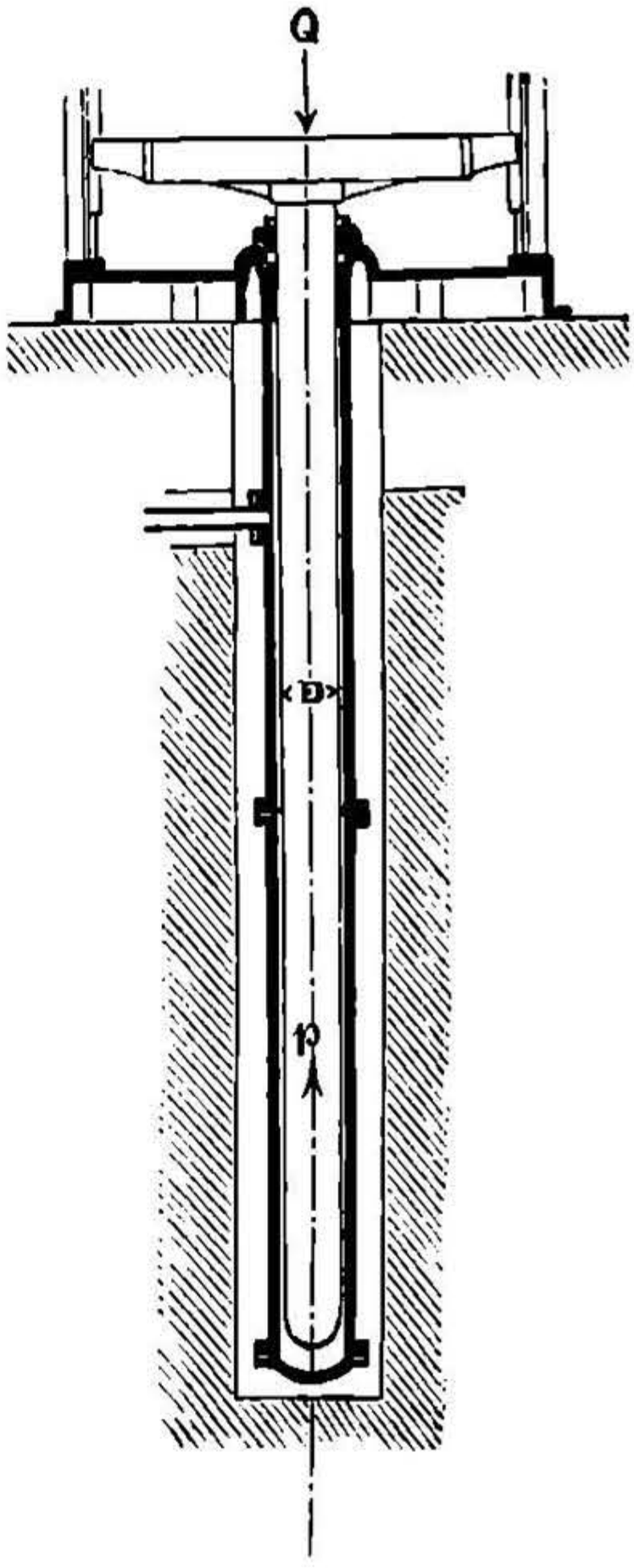
d. Гидравлическіе подъемники.

1. Подъемники прямого дѣйствія

состоятъ изъ обыкновеннаго ныряла (черт. 561) и опущеннаго въ землю нагнетательнаго цилиндра; примѣняются главнымъ образомъ для **незначительныхъ подъемовъ** (до 6 m); ныряло направляется сальникомъ нагнетательнаго цилиндра и 2-мя боковыми направляющими платформы.

Давленіе на ныряло $= \frac{1}{4}\pi D^2.p =$ полезному грузу + собственный вѣсъ + треніе + сила инерціи.

Черт. 561.



Вліяніемъ давленія снизу вверхъ можно пренебречь, т.-е. принять, что оно уравновѣшиваетъ силу инерціи.

Уравновѣшеніе значительнаго собственнаго вѣса достигается съ помощью 2-хъ цѣпей съ противовѣсами, работающими въ направляющихъ; часть собственнаго вѣса должна оставаться неуравновѣшенною для возможности обратнаго хода лишь отъ собственнаго вѣса съ достаточной скоростью. Уравновѣшеніе можетъ быть также достигнуто съ помощью постояннаго давленія воды на уравновѣшивающій поршень безъ промежуточнаго клапана. Вода изъ уравновѣшивающаго цилиндра при опусканіи груза опять отводится въ трубопроводъ. Этотъ способъ уравновѣшенія дорогъ и потому рѣдко примѣняется. Для **значительныхъ подъемовъ** (отъ 6 до 30 m) подъемники прямого дѣйствія примѣняются только въ томъ случаѣ, если свойства почвы

НТБ ДНУЗТ

позволяютъ пробурить скважину. Употребляются обыкновенно ныряла, состоящія изъ отдѣльныхъ трубъ. Трубы соединяются муфтами на рѣзьбѣ, расположенными внутри трубы, или же вполнѣ точно пригоняются одна къ другой на конусъ, а затѣмъ соединяются общимъ, насквозь проходящимъ, натяжнымъ винтомъ. Разсчетъ производится на продольный изгибъ съ запасомъ прочности (стр. 347 и слѣд.), не меньшимъ 10. По Крамеру, продольный изгибъ можетъ быть избѣгнутъ употребленіемъ полыхъ нырялъ, открытыхъ снизу, такъ что вода дѣйствуетъ непосредственно на верхнюю плиту (платформу), или же направленіемъ ныряла по всей его длинѣ.

Если, при большомъ давленіи воды или сравнительно малой нагрузкѣ, поршень получается настолько малаго діаметра, что не выдерживаетъ сопротивленія на продольный изгибъ, то поршень устраивается внѣ центра платформы близъ края, или же долженъ быть направляемъ многими направляющими, распредѣленными по всей высотѣ подъема. Подъемная платформа должна имѣть независимыя направляющія.

Уравновѣшеніе мертваго груза и перемѣннаго давленія воды на ныряло.

1. По Эду: посредствомъ противовѣсовъ (черт. 562), расположенныхъ въ направляющихъ колоннахъ или близъ шахты, и соединительныхъ цѣпей, собственный вѣсъ которыхъ p (kg на пог. m) соотвѣтствуетъ давленію снизу вверхъ на ныряло діаметромъ D (въ m). Необходимо чтобы $p = 390\ D^2$ (при двухъ цѣпяхъ имѣемъ собственный вѣсъ на пог. метръ одной цѣпи $= 0{,}5\,p$). Цѣпь увеличиваетъ сопротивленіе отъ силы инерціи.

2. По Флору: посредствомъ противовѣсовъ, расположенныхъ близъ шахты и прикрѣпленныхъ къ платформѣ помощью поясовъ изъ стальныхъ канатовъ. Вѣсъ этого пояса въ kg на пог. m равенъ давленію на поршень снизу при погруженіи на 0,5 m; ширина пояса приблизительно 300 mm.

3. По Крамеру: посредствомъ собственнаго вѣса вспомогательнаго поршня и увеличеніемъ столба воды въ вспомогательномъ цилиндрѣ A (черт. 563) при поднимающемся нырялѣ, т.-е. уменьшающемся давленіи спизу вверхъ.

Конструкція. Нагнетательный цилиндръ при среднемъ ходѣ (< 6 m) располагается независимо отъ другихъ частей въ нижнемъ этажѣ зданія или въ выложенной кирпичемъ ямѣ.

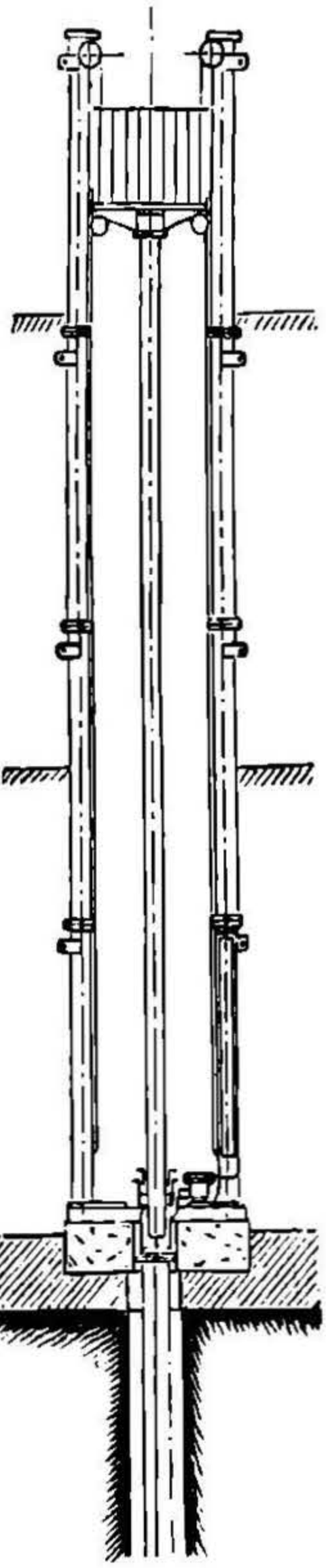
Цилиндры для большихъ подъемовъ (10 до 70 m) погружаются въ пробуравленныя скважины, защищенныя трубами отъ давленія земли (употребительны желѣзныя трубы съ увеличивающейся отъ 5 до 10 mm толщиной стѣнокъ); дно скважины покрывается бетономъ, промежутокъ между желѣзной трубой и нагнетательнымъ цилиндромъ заполняется пескомъ.

Направленіе верхней платформы должно быть точно центрировано относительно самого ныряла, или же платформа соединяется съ

НТБ ДНУЗТ

нырялом̈ъ подвижнымъ соединеніемъ и имѣетъ направленіе на высотѣ $\leqq 2{,}5$ метровъ. Въ направляющихъ роликахъ (употребляются рѣдко вслѣдствіе непокойнаго хода) дѣлаются боковыя закраины; діаметры роликовъ > 200 mm.

Черт. 562.



Употребленіемъ передаточныхъ поршней (Крамера, черт. 563) можно придать произвольное сѣченіе движущему поршню при данномъ давленіи воды.

Обозначимъ черезъ:

F полное, а F_r кольцеобразное сѣченіе передаточнаго поршня цилиндра A,

f поперечное сѣченіе движущаго поршня,

p_a и p_c давленіе воды на передаточный и движущій поршни,

h ходъ движущаго поршня,

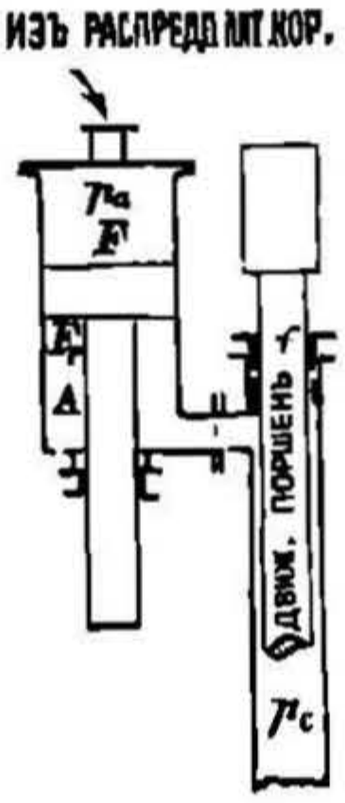
s ходъ передаточнаго поршня; тогда имѣемъ:

$$p_c > p_a; \qquad p_c = p_a \frac{F}{F_r} \quad \text{и} \quad s = h \frac{f}{F_r}.$$

Если кольцеобразное сѣченіе расположено сверху, то:

$$p_c < p_a; \qquad p_c = p_a \frac{F_r}{F} \qquad s = h \frac{f}{F}.$$

Черт. 563.



Болѣе подробно о гидравлическихъ подъемныхъ машинахъ см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1890 и 1891: А. Эристъ, Beiträge zur Entwicklung der Hebewerko mit Druckwasserbetrieb.—Н. Пфейферъ, Wasserdruck-Hobungen, Berlin 1891.

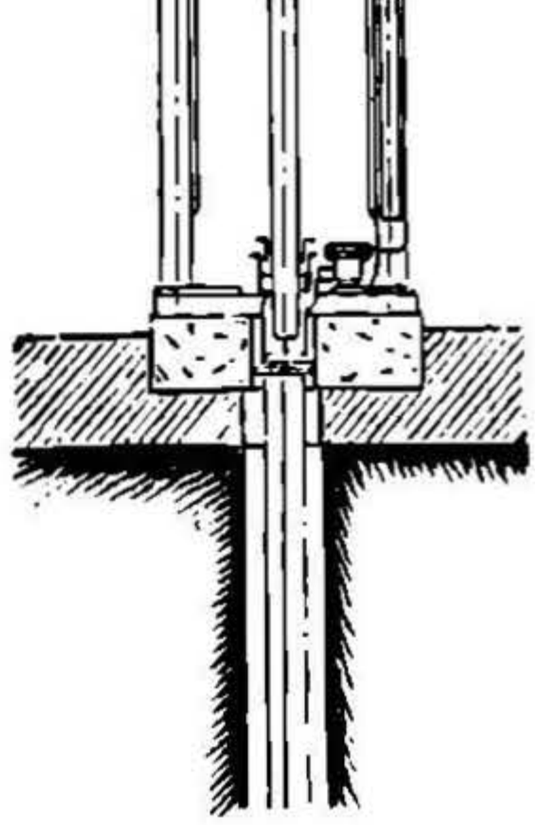
Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, стр. 306 и слѣд.: Б. Гордау, Lösch und Ladevorrichtungen für Schiffe und Eisenbahnen.

2. Подъемныя машины непрямого дѣйствія

примѣняются для болѣе значительныхъ подъемовъ и при свойствахъ почвы, не позволяющихъ пробурить скважину; лучшая конструкція съ вертикальнымъ цилиндромъ. Передача производится канатами (рѣдко цѣпями) и блоками; передаточное число, въ зависимости отъ высоты подъема и подъемной силы, выбирается отъ 2 до 10.

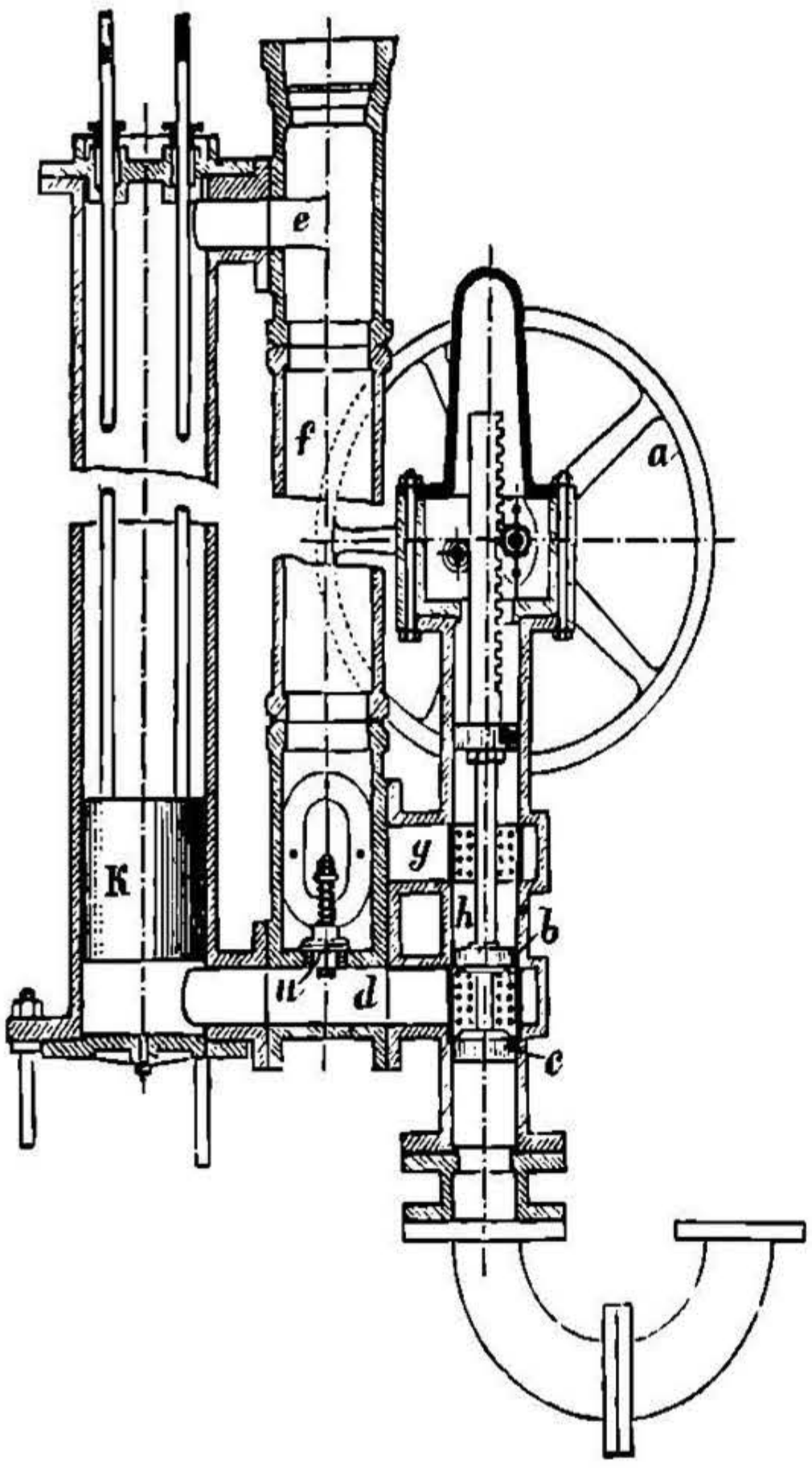
Конструкція съ вертикальнымъ цилиндромъ.

Нагнетательный цилиндръ устанавливается, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, или въ подъемной шахтѣ или внѣ шахты, вблизи послѣдней. Необходимое мѣсто въ планѣ 600 . 900 mm.



НТБ ДНУЗТ

Черт. 564.



Собственный вѣсъ подъемной платформы уравновѣшивается вѣсомъ ныряла, штока, блоковъ и, если окажется необходимымъ, противовѣсами. Верхняя сторона поршня постоянно покрыта водой подъ давленіемъ. Разница уровней между верхнимъ положеніемъ поршня и отводящей трубой не должна быть больше 10 m, чтобы избѣжать разрыва водяного столба, дѣйствующаго всасывающимъ образомъ на нижней сторонѣ поршня.

Конструкція по Флору. Распредѣлительный органъ (черт. 564) представляетъ цилиндрическій золотникъ, приводимый въ движеніе канатомъ, лежащимъ на блокѣ *a*, помощью зубчатой рейки. Въ начерченномъ положеніи подъемникъ стоитъ на мѣстѣ, такъ какъ оба диска *b* и *c* закрываютъ выходной каналъ. При подъемѣ круглаго золотника каналъ *d* болѣе или менѣе открывается, и подъемникъ идетъ кверху. При движеніи золотника книзу пространство надъ поршнемъ соединяется помощью *e*, *f*, *g*, *h* и *d* съ пространствомъ подъ поршнемъ, и подъемникъ идетъ книзу. Обратный клапанъ *u* служитъ для избѣжанія ударовъ при остановкахъ подъемника.

Нагнетательные цилиндры должны быть точно разсверлены и особенно тщательно пригнаны въ стыкахъ. Соединеніе отдѣльныхъ частей цилиндра на фланцахъ, изъ которыхъ на одномъ имѣется кольцевой выступъ, а на другомъ такая же выточка; выступъ и выточка входятъ другъ въ друга. Плотность поршня, имѣющаго два штока, относительно цилиндра достигается помощью трехъ резиновыхъ колецъ съ кожаными манжетами, которыя подъ давленіемъ воды равномѣрно прижимаютъ резиновыя кольца къ стѣнкамъ цилиндра. Необходимо заботиться о хорошей смазкѣ осей блоковъ и подъемнаго цилиндра. Вода, протекающая въ сальникахъ, отводится помощью особыхъ трубокъ въ отводную трубу. Крышки цилиндра и поршня слѣдуетъ снабжать приспособленіями для удаленія воздуха.

НТБ ДНУЗТ

Коэф. полезнаго дѣйствія въ подъемникахъ прямого дѣйствія = 60 до 70%,
въ подъемникахъ непрямого дѣйствія = 55 до 67%.
Скорость въ подъемн. прямого дѣйствія = 0,3 до 0,5 m въ сек.,
„ „ „ непрямого „ = до 1,5 m въ сек.

c. Общія данныя относительно подъемниковъ.

Прикрѣпленіе подъемной платформы къ канатамъ должно быть исполнено такъ, чтобы не было никакихъ боковыхъ усилій, стремящихся прижимать платформу къ ея направляющимъ.

Пассажирскіе подъемники должны всегда имѣть два каната.

Предохранительныя приспособленія.

Подъемныя платформы для грузовъ болѣе 100 kg слѣдуетъ всегда снабжать самодѣйствующими остановами. Эти приспособленія надежны только при платформахъ, висящихъ на двухъ канатахъ, такъ что при разрывѣ одного каната другой приводитъ въ дѣйствіе остановъ. Остановы, приводимые въ дѣйствіе помощью пружинъ, ненадежны и могутъ быть примѣняемы только для небольшихъ грузовъ.

Кромѣ того, необходимо приспособленіе, автоматически останавливающее платформу, какъ только она достигнетъ своего опредѣленнаго высшаго или низшаго положенія.

Во всѣхъ подъемникахъ (кромѣ подъемниковъ для кушаній) должны быть приспособленія, позволяющія войти на платформу или сойти съ нея, а также нагружать или разгружать ее только въ то время, когда она остановилась.

Подъемная машина должна точно также имѣть приспособленіе, останавливающее ее при высшемъ и низшемъ положеніяхъ платформы, а равно при задержкѣ платформы остановомъ.

Правила для установки и эксплоатаціи подъемныхъ машинъ въ г. Москвѣ *).

I. Подъемныя машины раздѣляются на двѣ категоріи: а) пассажирскія и б) грузовыя.

II. При прошеніи о разрѣшеніи на установку машинъ обѣихъ категорій владѣлецъ долженъ приложить:

а) Свидѣтельство объ испытаніи на разрывъ: тросовъ, канатовъ, цѣпей, или другихъ принадлежностей, служащихъ для подъема пассажирской или грузовой платформы (каюты); означенное свидѣтельство должно быть выдано или заводомъ, строящимъ подъемникъ, или же исполнительной технической лабораторіей и удостовѣрено подписью лицъ, производившихъ испытаніе.

---

*) Правила эти разсмотрѣны Технически-Строительнымъ Комитетомъ по журналу отъ 15 мая 1901 г. за № 181, утвержденному Товарищемъ Министра Внутреннихъ Дѣлъ 20 мая 1901 г.

НТБ ДНУЗТ

б) Удостовѣреніе лица, устанавливающаго подъемную машину, что рабочая нагрузка послѣдней не будетъ въ дѣйствительности превышать $^1/_6$ части разрывной нагрузки подъемныхъ тросовъ, канатовъ, цѣпей и т. п.

III. Подъемныя машины обѣихъ категорій обязательно должны быть снабжены надежно дѣйствующими тормазными предохранительными приспособленіями, для удержанія каюты отъ паденія при случайныхъ разрывахъ подъемныхъ тросовъ, канатовъ, цѣпей и т. п., а также автоматическими выключателями тока для крайнихъ низшаго и высшаго положеній каюты или платформы.

IV. Упомянутыя въ п. III приспособленія (предохранительныя) непремѣнно должны быть испытаны Правительственной Комиссіей въ дѣйствіи, на мѣстѣ установки подъемной машины и при нормальной нагрузкѣ послѣдней.

V. Перевозка людей въ каютахъ или платформахъ грузовыхъ подъемныхъ машинъ допускается только въ тѣхъ случаяхъ, когда каюты совершенно закрыты сплошной обшивкой, снабжены сплошными дверями и имѣютъ предохранительныя приспособленія, указанныя въ § III настоящихъ правилъ.

VI. Пассажирскія и грузовыя каюты должны быть снабжены ясно составленными и выставленными на видномъ мѣстѣ правилами, объясняющими пользованіе каютами и ихъ приспособленіями, какъ-то: дверями, сигналами и проч.

VII. Въ каюты пассажирскихъ и платформы грузовыхъ подъемниковъ воспрещается: въ первыя—допускать большее число пассажировъ, а на вторыя—грузить большее количество товара, чѣмъ то, на которое подъемная машина разсчитана. Предѣльная нагрузка подъемниковъ опредѣляется Правительственной Комиссіей.

VIII. Владѣлецъ или арендаторъ зданія или помѣщенія, въ которомъ имѣются подъемныя машины, обязанъ установить правильный и отвѣтственный надзоръ за таковыми.

IX. Подробный осмотръ и провѣрка предохранительныхъ приспособленій подъемныхъ машинъ производится владѣльцами таковыхъ не рѣже одного раза въ годъ, а также по первому требованію полиціи.

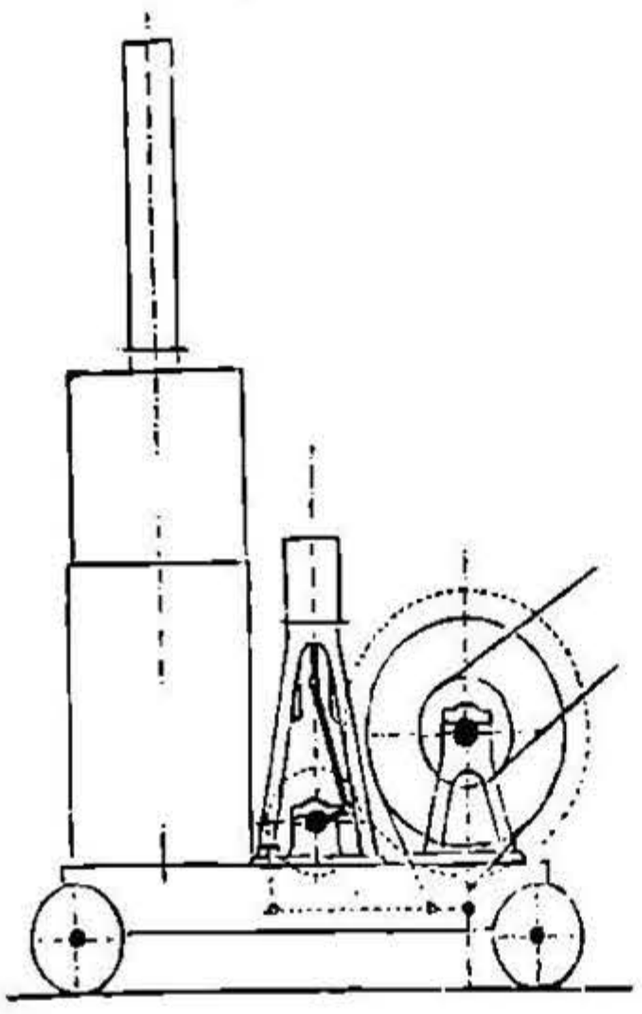
X. Въ точномъ исполненіи сихъ правилъ отъ владѣльца подъемной машины, при осмотрѣ ея Правительственною Комиссіею, отбирается подписка.

V. ПОДЪЕМНЫЯ МАШИНЫ.

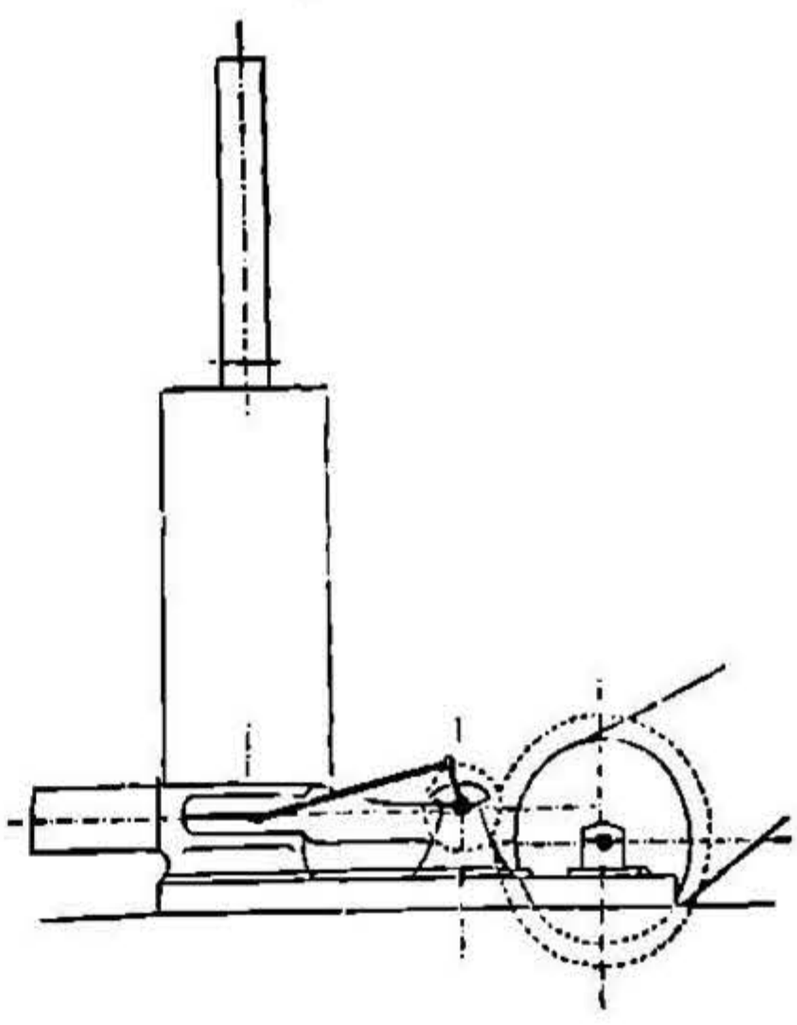
a. Вороты и конные приводы.

Лебедки см. стр. 642. Въ приводахъ, приводимыхъ въ движеніе **людьми**, плечо усилія $a = 1{,}5$ до 2 m. Относительно возможной

Черт. 565.



Черт. 566.



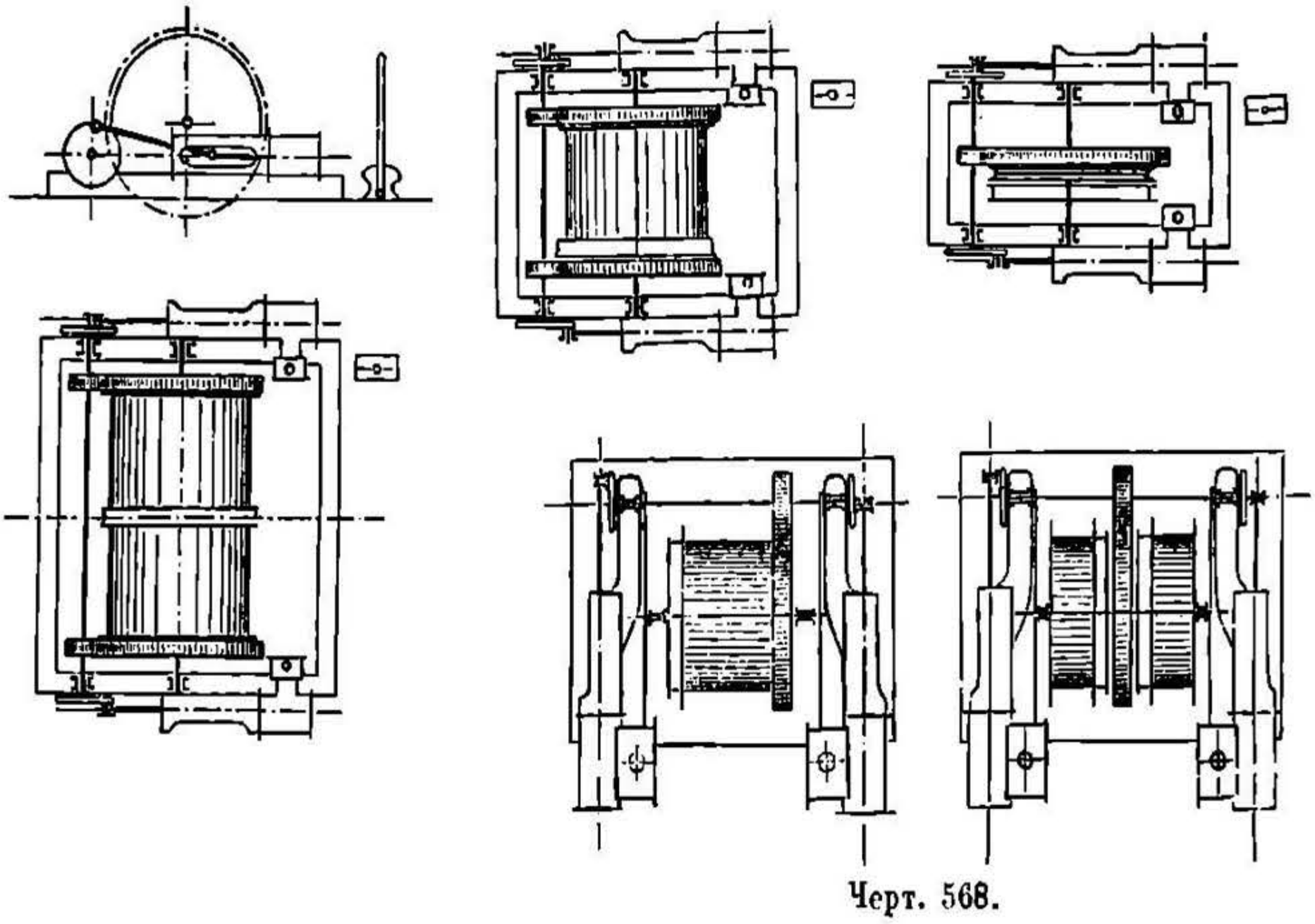
НТБ ДНУЗТ

дневной производительности сильнаго рабочаго, дѣйствующаго на рукоять или на приводъ, при 8-часовой работѣ, см. отдѣлъ VII, машины-двигатели, I — живые двигатели. Дѣйствительная производительность рабочаго, дѣйствующаго на воротъ, по F. Rziha, 15000 до 12000 mkg въ часъ для 8 и соотв. 12-часового рабочаго дня, при высотѣ подъема не болѣе 100 m.

Для болѣе значительныхъ грузовъ или болѣе быстраго подъема примѣняются **конные приводы**. Плечо усилій 5 до 6 m. Дѣйствительная средняя производительность лошади при 8-часовой работѣ, при глубинѣ до 100 m, равна 700000 до 800000 mkg.

Паровые вороты для шахтъ, каменоломенъ, большихъ построекъ. Паровые котлы 4 до 12 атм. рабочаго давленія. Паровая машина, лебедка и котелъ на общей прочной чугунной фундаментной плитѣ или на прокатныхъ балкахъ (черт. 565 и 566). Перемѣна хода машины при помощи кулиссы Стефенсона или перемѣнныхъ золотниковъ.

Черт. 567.



Черт. 568.

Въ горномъ дѣлѣ примѣняются большею частью паровые вороты (черт. 567) безъ самостоятельнаго котла: сдвоенная машина, съ распредѣленіемъ золотникомъ и кулиссой, ручной или ножной ленточный тормазъ на передаточномъ или приводномъ валу, дроссельный клапанъ; служатъ для сборки тяжелыхъ машинныхъ частей и арматуры шахты.

НТБ ДНУЗТ

Паровые вороты (нормальные размѣры)

завода Вольфа въ Эссенѣ.

Діаметръ цилиндра. mm	Ходъ. mm	Барабанъ. Діаметръ. mm	Барабанъ. Длина. mm	Число оборотовъ въ минуту.	Подъемная сила при давленіи пара 4 атм. kg
175	250	500	1200	160	10000
200	300	500	1300	135	15000
235	400	600	1400	110	20000
260	400	600	1500	110	25000
275	460	700	1600	100	30000
300	500	700	1700	90	40000

Паровые и воздушные подъемные вороты (нормальные размѣры)

завода Вольфа въ Эссенѣ.

Діаметръ цилиндра. mm	Ходъ. mm	Барабанъ. Діаметръ. mm	Барабанъ. Ширина.	Число оборотовъ въ минуту.	Подъемная сила при давленіи пара 4 атм. kg	
150	200	700	Одинъ или два барабана шириною 500 до 1000 mm.	200	850	Скорость подъема около 1,5 до 2 m въ секунду.
175	250	800		160	1150	
200	300	1000		135	1525	
235	400	1200		110	2000	
260	400	1400		110	2550	
275	460	1500		100	2850	
300	500	1650		90	3350	
325	500	1800		90	3750	
350	500	1900		90	4600	

b. Небольшія подъемныя машины.

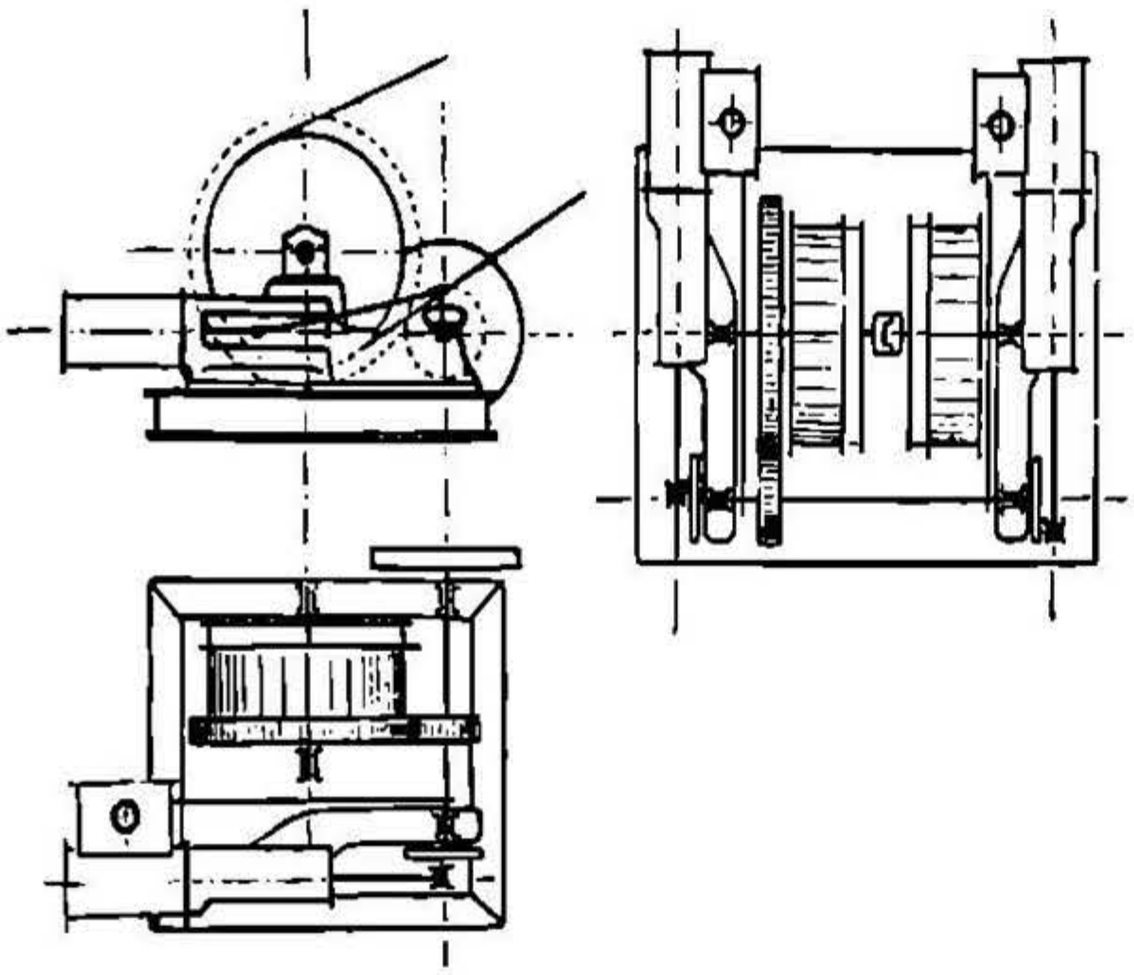
Примѣняются при добычѣ бураго угля, въ небольшихъ каменноугольныхъ шахтахъ, при добычѣ рудъ съ незначительной глубины крупными отдѣльными кусками, въ разработкѣ залежей серебра, золота и драгоцѣнныхъ камней, при большой глубинѣ и небольшихъ отдѣльныхъ грузахъ.

Одноцилиндровая или сдвоенная машина, съ распредѣленіемъ помощью золотника и кулиссы, приводитъ въ движеніе, помощью простой передачи или непосредственно, одинъ или два канатныхъ барабана, расположенныхъ на одной общей или на отдѣльныхъ

НТБ ДНУЗТ

осяхъ; помощью муфтъ можетъ работать каждый изъ барабановъ отдѣльно (см. черт. 568 до 574).

Черт. 569.



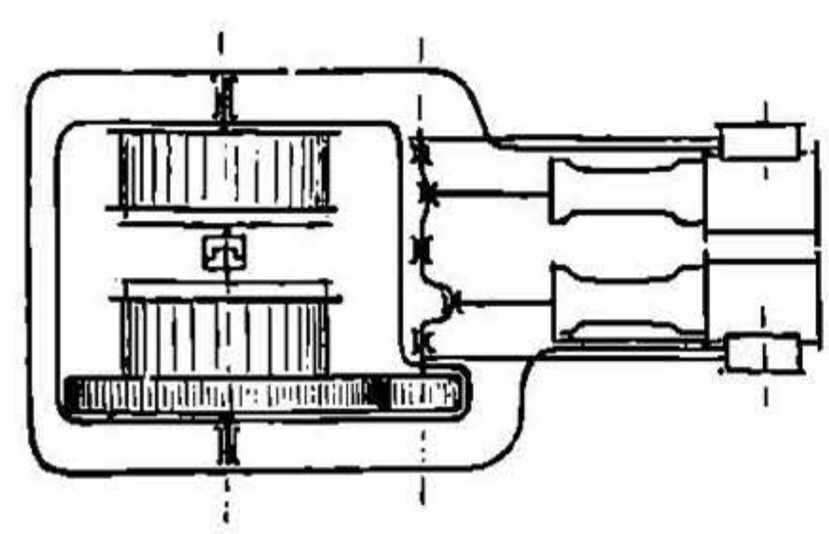
Тормазъ — съ колодками или ленточный — приводится въ дѣйствіе ножнымъ рычагомъ и червячной передачей (винтовой тормазъ), рѣдко давленіемъ пара.

Скорость каната до 5 m въ сек.

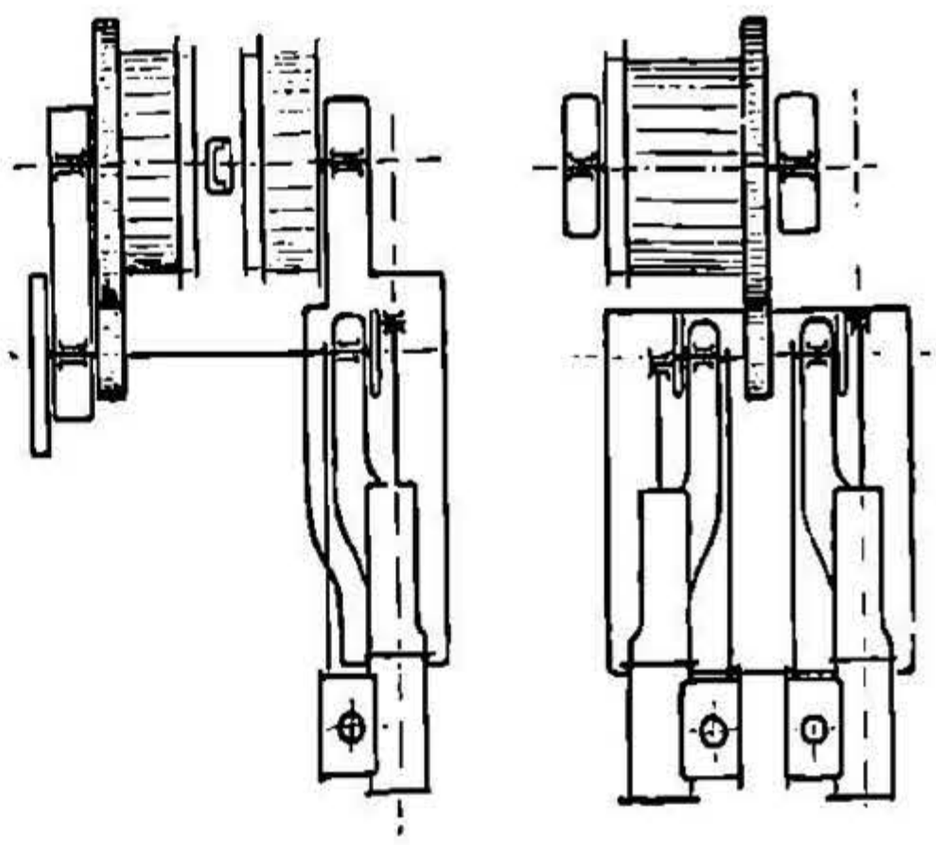
c. Подъемныя машины съ машиннымъ приводомъ безъ передачи.

(Для большихъ грузовъ и большихъ скоростей).

Черт. 570.



Черт. 571.



Свободное движеніе въ шахтѣ только въ видѣ исключенія со скоростью 0,5 до 1 m въ сек.

1. Подъемныя платформы (корзины).

Подъемныя платформы въ нѣсколько этажей, на полу каждаго этажа два вагончика, одинъ возлѣ другого, въ новѣйшее время одинъ позади другого. Число этажей 1, 2, 3, 4; число вагонотокъ 2, 4, 6, 8. При двойныхъ платформахъ часто помѣщаютъ въ каждомъ этажѣ только одинъ вагонъ, тогда число этажей 6 до 8.

Вѣсъ подъемныхъ платформъ:

при 2	4	6	8 вагонахъ
1500 до 2500	2200 до 3500	3200 до 4200	4000 до 4500 kg.
Собственный вѣсъ вагона.			300 до 350 kg,
при полезномъ грузѣ угля.			500 до 650 kg.

Направленіе предметовъ, поднимаемыхъ безъ платформъ (бочки, корзины, чаны) производится канатами (натягиваемыми помощью

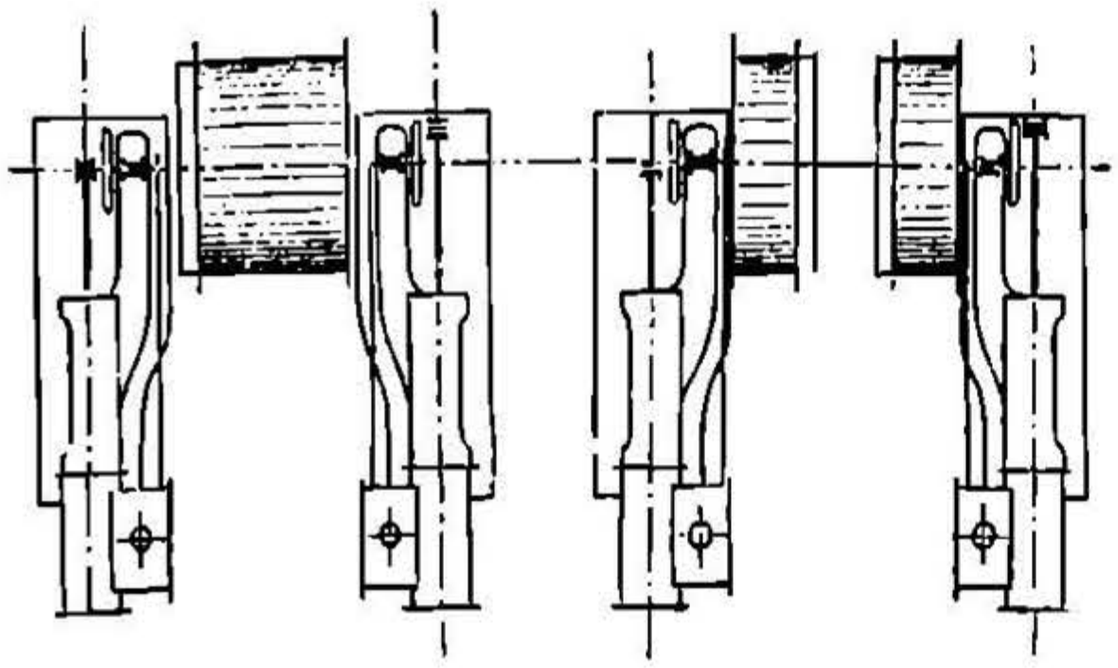
НТБ ДНУЗТ

отдѣльныхъ грузовъ), деревянными лежнями, желѣзными рельсами (системы Briart).

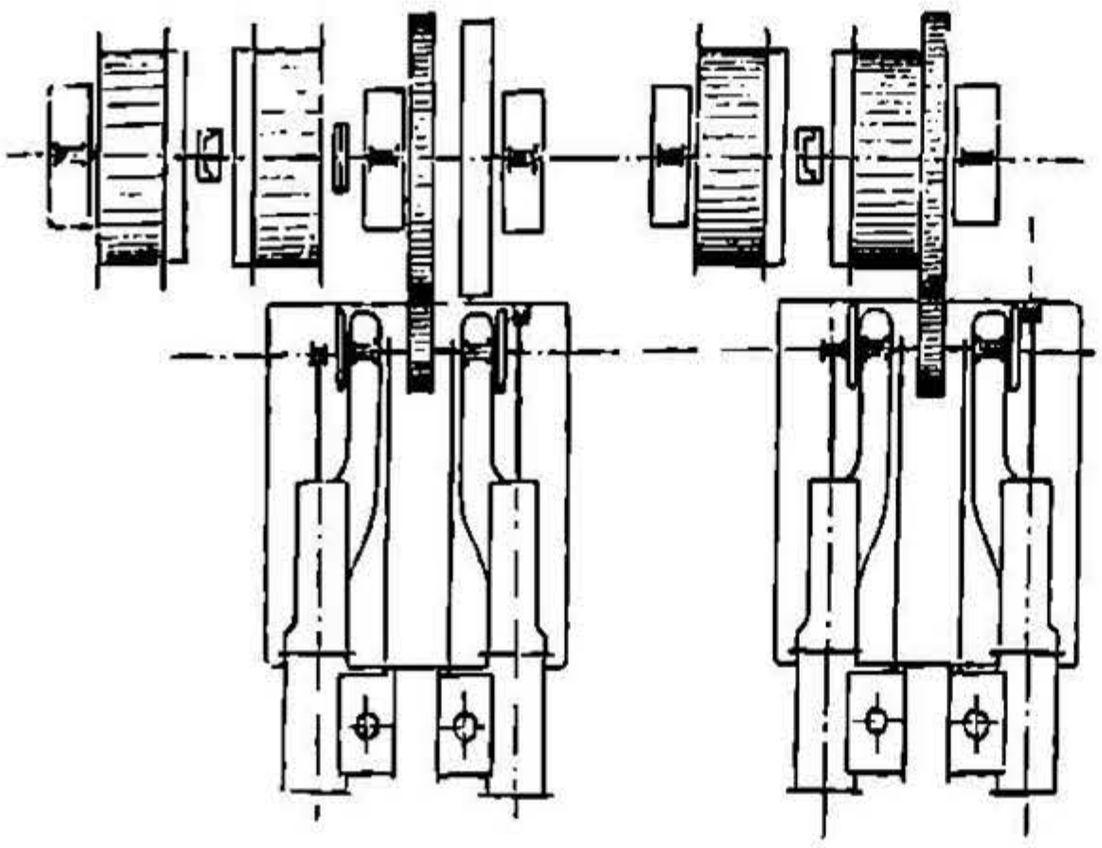
2. Канаты.

Скорость каната въ среднемъ для всей высоты подъема 10 до 12 m въ секунду, наибольшая скорость 15 до 25 m, въ зависимости отъ состоянія шахты и глубины.

Черт. 572.



Черт. 573.



Разсчеть круглыхъ и плоскихъ **подъемныхъ канатовъ** (изъ пеньки, алоэ и стальной проволоки) для подъема людей производится на разрывъ по наибольшей растягивающей силѣ, со включеніемъ собственнаго вѣса каната, съ 6-й до 8-й прочностью. Изслѣдованіе каната черезъ каждые 3 мѣсяца, кусокъ каната въ 1 m у мѣста его укрѣпленія отрѣзается и испытывается на разрывъ. Діаметръ барабана и канатнаго блока долженъ быть не меньше 1000 разъ взятой толщины проволоки.

Употребительная толщина проволоки 1.4 до 2,8 mm, рѣдко — больше. Употребительные діаметры канатовъ 22 до 52 mm, встрѣчаются до 70 mm. Подробности относительно пеньковыхъ и проволочныхъ канатовъ см. стр. 508 и слѣд.

Употребительные діаметры барабановъ.

Ходъ машины	1	1,2	1,6	1 8	2	2,2	m
Цилиндрич. барабаны	3	4	6	7	8	8 до 10	m
Коническ. средніе . . .	3	4 до 5	5 до 5,5	6,5	7,5	8	m
барабаны. наименьшіе	2	3	3,5	4	4,5	5	m.

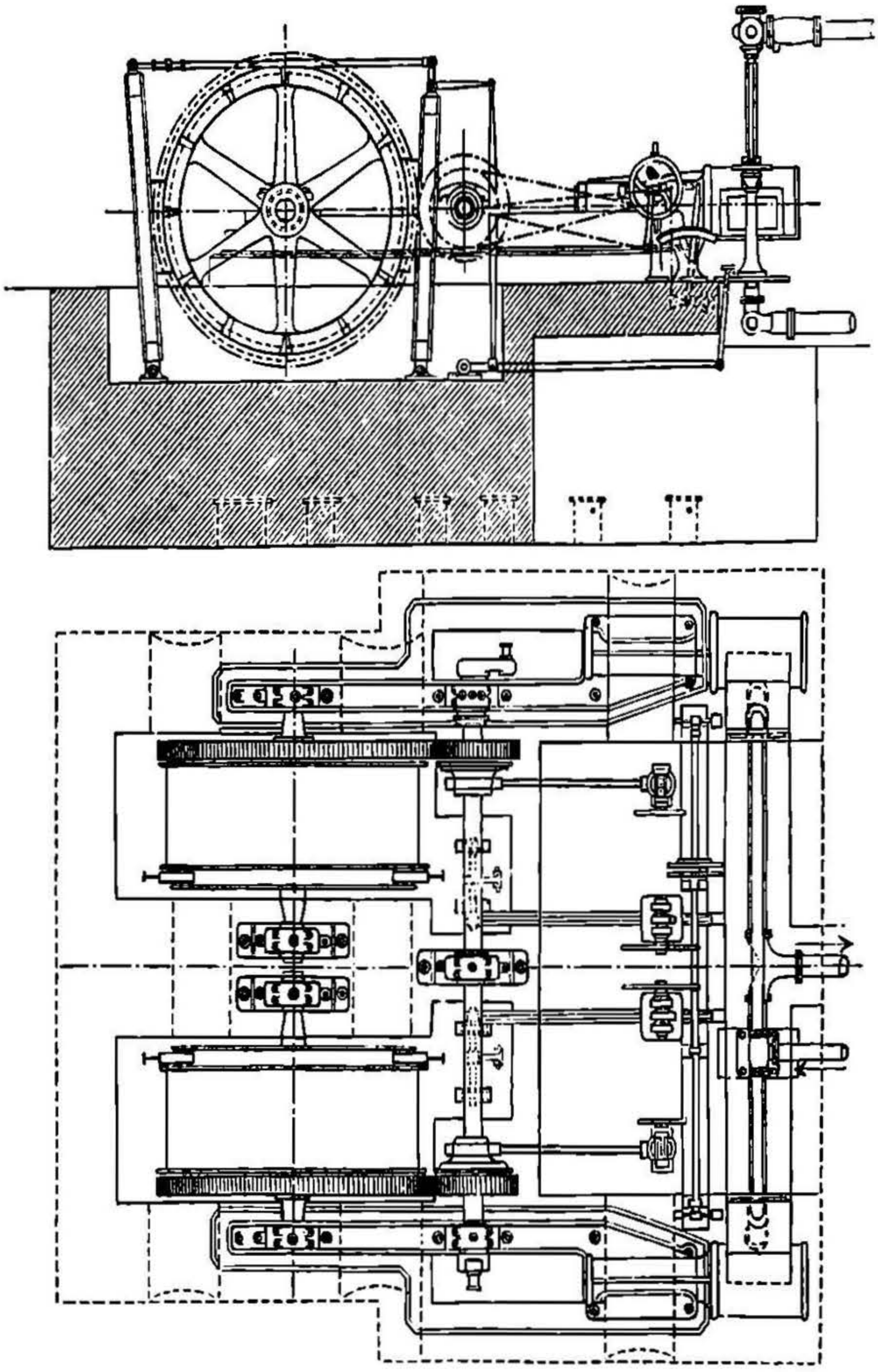
3. Уравновѣшеніе вѣса каната.

Уравновѣшеніе примѣняется особенно при большихъ глубинахъ, когда вѣсъ каната значительно превосходитъ вѣсъ полезнаго груза (отсюда стремленіе примѣнять возможно легкіе канаты, при очень

НТБ ДНУЗТ

большомъ сопротивленіи разрыву—до 20 000 kg/qcm—и, такимъ образомъ, сдѣлать нагрузку подъемной машины по возможности равномѣрнѣе и уменьшить наибольшій грузовой моментъ).

Черт. 574.



Въ машинахъ съ цилиндрическими барабанами примѣняютъ, для уравновѣшенія вѣса каната, нижній канатъ, который большею частью дѣлается такого вѣса, что въ концѣ подъема не получается отрицательнаго момента въ случаѣ, если вѣсъ каната болѣе

(Продолженіе см. стр. 687).

НТБ ДНУЗТ

Круглые подъемные канаты

завода Фельтенъ и Гильомъ въ Мюльгеймѣ *).

Толщина проволоки. mm	Число проволокъ въ канатѣ.	Число вспомогательныхъ сердцовинъ въ канатѣ.	Діаметръ каната. mm	Приблизит. вѣсъ 1 пог. m каната. kg	Грузъ, разрывающій канатъ, въ kg.		
					Канатъ изъ цементованной проволоки литой стали, съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву на 1 qcm полер. сѣчен.:		
					12 000 kg.	15 000 kg.	18 000 kg.
1,6	56	8	20	1,20	13520	16900	20280
	84	1	22	1,70	20280	25350	30420
	96	7	24	1,85	23170	28960	34760
	114	1	26	2,25	27500	34380	41250
	133	1	28	2,60	32100	40120	48150
1,8	56	8	23	1,50	17100	21370	25650
	84	1	25	2,10	25660	32100	38490
	96	7	27	2,30	29320	36650	43980
	114	1	29	2,75	34800	43500	52200
	133	1	31	3,25	40600	50750	60900
2,0	96	7	30	2,85	36200	45250	54300
	114	1	32	3,40	42990	53730	64480
	133	1	35	4,00	50150	62690	75220
	162	1	38	5,00	61070	76340	91600
	180	1	41	5,70	67860	84830	101800
2,2	96	7	33	3,45	43780	54730	65670
	114	1	35	4,10	52000	65000	78000
	133	1	38	4,80	60660	75830	90990
	162	1	42	5,90	73900	92380	110850
	180	1	45	7,00	82100	102630	123150
2,5	96	7	37	4,45	56520	70650	84780
	114	1	40	5,30	67150	83940	100780
	133	1	44	6,20	78340	97930	117500
	162	1	48	7,50	95430	119290	143150
	180	1	52	9,00	106000	132500	159000
2,8	96	7	42	5,60	70930	88660	106400
	114	1	45	6,70	84240	105300	126360
	133	1	49	7,80	98280	122850	147420
	162	1	53	10,60	119700	149630	179550
	180	1	58	11,30	133000	166250	199500
3,1	96	7	47	6,85	86970	108710	130460
	114	1	50	8,20	103250	129060	154880
	133	1	55	9,60	120560	150700	180840
	162	1	59	13,00	146730	183410	220100
	180	1	64	13,80	163060	203830	244590

*) Подробности см. стр. 511 и 512.

НТБ ДНУЗТ

Проволочные канаты съ плоскими стренгами *).

Діаметръ каната. mm	Приблизит. вѣсъ 1 пог. m каната. kg	Толщина проволоки въ наружной части mm	Грузъ, разрывающій канатъ въ kg.				
			Бессемеровая стальн. проволока съ $K_z =$ 6000 до 7000 kg/qcm.	Патентован. стал. прокол. съ $K_z =$ 9000 до 10 000 kg/qcm.	Патентованная проволока изъ литой стали съ $K_z =$ 12 000 до 13 600 kg/qcm.	15 000 до 16 000 kg/qcm.	17 500 до 19 000 kg/qcm.
21	1,80	1,25	10700	15400	20200	25000	29000
22	1,95	1,35	11800	16900	22200	27500	31900
23	2,10	1,40	12900	18500	24200	30000	34800
24	2,30	1,45	14100	20100	26400	32600	37800
25	2,50	1,50	15300	21800	28600	35400	41000
26	2,70	1,55	16500	23600	31000	38400	44500
27	2,95	1,65	17800	25700	33700	41700	48300
28	3,15	1,70	19200	27600	36100	44600	51900
29	3,35	1,75	20600	29600	38800	48000	55700
30	3,55	1,80	22000	31600	41400	51200	59400
31	3,75	1,90	23500	33800	44300	54800	63600
32	4,00	1,95	25000	36000	47200	58300	67600
33	4,25	2,00	26600	38300	50100	62000	71900
34	4,50	2,05	28200	40600	53100	65700	76200
35	4,75	2,10	29900	43000	56400	69700	80900
36	5,00	2,20	31600	45400	59500	73600	85300
37	5,30	2,25	33400	48000	62900	77800	90200
38	5,60	2,30	35200	50500	66200	81800	94900
39	5,90	2,35	37100	53300	69800	86300	100100
40	6,25	2,40	39000	56000	73400	90800	105300

Гладніе проволочные канаты для подъемныхъ машинъ и подъемниковъ *).

Діаметръ каната. mm	Діаметръ блока долженъ быть по возможности не меньше m	Грузъ, разрывающій канатъ. kg	Приблиз. вѣсъ 1 пог. m каната.	Діаметръ каната. mm	Діаметръ блока долженъ быть по возможности не меньше m	Грузъ, разрывающій канатъ. kg	Приблиз. вѣсъ 1 пог. m каната.
13	2,00	13500	0,95	25	3,00	48900	3,40
14	2,00	15600	1,10	26	3,25	53100	3,70
15	2,00	17700	1,25	27	3,25	57200	4,00
16	2,00	19800	1,40	28	3,50	61400	4,30
17	2,25	22600	1,60	29	3,50	66100	4,60
18	2,25	25500	1,80	30	3,75	70800	4,90
19	2,25	28100	2,00	31	3,75	75500	5,20
20	2,50	31200	2,20	32	4,00	80200	5,50
21	2,50	34500	2,40	33	4,00	85400	5,85
22	2,75	38000	2,60	34	4,25	90600	6,20
23	2,75	41600	2,85	35	4,50	96300	6,60
24	3,00	45300	3,10				

Приведенныя данныя относятся къ канатамъ изъ проволоки литой стали съ временнымъ сопротивленіемъ растяженію $K_z = 12\,500$ kg/qcm.

*) Завода Фельтенъ и Гильомъ въ Мюльгеймѣ; ср. стр. 512.

НТБ ДНУЗТ

Гладкіе проволочные канаты изъ толстой проволоки *).

Діаметръ каната. mm	Грузъ, разрывающій канатъ. kg	Приблизит. вѣсъ 1 пог. m каната. kg	Діаметръ каната. mm	Грузъ, разрывающій канатъ. kg	Приблизит. вѣсъ 1 пог. m каната. kg
25	21600	3,5	33	37620	6,2
26	23320	3,8	34	39900	6,7
28,5	27060	4,2	35	42330	7,0
30	31070	5,2	37	47300	8,0
31,5	32080	5,6	38	49900	8,2
32	35380	5,75	39	52540	8,75

Приведенныя величины разрывного груза относятся къ мягкой стали лучшаго качества съ временнымъ сопротивленіемъ растяженію $K_z = 5600$ kg/cm.

Плоскіе подъемные канаты **).

Толщина проволоки. mm	Число проволокъ въ канатѣ.	Ширина каната. mm	Толщина каната. mm	Приблизит. вѣсъ 1 пог. m каната. kg	Грузъ, разрывающій канатъ, въ kg.			
					Желѣзо или Бессемерова сталь	Патентованная проволока литой стали		
					съ временнымъ сопротивленіемъ растяженію на 1 qcm попереч. сѣченія проволоки.			
					5500 kg.	12 000 kg.	15 000 kg.	18 000 kg.
1,8	120	68	16	3,10	16800	36600	45750	54900
	144	77	18	3,70	20150	43920	54900	65880
	168	82	19	4,30	23510	51240	64050	76860
	192	93	20	5,15	26870	58560	73200	87840
	224	110	19	5,70	31350	68320	85400	102480
	256	124	20	6,90	35830	78080	97600	117120
	288	135	24	7,70	40300	87840	109800	131760
	320	150	25	8,50	44780	97600	122000	146400
2,0	120	76	18	3,80	20730	45240	56500	67860
	144	85	20	4,55	24880	54300	67800	81450
	168	91	22	5,30	29020	63350	79100	95000
	192	104	23	6,35	33170	72400	90500	108600
	224	120	22	7,10	38700	84460	105600	126700
	256	138	23	8,50	44230	96520	120650	144800
	288	150	26	9,50	49760	108580	135700	162870
	320	165	28	10,60	55300	120640	150800	180960

*) Завода Фельтенъ и Гильомъ въ Мюльгеймѣ, см. стр. 513.
**) Тоже; см. стр. 512.

НТБ ДНУЗТ

вѣса полезнаго груза (вѣсъ нижняго каната равенъ вѣсу подъемнаго каната за вычетомъ полезной нагрузки).

Въ машинахъ съ движущими шнивами всегда долженъ быть нижній канатъ такого же вѣса, какъ и подъемный канатъ (статическій моментъ груза постояненъ во время всего подъема).

Уравновѣшеніе безъ нижняго каната достигается:

1. Посредствомъ катушекъ, т.-е. барабановъ съ боковыми направляющими для ложащихся одинъ на другой оборотовъ ленточнаго каната (изъ пеньки, алоэ, стальной проволоки).

Разсчетъ катушекъ производится, принимая во вниманіе наименьшій допускаемый діаметръ барабана при извѣстной толщинѣ проволоки, слѣд. образомъ.

Обозначенія:

d толщина каната въ cm,

r наименьшій, R наибольшій радіусъ при навиваніи каната въ cm,

S вѣсъ каната, принимаемаго одной катушкой,

G полезный грузъ (нагрузка вагоновъ),

Q вѣсъ подъемной платформы и порожнихъ вагончиковъ,

T глубина въ cm.

Уравненіе, выражающее постоянство моментовъ въ началѣ и концѣ подъема:

$$r(S+Q+G)-RQ=R(Q+G)-r(Q+S),$$

откуда:
$$R=r\left(1+\frac{2S}{2Q+G}\right)=\psi r.$$

Кромѣ того, примѣняя приблизительную формулу для длины Архимедовой спирали (стр. 116), имѣемъ:

$$r=\sqrt{\frac{Td}{\pi\left(\frac{R^2}{r^2}-1\right)}}.$$

2. Посредствомъ коническихъ барабановъ. Радіусъ барабана увеличивается отъ r до R (въ cm), соотвѣтственно измѣняющемуся моменту груза, какъ при катушкахъ; для постояннаго момента такъ же получаемъ:

$$R=r\left(1+\frac{2S}{2Q+G}\right)=\psi r.$$

Если α уголъ наклона производящей барабана, l навиваемая длина въ cm, и обороты каната ложатся плотно другъ къ другу, то:
$$\sin\alpha=\frac{R-r}{l} \quad \text{и} \quad l=\frac{Td}{\pi(r+R)}.$$

При большой глубинѣ шахты и большомъ вѣсѣ каната для образующей конуса получается значительный уголъ наклона; въ этомъ случаѣ примѣняются т. наз. спиральные барабаны, причемъ разстояніе между ручьями (канавками) уменьшается по направленію отъ наименьшаго къ наибольшему радіусу. Необходимо

НТБ ДНУЗТ

принимать въ разсчетъ уголъ набѣганія на слѣдующую вышележащую канавку, α—уменьшается, l—увеличивается.

Точное статическое уравновѣшеніе вѣса каната обусловливается очертаніемъ производящей барабана по пологой кривой *).

4. Разсчетъ подъемныхъ машинъ.

Размѣры барабана выбираются въ зависимости отъ діаметра каната и требуемой ширины (уголъ отклоненія каната долженъ быть возможно меньше, уголъ между крайними положеніями каната 2 до 3^0); въ зависимости отъ наименьшаго начальнаго діаметра для катушекъ и коническихъ барабановъ и безопасности относительно скольженія каната въ канатныхъ шкивахъ ($\mu = 0{,}5$, см. ленточные тормаза, стр. 526 и слѣд.).

Ходъ машины и діаметръ цилиндра опредѣляются по необходимому грузовому моменту, притомъ такъ, чтобы каждый цилиндръ въ отдѣльности могъ преодолѣвать при самомъ выгодномъ положенія кривошипа наибольшій возможный моментъ, и во всякомъ случаѣ, моментъ при началѣ подъема или при проходѣ мимо поддерживающихъ приспособленій (опоръ) въ шахтѣ. Для всѣхъ потерь отъ тренія на пространствѣ между поршнемъ и платформой (включая потери между давленіемъ пара на поршень и силой на окружности кривошипа) считаютъ отъ 30 до 40%. Чѣмъ надежнѣе ведется разсчетъ, тѣмъ скорѣе можно пренебречь или отнести на счетъ второго цилиндра силы инерціи при началѣ подъема и неизвѣстныя потери при нормальной работѣ.

Хорошо трогающія съ мѣста машины должны удовлетворять вышеприведеннымъ даннымъ; машины эти—сдвоенныя, затѣмъ компаундъ-машины въ томъ лишь случаѣ, когда при уравновѣшенномъ канатѣ, во время нормальной работы (средняя на весь подъемъ скорость каната) въ цилиндрѣ высокаго давленія достаточно наполненіе не болѣе 40%.

Если канатъ не уравновѣшенъ, то можно половину вѣса каната (для одной платформы) прибавить къ полезной нагрузкѣ и принять наполненіе, какъ показано выше.

Средняя скорость поршня v_m, вычисляемая по средней скорости каната, находится въ предѣлахъ отъ 1,5 до 2,5 m въ секунду, такъ что:

$$v_m = \frac{2s}{\pi D} v_s = 1{,}5 \text{ до } 2{,}5 \text{ m въ сек.},$$

если D діаметръ барабана, s ходъ поршня въ m.

Хорошіе результаты даютъ условія:
для сдвоенныхъ машинъ: діаметръ цилиндра = половинѣ хода,

---

*) См. J. v. Hauer, Die Fördermaschinen der Bergwerke, 3 изд. 1885; кромѣ того, C. v. Reiche, Der Dampfmaschinen-Konstrukteur, часть II: Werkzeug-Dampfmaschinen, 1883. — „Glückauf", Zeitschr. 1895, № 23 до 26.

НТБ ДНУЗТ

для машинъ компаундъ: діаметръ цилиндра высокаго давленія = = половинѣ хода,

давленіе пара въ новыхъ конструкціяхъ 8 до 12 атмосферъ, въ старыхъ—4 до 7 атмосферъ.

Болѣе точный разсчетъ машины слѣдуетъ производить по діаграммѣ скоростей, если требуется извѣстная производительность въ теченіе точно опредѣленнаго времени. Принимая во вниманіе треніе въ самой машинѣ и канатныхъ блоковъ, жесткость каната, опредѣляютъ сопротивленіе платформы въ направляющихъ и отъ давленія воздуха, силы инерціи для всѣхъ вращающихся и прямолинейно движущихся массъ (барабанъ и валъ, части кривошиповъ и тягъ, канатные блоки, канатъ, платформы и нагрузка каната), отнесенныя лучше всего къ среднему діаметру барабана, и по необходимой тангенціальной силѣ на окружности кривошипа находятъ, помощью діаграммы тангенціальныхъ усилій, обратно давленіе на поршень.

Условіе, чтобы одинъ цилиндръ могъ преодолѣть наибольшій возможный моментъ, остается при этомъ въ силѣ.

Для устройствъ съ полнымъ уравновѣшеніемъ каната кривая скоростей можетъ быть выбрана какой угодно, при наибольшей скорости, почти равной средней (отклоненіе тѣмъ больше, чѣмъ больше высота подъема и вѣсъ каната); примѣняются машины съ сильнымъ расширеніемъ пара.

При неуравновѣшенномъ канатѣ поднимающуюся кривую для скоростей слѣдуетъ выбирать параболической (поднимающейся до $1^1/_2$ до 2-ной величины требуемой средней скорости на протяженіи 50 до 70% всей глубины), а затѣмъ спускающейся по прямой линіи до начала подъема; машины выходятъ или очень большія или съ незначительной утилизаціей расширенія пара и съ примѣненіемъ контръ-пара при концѣ подъема.

5. Пораспредѣленіе.

Для небольшихъ машинъ (ходъ < 1000) пораспредѣленіе золотниками и кулиссами; для большихъ—исключительно клапанами и кулиссами или кулачками, по Крафту-Бріальмону, нѣсколько конструкцій. Для начала подъема и прохода черезъ поддерживающія приспособленія (опоры) пораспредѣленіе должно допускать наполненіе до 98%, причемъ сжатіе и предвареніе впуска = почти нулю, предвареніе выпуска также равно нулю. Кривошипы и шатуны должны быть статически уравновѣшены.

При увеличеніи степени расширенія, соотвѣтственно меньшей производительности во время одного оборота при увеличивающейся скорости, пораспредѣленіе, удовлетворяя вышеизложеннымъ требованіямъ для полнаго наполненія, должно приближаться къ условіямъ работы нормальной паровой машины, т.-е. давать необходимыя предваренія впуска, выпуска и сжатіе. Этого легко до-

НТБ ДНУЗТ

стигнуть въ распредѣленіяхъ посредствомъ фасонныхъ кулаковъ (шайбъ), посредствомъ кулиссъ только при примѣненіи особыхъ расширительныхъ кулиссъ (рѣдко примѣняются вслѣдствіе затруднительнаго ухода), или посредствомъ добавленія особыхъ клапановъ съ механизмами, приводимыми въ дѣйствіе отъ регулятора или неподвижнаго останова, при вполнѣ выложенномъ парораспредѣлительномъ механизмѣ.

Требованія, предъявляемыя къ хорошему распредѣленію: удобное управленіе посредствомъ одного рабочаго, въ случаѣ необходимости употребленіе вспомогательнаго распредѣленія *) (вспомогательный моторъ Goffint'a, Beer'a).

Конструкція клапановъ. Большею частью впускной и выпускной клапаны соединены въ одной клапанной коробкѣ и расположены рядомъ съ цилиндромъ, рѣдко надъ и подъ цилиндромъ, какъ въ обыкновеннымъ паровыхъ машинахъ съ клапаннымъ распредѣленіемъ. Боковое расположеніе клапановъ имѣетъ преимущество легкаго ухода и осмотра, удобной обработки и установки. Болѣе значительныя вредныя пространства, вслѣдствіе бокового расположенія клапановъ, не оказываютъ никакого вліянія на расходъ пара, по являются полезными при сжатіи во время работы контръ-паромъ, (сжатіе въ 17 до 20 атм. получается часто, несмотря на предохранительные клапаны, устанавливаемые какъ соединеніе между цилиндромъ и паропроводной трубой, для избѣжанія потерь пара и шума см. черт. 575 до 578).

6. Тормаза.

Остановка и уменьшеніе скорости должны при правильно исполненномъ устройствѣ происходить отъ дѣйствія парораспредѣленія, тормаза должны служить только для остановки платформы, когда машина находится въ покоѣ, каковое условіе имѣетъ мѣсто при остановкѣ платформы въ любомъ мѣстѣ шахты, или при отсутствіи въ шахтѣ поддерживающихъ приспособленій (опоръ) для платформы, а равно при неправильной эксплоатаціи, вслѣдствіе какихъ-нибудь случайностей.

Тормаза исполняются какъ двойные тормаза съ колодками, покрытыми деревомъ, дѣйствующими на желѣзныя, рѣдко на чугунныя, тормазныя кольца.

Нажатіе тормазныхъ колодокъ (большею частью 4) производится давленіемъ пара и грузами, посредствомъ передаточныхъ рычаговъ (1 : 8 до 1 : 14) или винтовой передачи; часто соединяются всѣ три способа, притомъ такъ, что каждый можетъ работать самостоятельно.

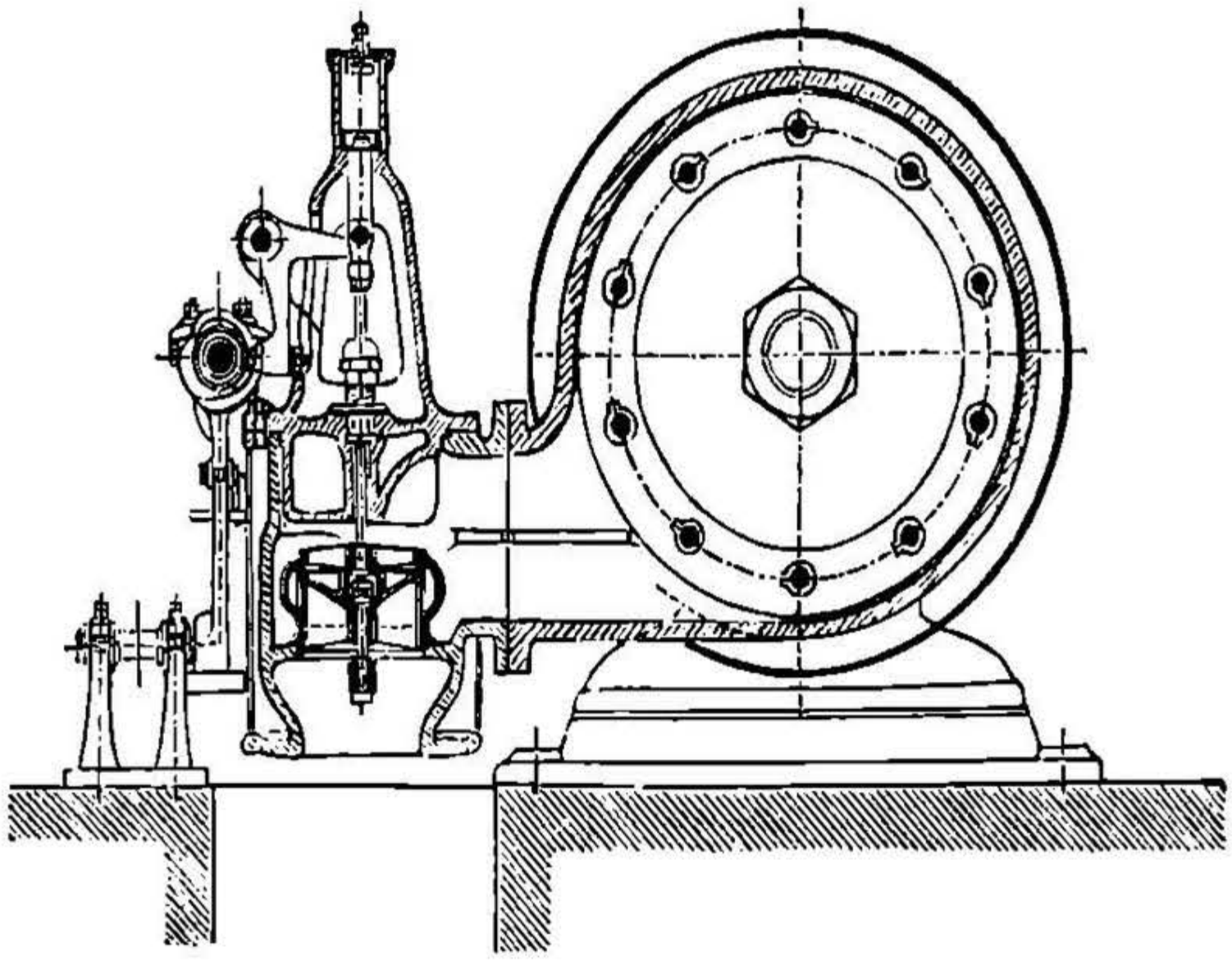
---

*) См. v. Hauer, Fördermaschinen, 1885; кромѣ того, Rittershaus, Civilingenieur 1879, томъ XXV, стр. 323.

НТБ ДНУЗТ

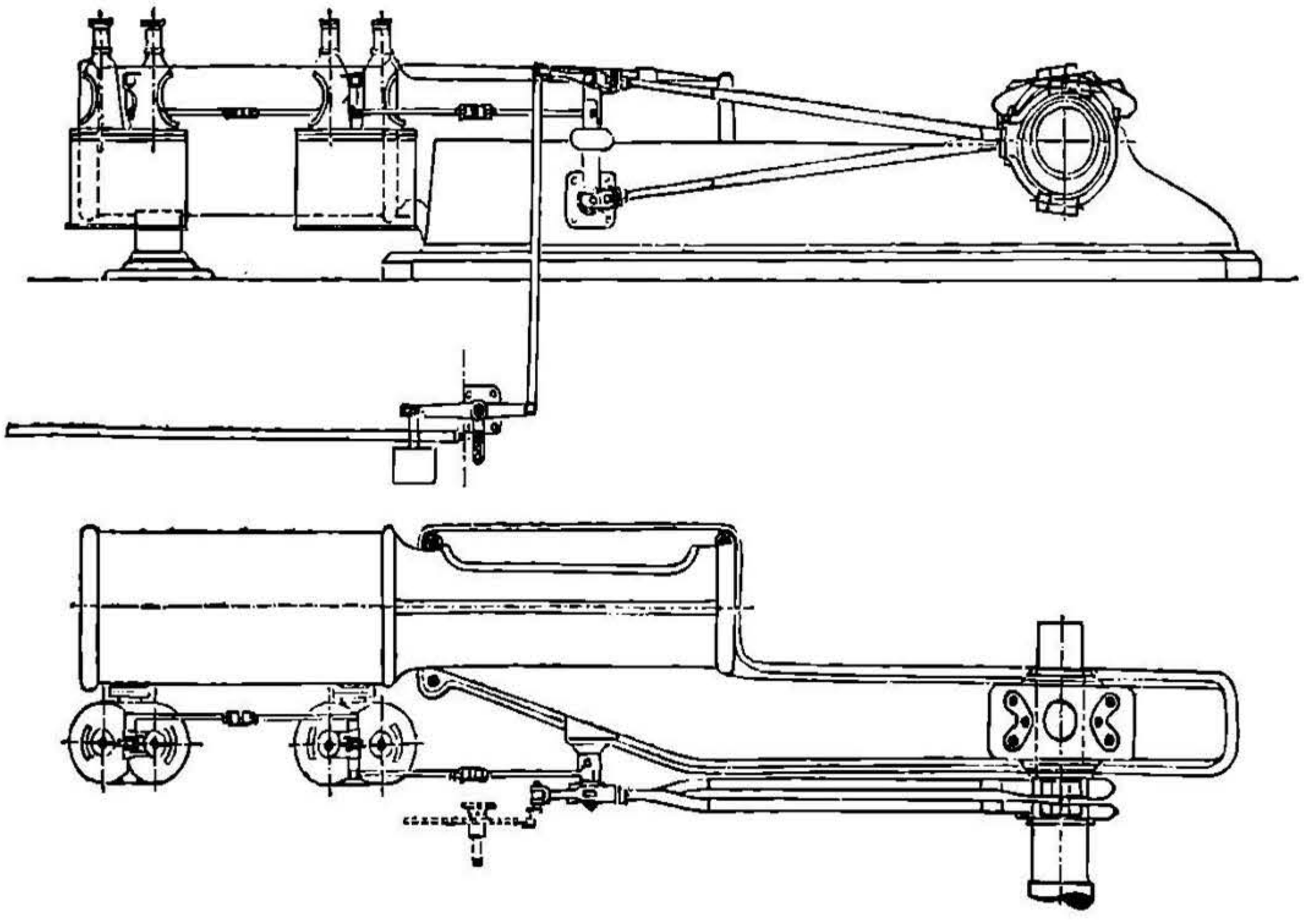
Ослабленіе тормазовъ производится обратнымъ движеніемъ поршня посредствомъ давленія пара или противовѣсовъ. Подъемъ

Черт. 575.



тормазныхъ грузовъ производится посредствомъ цѣпныхъ или канатныхъ лебедокъ, снабженныхъ легко ослабляемымъ остановомъ.

Черт. 576.



Требуемая **тормазящая сила** P на окружности тормазного кольца выбирается въ зависимости отъ того, долженъ-ли тормазъ

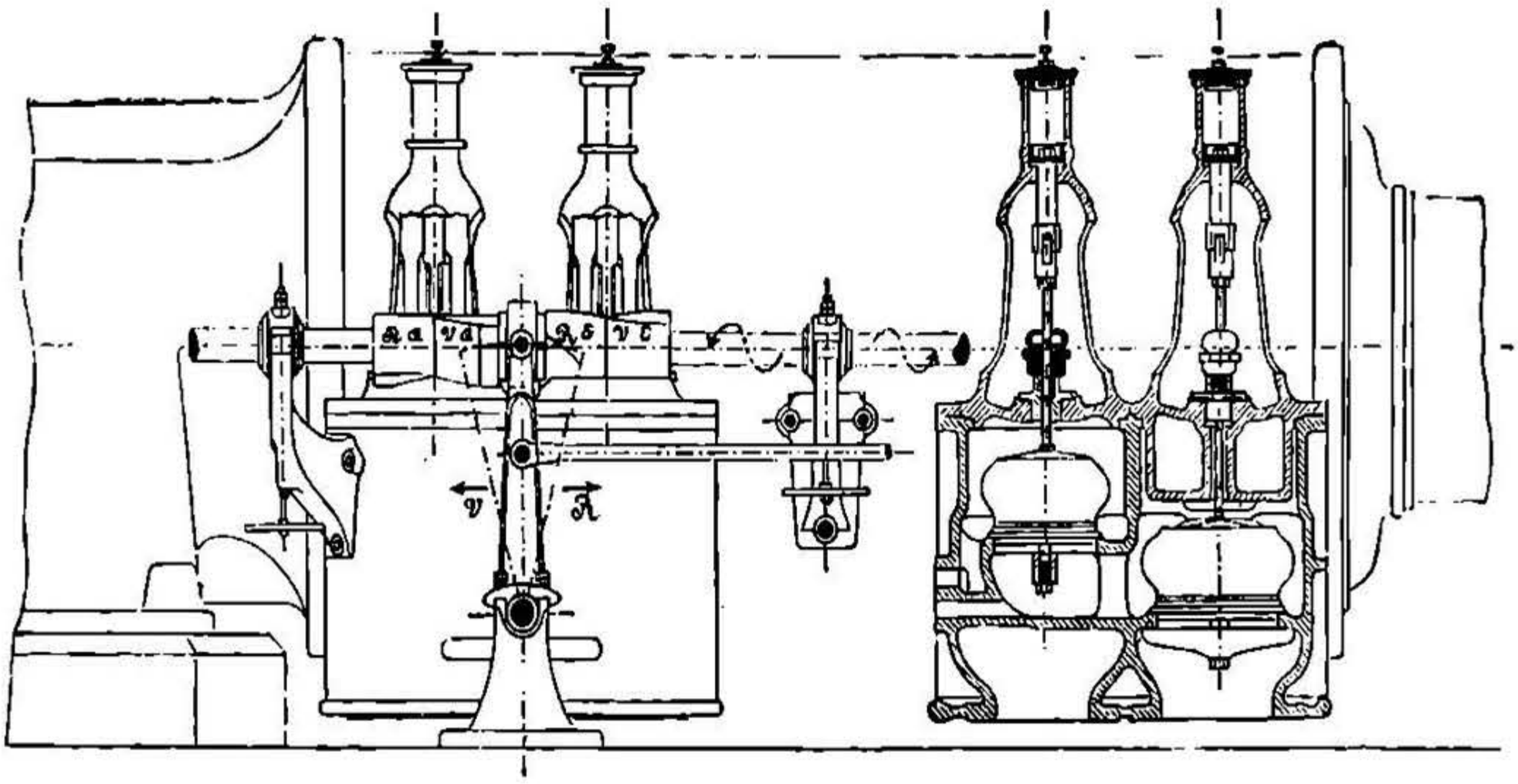
НТБ ДНУЗТ

воспринимать натяженіе каната или также останавливать движеніе машины. Наименьшая тормазящая сила P для подъема двумя канатами (S, G и Q см. стр. 687):

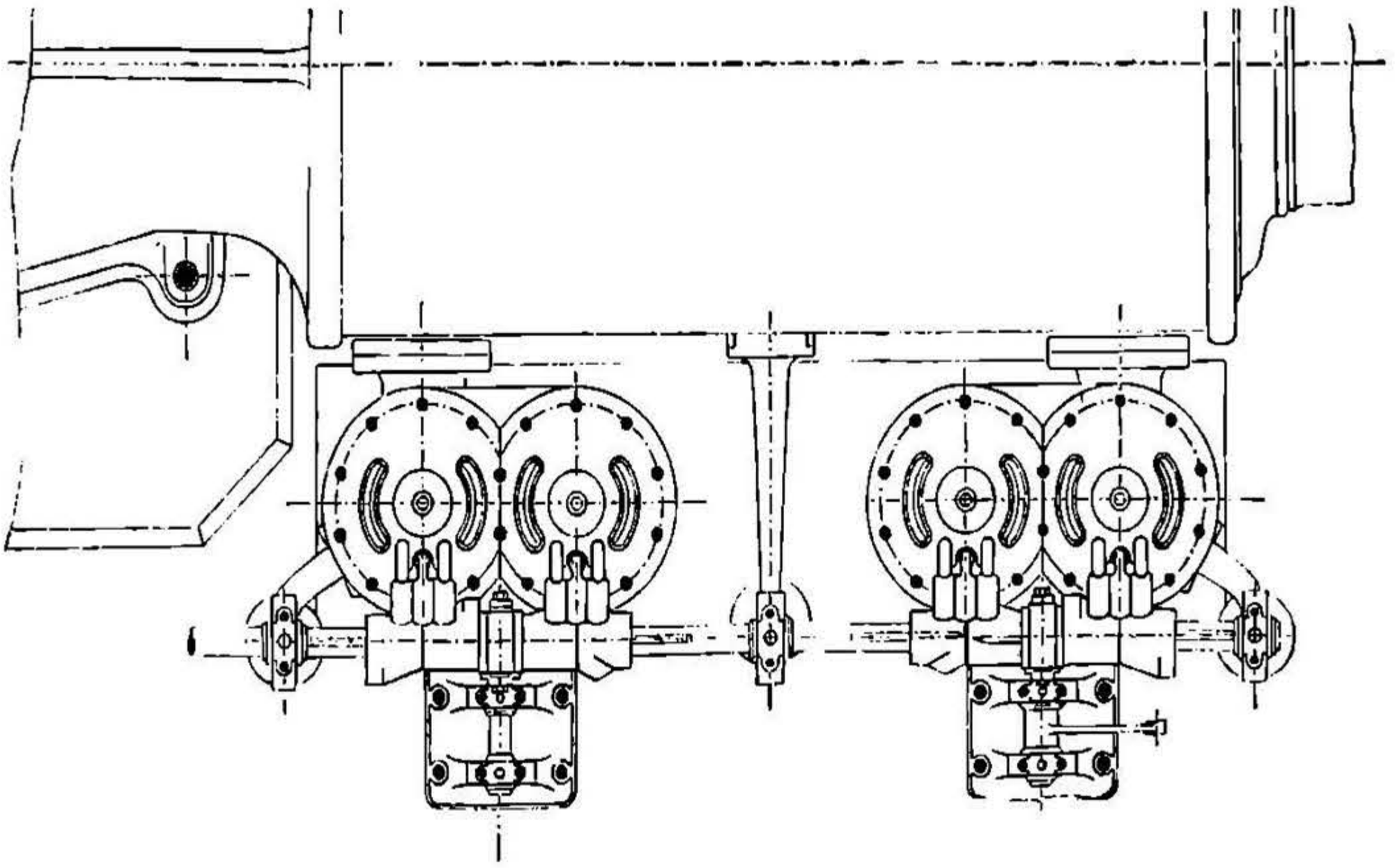
$$P = \frac{R}{r}(S + G + Q),$$

гдѣ R радіусъ барабана, до средины каната, въ cm,
r радіусъ тормазного кольца въ cm.

Черт. 577.



Черт. 578.



Хорошія конструкціи, при давленіи 5 атм. въ тормазномъ цилиндрѣ (даже при болѣе высокомъ давленіи пара), даютъ соотношеніе:

$$\frac{B}{S + Q} = 2{,}5 \text{ до } 3,$$

НТБ ДНУЗТ

гдѣ B обозначаетъ нормальное давленіе на каждую тормазную колодку.

При $\mu = 0{,}5$ (дерево по желѣзу, сухое, см. стр. 218) имѣемъ, слѣд., для 4 колодокъ:

$$P = 5\,(S + Q)\,\frac{R}{r} \text{ до } 6\,(S + Q)\,\frac{R}{r}$$

Это значеніе всегда больше требуемой наименьшей величины

$$P = \frac{R}{r}\,(S + G + Q).$$

Если l_1 (въ cm) обозначаетъ часть высоты подъема, на которой происходитъ тормаженіе, L (въ cmkg) живую силу движущихся массъ въ моментъ тормаженія, то:

$$P\,l_1\,\frac{r}{R} = (S + G + Q)\,l_1 + L,$$

или:
$$P = (S + G + Q)\,\frac{R}{r} + L\,\frac{R}{r}\,\frac{1}{l_1}.$$

Величина l_1 большею частью заключается между $4\,\pi\,R$ и $8\,\pi\,R$. Поэтому, принимая въ разсчетъ замедленіе массъ, слѣдуетъ наименьшее значеніе

$$P = (S + G + Q)\,\frac{R}{r} \text{ увеличить на } 0{,}08\,\frac{L}{r} \text{ до } 0{,}04\,\frac{L}{r},$$

гдѣ L принимается соотвѣтственно скорости 15 m въ секунду.

Статическое давленіе B_0, производимое тормазомъ на тормазныя колодки, принимаютъ $0{,}7\,B$ до B.

7. Предохранительныя приспособленія.

Каждая подъемная машина снабжается однимъ или двумя **указателями глубины**, для указанія положенія платформы въ данное время. Передача движенія этимъ указателямъ производится отъ пальца кривошипа или особыхъ вспомогательныхъ валовъ, съ примѣненіемъ цѣпей и червяковъ съ червячными колесами. Устройство вертикальное со стрѣлкой для одной или обѣихъ платформъ, или же съ вращающейся стрѣлкой, круглымъ циферблатомъ, или частью дуги только для одной платформы.

Въ соединеніи съ указателемъ глубины устраиваются **звуковые сигналы**, которые въ теченіе послѣднихъ $1^1/_2$ оборотовъ барабана, ранѣе достиженія платформой высшаго положенія, должны звонить. Кромѣ того, устраиваются особыя **выключающія приспособленія**, которыя, при прохожденіи платформы черезъ наивысшую точку, освобождаютъ грузъ, вслѣдствіе чего перемѣщается золотникъ парового тормаза, освобождаются запоры грузового тормаза и закрываются запорные или дроссельные клапаны въ паропроводныхъ трубахъ.

Въ новѣйшее время, при разрѣшеніи установки подъемныхъ машинъ, требуется устройство предохранительнаго аппарата, при

НТБ ДНУЗТ

которомъ тормаженіе и преждевременное закрываніе пара происходитъ отъ дѣйствія сильно статическаго регулятора также и тогда, когда допускаемая скорость подъема въ какомъ-нибудь мѣстѣ превзойдена, или подъемныя платформы вблизи наивысшей точки подходятъ со скоростью, которая не допускаетъ спокойной остановки платформы (идущей книзу) на поддерживающія опоры въ шахтѣ.

VI. МАШИНЫ ДЛЯ ПЕРЕМѢЩЕНІЯ СЫПУЧИХЪ ТѢЛЪ *).

(Для зерна, муки, угля и т. п.)

а. Для горизонтальнаго перемѣщенія.

1. **Винты.** Пусть:
D діаметръ винта въ m, S подъемъ винта въ m,
l длина винта въ m,
n число оборотовъ въ минуту,
L дѣйствительная производительность въ литр. въ сек.,
L_1 наибольшая производительность въ литр. въ сек.,
γ вѣсъ 1 литра перемѣщаемаго матеріала въ kg,
E необходимая работа въ mkg въ сек.
Тогда должно быть:

$$D \geqq 0{,}42 \text{ m}; \qquad S \sim 0{,}7\, D; \qquad n = \frac{45}{\sqrt{D}}.$$

При сѣченіи канала въ $0{,}42 \frac{\pi D^2}{4}$ имѣемъ:

$$L_1 = 1000 . 0{,}42 \frac{\pi D^2}{4} 0{,}7\, D \frac{n}{60} = 171 \sqrt{D^5} \text{ или } D = 0{,}128 \sqrt[5]{L_1^2}$$

Кромѣ того, имѣемъ $E =$ (1,35 до 1,8) $l\, L\, \gamma$ mkg въ сек.
$=$ (0,018 до 0,024) $l\, L\, \gamma$ лош. силъ.

2. **Ленты для перемѣщенія (транспортеры)** представляютъ безконечныя полотна (изъ резины съ пеньковой прокладкой), шириной 0,2 до 1,25 m, натянутыя на горизонтальные барабаны и поддерживаемыя по длинѣ такими же роликами. Перемѣщаемый матеріалъ сыплется на одномъ концѣ полотна черезъ воронку, а на другомъ концѣ сваливается въ желобъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, при помощи особыхъ приспособленій, матеріалъ сваливается въ другомъ

*) См. H. Fischer, Zeitschr. d. V d. Ing. 1891, стр. 924 и слѣд. Далѣе M. Buhle, Lager- und Transportanlagen für Massengüter, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1899, стр. 85 и слѣд.; его же, Ueber pneumatische Getreideförderung, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 921, 953.

НТБ ДНУЗТ

мѣстѣ по длинѣ полотна. Приспособленіе это состоитъ изъ перемѣщаемой по рельсамъ телѣжки, которая на этихъ рельсахъ можетъ быть неподвижно установлена въ любомъ мѣстѣ. На телѣжкѣ имѣются два ролика, расположенные одинъ надъ другимъ; лента проводится сначала по верхнему ролику, съ котораго матеріалъ сбрасывается въ боковой желобъ. Роликъ на концѣ ленты имѣетъ приспособленіе (винтъ или грузъ), служащее для натяженія ленты. Скорость движенія лентъ:

для легкаго зерна, отрубей, муки $v = 2{,}0$ m въ сек.,
для тяжелаго зерна . . . . . $v = 2{,}5$ m въ сек.;

въ зависимости отъ этого діаметръ барабановъ принимается:

$$d \gtrless 0{,}8 \text{ m и соотв. } d \gtrless 1{,}2 \text{ m.}$$

Изъ уравненія движенія брошеннаго тѣла $y = \frac{g}{2}\frac{x^2}{v^2}$ (начало координатъ въ точкѣ пересѣченія окружности барабана и вертикали, проходящей черезъ его средину) находимъ высоту a ребра выкидывающаго желоба, удаленнаго на $x = 0{,}6\,d$, равной $a = 0{,}3\,d$.

Разстояніе обоихъ роликовъ телѣжки должно быть примѣрно равно 0,68 отъ ширины ленты B, такъ что наклонъ дна желоба можетъ составлять 45^0.

Лента проводится по цилиндрическимъ роликамъ на-плоско (ролики съ прямолинейной производящей), или лента имѣетъ корытообразную форму; въ послѣднемъ случаѣ поверхность верхнихъ несущихъ роликовъ обтачивается по выкружкѣ, или каждый цилиндрическій роликъ замѣняется двумя коническими.

Сѣченіе слоя, перемѣщающагося по лентѣ, составляетъ:

въ первомъ случаѣ $\sim 0{,}03\,B^2$ qm,
во второмъ случаѣ $\sim 0{,}07\,B^2$ qm;

лента при этомъ должна съ каждой стороны оставаться непокрытой на $0{,}1\,B$. Выпускное отверстіе подводящей воронки прямоугольное, длиной $0{,}5\,B$, и имѣетъ наклонъ въ 45^0 къ направленію ленты.

Наибольшая производительность составляетъ:

для плоской ленты. $L_1 = 30\,B^2\,v$ литр. въ сек.,
„ корытообразной ленты $L_1 = 70\,B^2\,v$ литр. въ сек.,

Если:
T натяженіе ленты въ kg,
q общая нагрузка ленты въ kg на пог. m длины,
w разстояніе между осями поддерживающихъ роликовъ въ m,
h провѣсъ ленты между роликами въ m,

то:
$$T \sim q\,\frac{w}{8}\,\frac{w}{h},$$

что при наиболѣе часто встрѣчающихся размѣрахъ ($w = 25\,h$, $w = 4$ m) даетъ: $T = 12{,}5\,q$.

Потребляемая работа (въ mkg въ сек.) составляется изъ работы тренія на верхнемъ барабанѣ:

$$E_0 = 2\,T\,.\,0{,}07\,\mu v = 122{,}5\,\mu v\,B^2,$$

НТБ ДНУЗТ

работы тренія на нижнемъ барабанѣ:

$$E_1 = 1{,}765\ T\ \ 0{,}2\ \mu v = 308{,}9\ \mu v\ B^2,$$

работы тренія на движущемъ и натяжномъ барабанѣ:

$$E_2 = 4\ T\ \ 0{,}1\ \mu v = 350\ \mu v\ B^2,$$

работы тренія на роликахъ при наибольшей длинѣ перемѣщенія F въ m:

$$E_3 = 2\ \ 28\ F\ B^2\ \ 0{,}1\ \mu v = 5{,}6\ F\ \mu v\ B^2,$$

если принять $q = 70\ B^2$ или $T = 875\ B^2$, когда 1 cbm перемѣщаемаго матеріала вѣситъ 800 kg и 1 cbm матеріала ленты вѣситъ 1400 kg.

Работа при движеніи порожнемъ составляетъ:

$$E_l = (780 + 5{,}6\ F)\ \mu v\ B^2.$$

Если требуется перемѣстить L литровъ въ сек. на длину l метровъ, то работа, необходимая для перемѣщенія, будетъ:

$$E_4 = \frac{l\ L\gamma}{v} \cdot\ 0{,}1\ \mu v = \frac{l\ L\gamma}{10}\ \mu.$$

При приближеніи къ сбрасывающему ролику, перемѣщаемый матеріалъ долженъ быть поднятъ на высоту примѣрно $1{,}5\ B$. Необходимая для этого работа равна:

$$E_5 = L\gamma\ \ 1{,}5\ B.$$

Полезная работа, такимъ образомъ, равна:

$$E_n = \left(1{,}5\ B + \frac{l\ \mu}{10}\right) L\gamma.$$

Общая работа, при $\mu = 0{,}05$, опредѣляется изъ:

$$E = E_l + E_n = (39 + 0{,}28\ F)\ v\ B^2 + (1{,}5\ B + 0{,}005\ l)\ L\gamma \text{ mkg}$$

въ сек.

3. **Подъемные желоба** (патентъ E. Крейссъ, въ Гамбургѣ) представляютъ горизонтальные, или нѣсколько наклоненные, желѣзные желоба, получающіе неравномѣрное качательное движеніе отъ кривошипа, такъ что поднимаемое зерно проталкивается всегда въ одномъ направленіи.

b. Для вертикальнаго перемѣщенія.

1. **Спускныя трубы** употребляются для перемѣщенія зерна сверху внизъ по вертикальному и наклонному направленіямъ. Наименьшій уклонъ трубъ зависитъ отъ рода продуктовъ помола, подлежащихъ перемѣщенію, и составляетъ для деревянныхъ трубъ одинаковаго поперечнаго сѣченія для:

зеренъ .	25 до 30°,	грубой крупки	45 до 50°,
дранья и передира.	40 „ 50°,	мелкой „	50 „ 55°,
размола передира .	50 „ 60°,	мелкой дроби.	55 „ 60°,
мелкаго размола на мельн. поставѣ	60 „ 65°,	отрубей	60 „ 65°,
		муки.	70 „ 80°.

Для трубъ, принимающихъ продуктъ помола прямо отъ элеватора, наименьшіе уклоны принимаются на 10 до 20° меньше.

НТБ ДНУЗТ

2. **Элеваторы съ ковшами** употребляются для перемѣщенія снизу вверхъ. Пеньковая лента, на которой укрѣплены ковши, работаетъ по двумъ барабанамъ, діаметромъ 0,5 до 0,6 m, изъ которыхъ верхній барабанъ—ведущій. Вся лента съ ковшами покрывается деревяннымъ кожухомъ, представляющимъ двѣ трубы, соединяющіяся вверху ящикомъ съ выходнымъ для зерна отверстіемъ и со съемною крышкою, а внизу—ящикомъ для помѣщенія барабана съ пріемнымъ въ немъ отверстіемъ и дверцами. Элеваторы ставятся большею частью вертикально, рѣдко—наклонно.

Пусть:

D діаметръ барабановъ въ m,
n число оборотовъ въ минуту,
v скорость на окружности барабана въ m въ сек.,
a вылетъ ковша (измѣренный нормально къ лентѣ) въ m,
b ширина ковша въ m,
t глубина ковша у ленты въ m,
M количество перемѣщаемаго матеріала въ cbm въ сек., слѣд.,
$M = 0{,}001\ L$ (L см. стр. 694),
h разстояніе отъ центра барабана до ребра, черезъ которое происходитъ выкидываніе матеріала, въ m,
w разстояніе между внутренними стѣнками кожуха въ m.

Тогда должно быть:

$$a = 0{,}14\,D; \qquad n = \frac{36}{\sqrt{D}} \text{ до } \frac{60}{\sqrt{D}};$$

$$w = D + 2.0{,}02\,D + 2.0{,}14\,D + 2 \text{ зазора} = 1{,}4\,D.$$

Для $n = \frac{36}{\sqrt{D}}$ имѣемъ $h \geqq 0{,}17\ D$, $\qquad t = 1{,}16\,a$,

разстояніе между двумя ковшами $= 1{,}2\,a$,
полезный объемъ ковша $\sim 0{,}45\,a^2 b$.

Для угла естественнаго откоса *) $\varrho = 45^0$ имѣемъ:

$$M = 0{,}45\,a^2 b\,\frac{D\pi n}{60}\,\frac{1}{1{,}2\,a} = 0{,}1\,b\,\sqrt{D^3};$$

$$v = 1{,}29\,\pi\,\sqrt[3]{\frac{M}{b}}; \qquad b = 0{,}5\,D.$$

При уменьшеніи угла естественнаго откоса до 30^0, имѣемъ:

$$M = 0{,}05\,b\,\sqrt{D^3}.$$

Расходуемая работа (пренебрегая потерей на треніе) равна:

$E_n = \gamma_0\,MH$ mkg въ сек.,

*) По Фишеру, уголъ естественнаго откоса ϱ, при свободной насыпкѣ, для

пшена	23^0	зерна	30^0	сухой земли . .	37^0
сырого леску	24^0	сухого песку	32^0	сухой глины	40^0
сырой земли	27^0	крупнаго и мелкаго гравія	36^0	сухой известк. пыли .	50^0.

При трамбованной насыпкѣ ϱ значительно больше (см. ч. II, отдѣлъ XV, давленіе земли).

НТБ ДНУЗТ

гдѣ H высота подъема въ m, γ_0 вѣсъ 1 cbm поднимаемаго матеріала въ kg и, слѣд., $\gamma_0 M$ вѣсъ поднимаемаго матеріала въ kg въ сек. Въ дѣйствительности потребляемая работа:

$$E \backsim 1{,}35\,\gamma_0 M(H+1) \text{ mkg въ сек.}$$

3. Элеваторъ Г. Лютера, въ Брауншвейгѣ, работающій разрѣженнымъ и сжатымъ воздухомъ, поднимаетъ зерно на высоту до 22 m и перемѣщаетъ его въ горизонтальномъ направленіи на разстояніе до 200 m.

VII. МАШИНЫ ДЛЯ ПОДЪЕМА ЖИДКИХЪ ТѢЛЪ *).

A. Черпательныя машины.

1. **Норіи** употребляются главнымъ образомъ для грязныхъ жидкостей; скорость цѣпи въ 1 секунду доходитъ до 1 m; коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta = 0{,}6$ до $0{,}7$.

2. **Водяной винтъ** (Архимедовъ) устраивается для подъема значительныхъ количествъ воды. Діаметръ доходитъ до 1,75 m, длина до 10,5 m. Уголъ наклона вала винта обыкновенно 30^0. Высота подъема до 4,5 m. Число оборовъ въ минуту $n < 21 : R$, гдѣ R радіусъ винта въ m. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta = 0{,}75$ до $0{,}9$.

3. **Цѣпной насосъ** (**четки**) употребляется для густыхъ жидкостей. Высота подъема до 3 m; діаметръ подъемной трубы 0,12 до 0,15 m; разстояніе между дисками (четками) 0,8 до 1 m; скорость цѣпи 0,9 до 1,2 m въ сек.; $\eta = 0{,}65$ до $0{,}75$.

4. **Водобойныя и водоподъемныя колеса** устраиваются часто для подъема значительныхъ количествъ воды; приводятся въ движеніе паровыми машинами. Лопатки (ковши) наливныхъ колесъ выступаютъ изъ замкнутыхъ барабановъ; вода можетъ быть поднимаема нѣсколько выше оси колеса. Высота подъема до 5 m. Діаметръ колеса отъ 5 до 10 m; скорость на окружности 1 до 3 m въ сек.; число оборотовъ въ минуту 2 до 5; объемный коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\lambda = 0{,}8$ до $0{,}95$; механическій $\eta = 0{,}7$ до $0{,}8$.

Производительность и расходуемая работа черпательныхъ машинъ.

Обозначимъ черезъ:

Q количество жидкости, поднимаемое въ секунду, въ cbm,
q количество жидкости, выбираемое однимъ ковшемъ, въ cbm,
γ вѣсъ 1 cbm жидкости въ kg,
H высоту подъема въ m,
n число оборотовъ въ минуту,

---

*) По К. Гартману и Кноке: Die Pumpen; Berlin, 1897.

НТБ ДНУЗТ

N необходимую работу въ лошадиныхъ силахъ,

λ объемный коэффиціентъ полезнаго дѣйствія (при хорошей конструкціи въ машинахъ съ черпаками $\lambda \sim 1$, въ машинахъ съ движущимися поверхностями $\lambda = 0{,}8$ до $0{,}9$),

η механическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія.

Тогда **для норіи и цѣпного насоса:** $Q = \frac{\lambda v q}{a}$,

гдѣ v скорость движенія цѣпи въ m въ сек., a разстояніе между дисками (четками) въ m;

для **водоподъемныхъ колесъ:** $Q = \lambda \frac{n z}{60} q$, гдѣ z число черпаковъ;

для **водобойныхъ колесъ:** $Q = \lambda \frac{\pi (D^2 - D_1^2)}{4} B \frac{n}{60}$,

гдѣ B ширина колеса въ m, D и D_1 наружній и внутренній діаметры обода колеса въ m;

для **водяного (Архимедова) винта:** $Q = \lambda \frac{n z}{60} q$,

гдѣ z число ходовъ винта.

Необходимая работа опредѣляется по:

$$N = \frac{1}{\eta} \frac{\gamma Q H}{75} \text{ лош. силъ.}$$

B. Насосы.

Подъемъ жидкостей производится:

a) давленіемъ воздуха или пара (всасываніемъ, сжатымъ воздухомъ, пульзометрами),

b) струею давящей воды (водоструйные приборы), сжатаго воздуха или пара (инжекторы),

c) быстро вращающимися колесами съ лопатками (центробѣжные насосы),

d) поршнями (поршневые насосы).

Обозначимъ чрезъ:

H_s высоту всасыванія въ m,
L_s длину всасывающаго трубопровода въ m,
F_s поперечное сѣченіе всасывающаго трубопровода въ qm,
H_d высоту нагнетанія въ m,
L_d длину нагнетательнаго трубопровода въ m,
F_d поперечное сѣченіе нагнетательнаго трубопровода въ qm,
A высоту столба жидкости, соотвѣтствующую атмосферному давленію ($A = 10{,}333$ m для воды, см. стр. 275),
g ускореніе отъ силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec^2.

НТБ ДНУЗТ

a. Подъемъ давленіемъ воздуха или пара.

1. Подъемъ посредствомъ всасыванія.

Обозначимъ чрезъ:

H_s полную высоту подъема (всасыванія) отъ входа воды въ трубу до наивысшей точки водоподъемнаго прибора, въ m,

H_f всю высоту паденія отъ наивысшей точки прибора для подъема воды до выпускного отверстія, въ m,

v и v_a скорости жидкости въ подъемной (всасывающей) трубѣ и въ выпускномъ отверстіи, въ m въ сек.,

h_s и h_f высоты, соотвѣтствующія скоростямъ, для сопротивленій движенію въ трубопроводѣ передъ и за наивысшей точкой водоподъемнаго прибора.

Дѣйствіе водоподъемнаго прибора связано слѣдующими тремя условіями:

$$H_s + \frac{v^2}{2g} + h_s \lessgtr A; \qquad H_f - H_s > h_s + h_f;$$

$$H_s + (H_f - H_s)\frac{\frac{v^2}{2g} + h_s}{\frac{v_a^2}{2g} + h_s + h_f} \lessgtr A.$$

При $H_f > A$ приборъ будетъ еще дѣйствовать, если уменьшить поперечное сѣченіе выпускного отверстія ($v_a > v$).

Воздухъ, собирающійся въ наивысшей точкѣ насоса, долженъ быть по временамъ удаляемъ черезъ особое отверстіе, для чего устраиваютъ самодѣйствующіе вантузы.

Для приведенія въ дѣйствіе приборъ отъ мѣста входа до наивысшей точки долженъ быть заполненъ водой, напр., посредствомъ пароструйнаго аппарата.

2. Подъемъ посредствомъ давленія пара.

Въ **пульзометрахъ** высота всасыванія до 8 m, высота нагнетанія < 50 m; при большихъ высотахъ устраивается нѣсколько пульзометровъ, расположенныхъ одинъ надъ другимъ.

Въ обыкновенныхъ хорошо построенныхъ пульзометрахъ 1 kg пара даетъ полезную работу 3000 до 5000 mkg. Въ пульзометрахъ двойного дѣйствія производительность достигаетъ 8000 mkg на 1 kg пара.

При небольшихъ высотахъ подъема воды получаются меньшія величины производительности, чѣмъ при большихъ. Повышеніе температуры поднимаемой воды составляетъ 2^0 при высотѣ подъема до 10 m; дальнѣйшее повышеніе температуры составляетъ около $1{,}5^0$ на каждые 10 m высоты подъема. Въ пульзометрахъ двойного дѣйствія повышеніе температуры воды около 1^0 на каждые 10 m высоты подъема.

НТБ ДНУЗТ

b. Водо- и пароструйные насосы.

1. Водоструйные насосы.

Приборы эти при равномѣрномъ ихъ дѣйствіи устраиваются для подъема до 150 cbm въ 1 часъ, если имѣютъ свободный напоръ отъ 3 до 800 m; коэффиціентъ полезнаго дѣйствія зависитъ отъ отношенія общей высоты напора къ геометрической высотѣ подъема и колеблется между $\eta = 0{,}15$ и $0{,}40$; η тѣмъ больше, чѣмъ ближе это отношеніе къ единицѣ.

Водоструйные приборы изготовляются самыхъ разнообразныхъ размѣровъ и имѣютъ большое примѣненіе въ горномъ дѣлѣ, при устройствѣ основаній, для откачиванія воды изъ погребовъ и т. д.

Въ виду простоты устройства и отсутствія движущихся частей, эти приборы примѣняются также для подъема загрязненной и мутной воды.

Водоструйные приборы, дѣйствующіе ударами, доставляютъ въ 1 минуту 0,003 до 0,1 cbm; коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta = 0{,}7$; они примѣняются въ тѣхъ случаяхъ, когда движущая вода при незначительномъ напорѣ имѣется въ большомъ количествѣ, и употребляются для подъема небольшихъ количествъ воды на значительную высоту.

2. Пароструйные приборы.

Эжекторы примѣняются для подъема жидкостей, допускающихъ конденсацію пара, и употребляются какъ колодезные насосы, насосы для откачки воды на судахъ (см. ч. II, судостроеніе), насосы для подъема мутныхъ жидкостей, кислотъ и, въ спеціальной конструкціи, какъ пожарные насосы.

Эжекторы требуютъ большого расхода пара; температура воды повышается съ увеличеніемъ высоты подъема. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія сравнительно малъ, а потому примѣненіе эжекторовъ для постоянныхъ водоснабженій и большого количества воды не имѣетъ мѣста, за исключеніемъ тѣхъ случаевъ, когда теплота поднятой воды можетъ быть утилизирована. Въ этомъ случаѣ эжекторы лучше всякаго другого устройства вслѣдствіе своей простоты и надежности въ работѣ.

Инжекторами наз. пароструйные насосы, служащіе исключительно для питанія паровыхъ котловъ, въ особенности для паровозовъ (см. часть II). Выгодное дѣйствіе, ибо теплота пара остается въ накачиваемой водѣ.

Различаются инжекторы **всасывающіе и не всасывающіе**; въ послѣднее время начали изготовлять инжекторы, которыми можно пользоваться какъ всасывающими, такъ и не всасывающими. Вода, поднимаемая инжекторами, можетъ преодолѣть давленіе значительно большее чѣмъ давленіе пара. Инжекторы, работающіе мятымъ паромъ, могутъ питать котлы съ внутреннимъ давленіемъ до 7 атмосферъ. Инжекторами вода нагрѣвается до 70—90°.

Далѣе, различаются инжекторы **простого** дѣйствія съ одной системой и **двойного** дѣйствія (инжекторы Кертинга) съ двумя системами конусовъ; инжекторы послѣдняго типа въ состояніи на-

НТБ ДНУЗТ

качивать предварительно нагрѣтую до 65° воду въ котелъ, при давленіи въ немъ 11 до 12 атмосферъ; всасывающіе инжекторы всасываютъ и подаютъ на 2 m воду, нагрѣтую до 60°, и приблизительно до 6 m холодную воду; количество доставляемой воды отъ 0,6 до 40 cbm въ часъ. Установка этихъ инжекторовъ двойного дѣйствія значительно проще установки большинства инжекторовъ простого дѣйствія.

Въ послѣднее время входятъ въ употребленіе всасывающіе (restarting) инжекторы, на дѣйствіе которыхъ не оказываетъ вліянія воздухъ, проникающій во всасывающую трубу, чего нѣтъ въ другихъ инжекторахъ. Инжекторы Кертинга (restarting) могутъ питать котелъ нагрѣтою предварительно до 42° водою, всасывая ее на высоту до 2 m; предѣлъ всасыванія 4 m при холодной водѣ.

При установкѣ инжекторовъ всѣхъ спетемъ слѣдуетъ заботиться о достаточномъ діаметрѣ трубъ, а также о томъ, чтобы паръ подходилъ къ инжектору съ полнымъ давленіемъ. Желательно брать паръ непосредственно изъ котла (и притомъ изъ наиболѣе высокаго мѣста его) и ни въ коемъ случаѣ изъ трубы, ведущей къ паровой машинѣ, ибо въ послѣдней давленіе постоянно мѣняется.

c. Центробѣжные насосы.

(**Графическій разсчетъ** центробѣжныхъ насосовъ см. VII отдѣлъ, водяные двигатели, C.).

Насосы эти употребляются для подъема большихъ количествъ воды на небольшую высоту; высота всасыванія $H_s = 5$ до 8 m, нагнетанія $H_d =$ до 40 m; въ случаѣ большой высоты подъема лучше раздѣлить эту высота на двѣ части и поставить два насоса. Въ большихъ насосахъ вода приводится съ 2-хъ сторонъ, а ширина лопатокъ кнаружи уменьшается. Обозначимъ черезъ:

r_e и r_a внутренній и наружній радіусы колеса въ m.

v_e и v_a скорости колеса на внутренней и наружней окружности въ m/sec.,

c_e и c_a абсолютныя скорости при входѣ и выходѣ воды въ m/sec.,

w_e и w_a относительныя „ „ „ „ „ „ „

b_e и b_a внутреннюю и наружнюю ширину колеса (въ свѣту), въ m,

n число оборотовъ колеса въ минуту,

h_s, h_r, h_d высоты, соотвѣтствующія сопротивленіямъ (потери напора) во всасывающей трубѣ, колесѣ и нагнетательной трубѣ, въ m,

$H_w = h_s + h_r + h_d$,

H_s и H_d высоты всасыванія и нагнетанія, въ m,

$H = H_s + H_d$, полную гидростатическую высоту подъема въ m,

v_s и v_d скорости всасыванія и нагнетанія въ m/sec.,

Q поднимаемое количество воды въ cbm въ сек.,

A высоту столба жидкости, поддерживаемаго давленіемъ атмосферы (см. стр. 699).

γ вѣсъ 1 cbm жидкости въ kg.

НТБ ДНУЗТ

Наибольшая возможная высота всасыванія опредѣляется по условію:

$$A - \left(H_s + h_s + \frac{v_s^2}{2g} \right) > 0.$$

Далѣе:
$$v_a = \sqrt{\frac{2g(H + H_w) + v_d^2}{1 + \frac{\sin(\alpha_a + \beta)}{\sin(\alpha_a - \beta)}}};$$

α_a и β углы, обозначенные на черт. 579 (стр. 704). Желая достигнуть требуемой высоты подъема съ **наименьшей скоростью на окружности**, необходимо, чтобы отношеніе

$$\sin(\alpha_a + \beta) : \sin(\alpha_a - \beta)$$

имѣло возможно большее значеніе. Весьма часто употребляются искривленныя лопатки, изображенныя на черт. 579 (форма I), для которыхъ это выраженіе менѣе 1; въ лопаткахъ Риттингера (форма II, черт. 579, $\alpha_a = 90$) оно $= 1$; въ лопаткахъ, искривленныхъ напередъ (форма III), оно > 1, почему этотъ послѣдній видъ лопатокъ весьма употребителенъ для подъема большихъ количествъ воды. Недостатокъ насосовъ съ напередъ искривленными лопатками: число оборотовъ при троганіи съ мѣста должно быть больше чѣмъ для нормальной работы. Скорости v_s и $v_d = 1{,}0$ до $2{,}5$ m въ сек.

Число оборотовъ въ минуту:

$$n = \frac{30}{\pi} \frac{v_a}{r_a} = 9{,}55 \frac{v_a}{r_a}.$$

Величина $r_a = 2r_e$, для большой высоты подъема принимается $r_a > 2r_e$.

$r_e = 0{,}5$ до $0{,}6$ діаметра примыкающаго всасывающаго трубопровода d_s, который опредѣляется по Q и v_s.

Если e толщина лопатокъ, z_e число лопатокъ на внутреннемъ ободѣ и z_a на наружнемъ, то:

$$Q = \left(2\pi r_a - z_a \frac{e}{\sin \alpha_a} \right) b_a c_a \sin \beta = \left(2\pi r_e - z_e \frac{e}{\sin \alpha_e} \right) b_c c_e.$$

$z_e = 6$ до 12 (смотря по величинѣ колеса); z_a обыкновенно равно z_e, только въ большихъ насосахъ $z_a > z_e$; $c_e = v_s$ и часто $= c_a \sin \beta$; тогда ширины b_e и b_a различны и опредѣляются по вышеупомянутому. Затѣмъ α_c опредѣляется по:

$$\operatorname{tg}(180^0 - \alpha_e) = \frac{c_e}{v_e}.$$

Финкъ придаетъ лопаткамъ **форму архимедовой спирали** (черт. 579, I); лучше, однако, устраивать лопатки Риттингера или искривлять ихъ нѣсколько впередъ (черт. 579, II и III); эти послѣднія цѣлесообразно изгибать по дугамъ круга слѣд. образомъ: отложивъ уголъ $xOy = 360^0 - (\alpha_e + \alpha_a)$ и проведя xy, возставимъ перпендикуляръ изъ средины xz, въ пересѣченіи котораго O' съ перпен-

НТБ ДНУЗТ

дикуляромъ, возстановленнымъ въ точкѣ x къ направленію w_a, получится центръ искомой дуги.

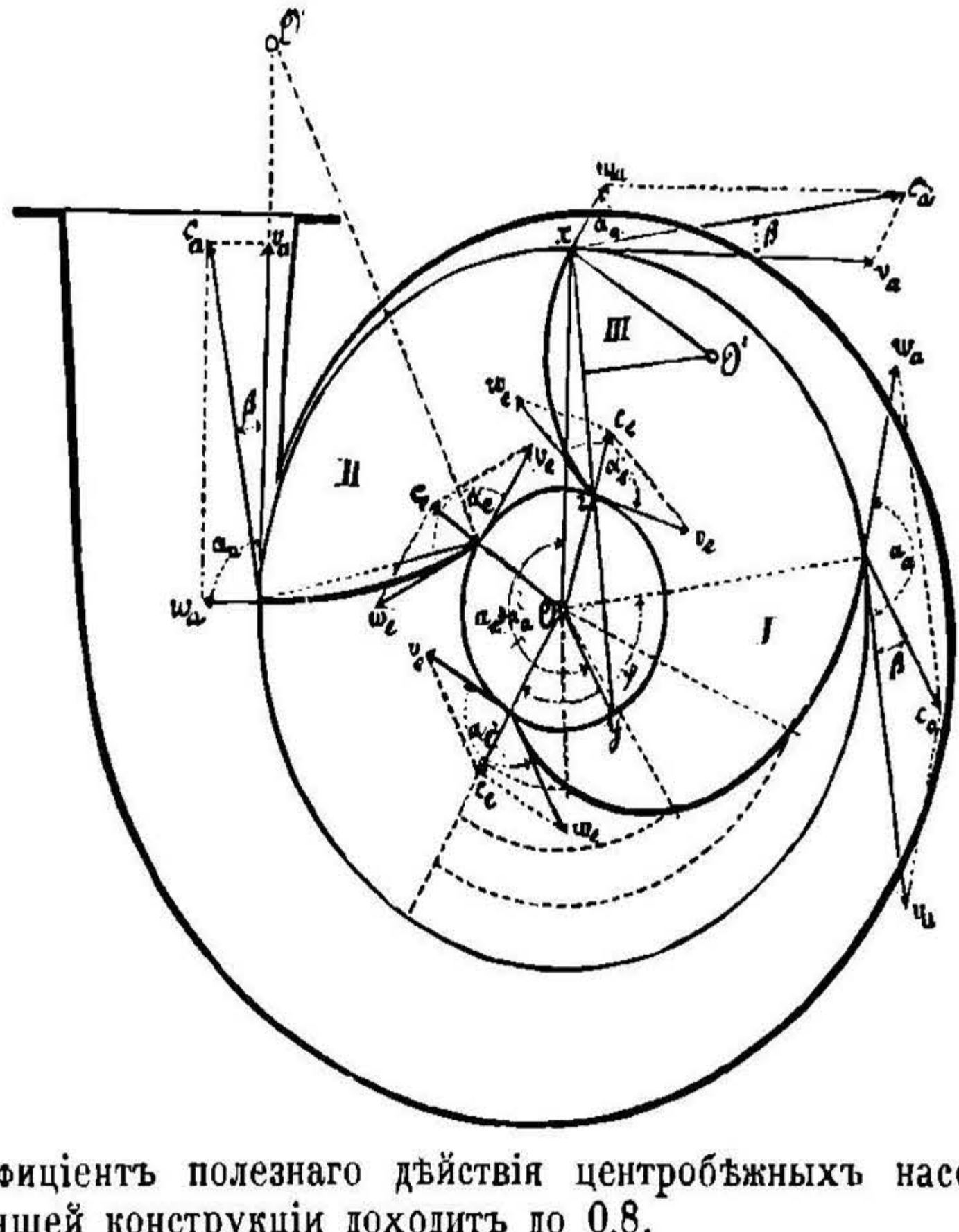
Работа E_e, расходуемая въ 1 секунду въ mkg, опредѣляется по:

$$E_e = \gamma Q \left(H + H_w + \frac{v_d^2}{2g} \right) + E_w$$

$$= \gamma Q \frac{v_a^2}{2g} \left(1 + \frac{\sin(\alpha_a + \beta)}{\sin(\alpha_a - \beta)} \right) + E_w = \frac{\gamma Q H}{\eta}.$$

E_e будетъ minimum при $\alpha_a = 90^0 + {}^1/_2 \beta$, т.-е. при лопаткахъ, слабо искривленныхъ пазадъ. Работа сопротивленій E_w, по Гартигу, можетъ быть принята $\sim 1{,}2\, v_a^2$ (въ mkg).

Черт. 579.



Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія центробѣжныхъ насосовъ η при лучшей конструкціи доходитъ до 0,8.

До приведенія въ дѣйствіе насосъ долженъ быть наполненъ жидкостью; ее слѣдуетъ накачать въ насосъ, напр., посредствомъ паро- или водоструйныхъ приборовъ.

Насосы эти приводятся въ дѣйствіе посредствомъ зубчатыхъ передачъ (лучше съ угловыми зубцами), или съ помощью ремней, пеньковыхъ или хлопчатобумажныхъ канатовъ. Скорость ремня $v < 10$ m въ сек. Для непосредственнаго приведенія въ дѣйствіе примѣняются электродвигатели, а также паровыя турбины. Валъ внѣ насоса долженъ имѣть два подшипника; цапфы должны имѣть

НТБ ДНУЗТ

достаточную длину (см. ур. IV, стр. 490). При испытаніи давленіемъ воды до 2 атм. готовые для работы насосы должны быть вполнѣ плотными.

(Наибольшіе изъ дѣйствующихъ до сихъ поръ центробѣжныхъ насосовъ построены заводомъ Cyklop, въ Берлинѣ; количество воды, ими доставляемое, до 300 cbm въ минуту).

Центробѣжные насосы

Г. Шиле и К°, въ Бокенгеймѣ.

№ насоса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность . cbm въ мин.	0,11	0,27	0,70	1,20	2,00	2,90	4,00	6,00	8,50	11,5
Діам. всасыв. и нагн. трубы . mm	40	60	90	120	150	180	210	250	300	350
Діаметръ фланцевъ . . . . . mm	135	175	215	260	290	320	365	400	450	520
Діаметръ ремен. шкива. . . mm	80	100	120	150	200	250	300	350	400	450
Ширина ремен. шкива . . . . mm	75	85	100	120	135	200	200	250	250	300
Работа для 1 m подъема, лош. сил.	0,06	0,15	0,35	0,53	0,84	1,22	1,60	2,40	3,40	4,60
Прибл. вѣсъ насоса. . . . . kg	50	85	165	275	450	650	850	1200	1750	2100
Прибл. вѣсъ всас. вентиля . . kg	8	14	30	50	85	120	150	250	370	430
Прибл. вѣсъ обратн. вентиля . kg	18	25	50	76	115	180	260	380	520	630
Число оборотовъ въ минуту для $H_d =$ 6 m	1340	1000	905	815	620	500	475	445	430	375
9 m	1610	1200	1080	980	740	600	575	535	510	450
12 m	1840	1375	1245	1115	850	685	650	610	585	515

d. Поршневые насосы *).

1. Всасываніе насосовъ.

Столбъ всасываемой воды приводится въ движеніе давленіемъ атмосферы A (за A слѣдуетъ принимать наименьшую высоту барометра въ данной мѣстности; нормальная, соотвѣтствующая 76 cm ртутнаго столба, барометрическая высота водяного столба $A = 10{,}333$ m). Давленіе атмосферы должно преодолѣвать: столбъ воды высотою всасыванія H_s въ m (черт. 580), считая ее отъ наинизшей поверхности воды до нагнетательнаго клапана или до наивысшей точки объема насоса, а также столбъ воды высотою h_w (въ m), соотвѣтствующій всѣмъ возможнымъ сопротивленіямъ, включая также и сопротивленіе отъ ускоренія движущейся массы воды. Остающійся столбъ воды, который долженъ быть > 0, поэтому равенъ:

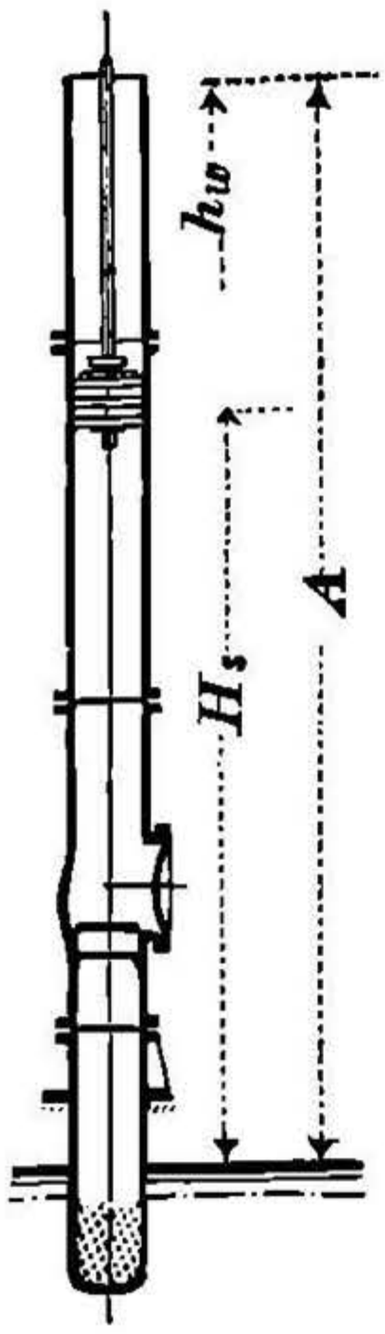
$$A - H_s - h_w.$$

Въ случаѣ всасыванія другихъ жидкостей (а не воды) высота H_s должна быть помножена на плотность жидкости. Въ случаѣ горячихъ жидкостей изъ A должно быть вычтено давленіе пара, соотвѣтствующее температурѣ жидкости; высота всасыванія поэтому должна быть соотвѣтственно меньше, равна нулю или даже отрицательна, ибо вслѣдствіе парообразованія всасываніе затрудняется.

*) По А. Ридлеру.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 580.



Сопротивленія движенію h_w состоятъ изъ:

1. Потери напора для достиженія скорости v_s во всасывающей трубѣ $= v_s^2 : 2g$. Сѣченіе всасывающей трубы выбирается по мѣстнымъ условіямъ. Скорость воды $v_s \sim 1$ m въ сек. для короткихъ трубопроводовъ, $v_s < 0{,}75$ m въ сек. для трубопроводовъ длиною отъ 50 m.

2. Сопротивленія отъ тренія во всасывающей трубѣ (см. стр. 249 и слѣд.).

3. Гидравлическихъ сопротивленій при всѣхъ измѣненіяхъ направленія и скорости (см. стр. 254 и слѣд.), а также въ забирномъ клапанѣ и задвижкѣ. Для уменьшенія этихъ сопротивленій необходимо, чтобы сумма площадей пропускныхъ отверстій всасывающей коробки была не менѣе, чѣмъ въ 2 до 3 разъ больше поперечнаго сѣченія всасывающей трубы. Отверстія для прохода воды должны быть легко доступны осмотру и очисткѣ, часто приспособляются для продуванія паромъ; клапаны должны быть изготовлены изъ чистой резины, и площадь пропускного отверстія клапана должна быть въ 1,5 до 2 разъ болѣе поперечнаго сѣченія всасывающей трубы. Во всасывающей трубѣ располагается запорный клапанъ, свободное отверстіе котораго = сѣченію трубы.

4. Сопротивленія всасывающаго клапана, т.-е. разности напоровъ надъ и подъ клапаномъ, необходимой для преодолѣнія сопротивленія при проходѣ воды черезъ клапанъ; эта разность напоровъ, дѣйствуя на площадь клапана, уравновѣшиваетъ какъ вѣсъ клапана, такъ и его нагрузку, почему можетъ быть точно вычислена.

5. Сопротивленія отъ силы инерціи тѣхъ всасываемыхъ массъ, которыя приходятъ въ состояніе покоя послѣ каждаго хода поршня.

Сопротивленія, приведенныя въ 1., 2. и 3., въ началѣ хода равны нулю, въ срединѣ хода достигаютъ наибольшей величины при отсутствіи воздушнаго колпака; при устройствѣ воздушнаго колпака эти сопротивленія постоянны; сопротивленіе 4. почти постоянно, а сопротивленіе 5. въ началѣ хода наибольшее, въ срединѣ же хода равно нулю (см. стр. 543 до 545).

Ходъ разсчета насосовъ. Опредѣливъ наибольшую высоту всасыванія H_s по мѣстнымъ условіямъ и задавшись размѣромъ всасывающихъ трубъ, находимъ h_w. Затѣмъ необходимо убѣдиться, удовлетворено ли условіе $A - H_s - h_w > 0$. Въ большей части случаевъ достаточны приблизительные разсчеты. При болѣе точныхъ разсчетахъ величина h_w опредѣляется для начала хода поршня, средины хода и промежуточныхъ положеній; наибольшая изъ найденныхъ величинъ подставляется въ вышеприведенное неравенство.

НТБ ДНУЗТ

Та часть величины h_v, которая необходима для достиженія скорости воды v_s (1.), равна $v_s^2 : 2\,g$. Ускореніе всасываемаго столба воды (5.) равно ускоренію поршня, умноженному на отношеніе площадей поршня F и сѣченія всасывающей трубы F_s.

При дѣйствіи кривошипомъ съ постоянной угловой скоростью наибольшее ускореніе поршня $= v^2 : r$ (v = скорости на окружности цапфы кривошипа, r = радіусу кривошипа въ m). Поэтому часть h_w, соотвѣтствующая ускоренію всасываемой массы воды, при началѣ хода поршня

$$= \frac{v^2}{r}\,\frac{F}{F_s}\,\frac{l_s}{9{,}81},$$

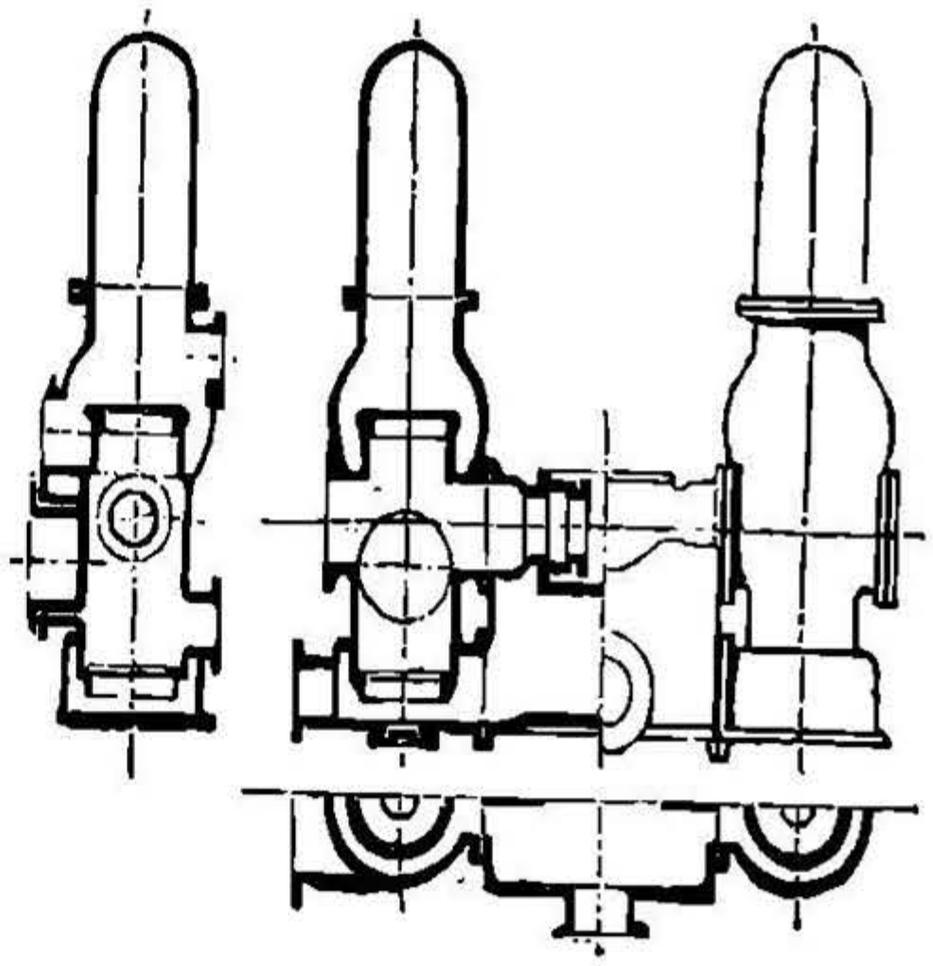
гдѣ l_s = длинѣ водяного столба, приходящаго каждый разъ въ состояніе покоя, въ m. Если всасываемый столбъ воды имѣетъ различныя сѣченія, то необходимо либо принять среднее значеніе, либо опредѣлять величину вышеприведеннаго выраженія для каждой отдѣльной части всасываемаго столба жидкости и полученныя величины суммировать. При болѣе точномъ разсчетѣ ускореній необходимо каждый разъ принимать ускореніе отъ массы клапановъ.

Если условіе

$$A - H_s - h_w > 0$$

не соблюдено, то въ періодъ ускоренія происходитъ отрываніе всасываемаго водяного столба и ударъ, причемъ возможно, что всасываніе происходитъ неполное.

Черт. 581.



Для достиженія полнаго и безпрепятственнаго всасыванія въ большей части случаевъ устраивается **всасывающій воздушный колпакъ.** Полезное дѣйстіе его основано на томъ, что въ состояніе покоя возвращается, при каждой перемѣнѣ хода поршня, только столбъ воды между всасывающимъ колпакомъ и поршнемъ насоса, и только этому столбу воды должно быть сообщено ускореніе (сопротивл. 5), тогда какъ скорость воды во всасывающей трубѣ почти постоянна.

Воздушный колпакъ на всасывающей трубѣ располагается по возможности ближе къ всасывающимъ клапанамъ (черт. 581 и 582, стр. 712). Объемъ воздуха въ воздушномъ колпакѣ въ 5 до 10 разъ больше объема, описываемаго поршнемъ насоса.

Другія средства для избѣжанія обрыва всасываемаго столба воды: уменьшеніе скорости (и соотв. ускоренія) поршня, или, если число ходовъ и ходъ поршня не могутъ быть измѣнены, то увеличиваютъ сѣченіе всасывающей трубы или ставятъ нѣсколько, соединенныхъ между собою, насосовъ съ кривошипами подъ угломъ,

НТБ ДНУЗТ

которые всѣ всасываютъ изъ одной общей всасывающей трубы Въ послѣдней получаются тогда значительно меньшія ускоренія и замедленія.

2. Нагнетаніе насосовъ.

Высота нагнетанія (напоръ) состоитъ изъ гидростатическаго напора H_d (въ m) и суммы всѣхъ сопротивленій движенію h'_w (въ m водяного столба).

Сопротивленія движенію слѣдующія:

1. Потеря напора, необходимая для сообщенія скорости v_d водѣ въ нагнетательной трубѣ, $= v_d^2 : 2g$.

2. Сопротивленіе отъ тренія въ нагнетательной трубѣ (см. стр. 249 и слѣд.).

3. Сопротивленіе отъ измѣненія направленія струи и измѣненія скорости въ нагнетательной трубѣ и насосѣ (см. стр. 254 и слѣд.).

4. Сопротивленіе нагнетательнаго клапана (см. 4., стр. 706).

5. Сопротивленіе отъ силы инерціи массъ (нагнетаемой) воды, по временамъ находящейся въ покоѣ (и нагнетат. клапана).

Измѣненіе величины этихъ сопротивленій въ зависимости отъ положенія поршня насоса происходитъ такъ же, какъ и во всасывающей трубѣ (см. стр. 706).

Скорость воды въ небольшихъ насосахъ при короткихъ трубопроводахъ $v_d = 1{,}5$ до 2 m въ сек.; при большемъ давленіи она принимается больше и опредѣляется въ зависимости отъ первоначальной стоимости всего устройства и отъ стоимости эксплоатаціи, увеличивающейся съ увеличеніемъ сопротивленій въ трубопроводѣ. При большихъ насосахъ и длинныхъ трубопроводахъ въ среднемъ скорость $v_d = 1$ m въ сек.

Ходъ разсчета. Ускореніе нагнетаемой массы воды производится поршнемъ, замедленіе — давленіемъ воздуха, напоромъ и сопротивленіями. Поэтому необходимо, принявъ извѣстный діаметръ нагнетательной трубы, подсчитать, достаточно-ли велики на концѣ хода поршня вышеупомянутыя замедляющія силы для того, чтобы произвести требуемое въ это время наибольшее замедленіе, соотвѣтственно движенію отъ кривошипа. Это наибольшее замедленіе, по вышеприведенному, при сѣченіи F_d нагнетательной трубы:

$$= \frac{v^2 F}{r F_d}.$$

При этомъ должно быть соблюдено условіе:

$$A + H_d + h'_w > \frac{v^2}{r} \frac{F}{F_d} \frac{l_d}{9{,}81},$$

гдѣ l_d длина нагнетательнаго столба воды (въ m), приходящаго при каждой перемѣнѣ хода поршня въ состояніе покоя. (Въ случаѣ, когда этотъ столбъ воды имѣетъ различное сѣченіе, необходимо вычислить выраженіе справа для отдѣльныхъ частей и затѣмъ сум-

НТБ ДНУЗТ

мировать). Высота, соотвѣтствующая сопротивленіямъ (или потеря напора), h_w' составляется изъ сопротивленій, упомянутыхъ выше въ 1. до 4. Въ насосахъ безъ воздушнаго колпака слѣдуетъ подставить $h_w' = 0$, такъ какъ скорость воды въ концѣ хода поршня $= 0$. Приведенное выше условіе относится къ каждой части нагнетаемой массы воды въ любомъ сѣченіи трубопровода, отъ котораго (сѣченія) и надо считать H_d и l_d (напр., для горизонтальныхъ частей трубы $H_d = 0$). При недостаточномъ замедленіи столбъ нагнетаемой воды обрывается, особенно въ колѣнахъ и т. д., а при новомъ соединеніи разорвавшихся массъ воды происходитъ ударъ.

Напорные воздушные колпаки обусловливаютъ постоянное движеніе столба воды. Вѣроятность обрыва столба воды при напорномъ воздушномъ колпакѣ значительно меньше, такъ какъ замедленію подлежитъ тогда только столбъ воды, заключенный между поршнемъ и напорнымъ воздушнымъ колпакомъ. Напорный колпакъ располагается по возможности ближе къ нагнетательнымъ клапанамъ, надъ которыми, кромѣ того, устраиваются еще малые воздушные колпачки. Объемъ воздуха въ колпакѣ долженъ быть по возможности больше,—по крайней мѣрѣ въ 6 до 8 разъ болѣе объема, описываемаго поршнемъ насоса, и долженъ быть тѣмъ болѣе, чѣмъ длиннѣе нагнетательный трубопроводъ.

При опредѣленіи объема напорнаго колпака слѣдуетъ имѣть въ виду, что колебанія давленій въ немъ, при постоянной скорости вытеканія воды, должны составлять опредѣленную часть средняго давленія въ колпакѣ; эта часть можетъ быть допущена тѣмъ менѣе, чѣмъ длиннѣе нагнетательный трубопроводъ. Напр., если для насоса двойного дѣйствія колебаніе давленій должно составлять 1%, то **объемъ колпака** долженъ быть въ 20 разъ болѣе объема насоса; при колебаніи въ $x\%$ объемъ колпака = приблизительно объему насоса, взятому $(20 : x)$ разъ; при этомъ длина шатуна принимается безконечной. Если длина шатуна $= 5$, 4 или 3 длинамъ кривошипа, то вмѣсто 20 надо брать соотвѣтственно 25, 27 или 30.

Въ сдвоенныхъ насосахъ дѣйствующій объемъ воздушнаго колпака (всасывающаго или нагнетательнаго) можетъ быть увеличенъ, если особою соединительной трубой соединить оба колпака.

Увеличеніемъ діаметра напорной трубы или соединеніемъ нѣсколькихъ насосовъ (съ кривошипами подъ угломъ), имѣющихъ общую напорную трубу, равно какъ и уменьшеніемъ ускоренія (и замедленія) поршня можно достигнуть спокойнаго хода насоса.

3. Размѣры насосовъ и работа, ими расходуемая.

При опредѣленіи размѣровъ насоса обыкновенно дается: количество воды, доставляемое насосомъ, Q въ cbm въ сек., высота всасыванія H_s и нагнетанія H_d и длины трубъ L_s и L_d. Надо выбрать число оборотовъ n и ходъ поршня s (въ m). Число оборотовъ въ минуту n выбирается въ зависимости отъ конструк-

НТБ ДНУЗТ

ціи клапановъ и движенія массы воды, причемъ слѣдуетъ имѣть въ виду своевременное закрываніе клапановъ, ходъ же s (въ m) выбирается въ зависимости отъ скорости поршня, давленія на него и стоимости всего устройства. Въ общемъ насосъ тѣмъ дешевле, чѣмъ меньше ходъ; продажные насосы, въ особенности вертикальные, имѣютъ $s = D$ и даже $s < D$. Дѣйствующая площадь поршня (за вычетомъ площади поршневого стержня) опредѣляется по:

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{60\,Q}{i\,s\,\lambda\,n} \text{ въ qm;}$$

гдѣ $i = 1$ для насосовъ простого дѣйствія, $i = 2$ для насосовъ двойного дѣйствія; λ объемный коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $= 0{,}95$ до 0,97 при хорошей конструкціи и $= 0{,}90$ — при плохой.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія (объемный) уменьшается отъ неплотности поршней, клапановъ, запаздыванія въ запираніи послѣднихъ и отъ всасыванія воздуха, а равно и отъ выдѣленія газовъ или паровъ изъ жидкости.

Работа насоса (полагая $H_s + H_d = H$):

$$N = \frac{\gamma\,Q\,(H + h_w + h_w')}{75} = \frac{1000\,Q\,H}{75\,\eta} \text{ лош. силъ;}$$

коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, не принимая во вниманіе весьма длинныхъ трубопроводовъ, η при хорошей конструкціи $= 0{,}9$ до 0,93; обыкновенно $\eta = 0{,}80$ до 0,85.

4. Детали насосовъ.

Толщина стѣнокъ цилиндрическихъ частей насоса и клапанныхъ коробокъ опредѣляется по стр. 561 и 562. Во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ имѣются большія отверстія, разсчетъ долженъ быть провѣренъ, и стѣнки соотвѣтственно усилены.

Тѣло насоса должно быть такъ проектировано, чтобы невозможно было скопленіе воздуха (особенно подъ крышкой всасывающей коробки и въ наивысшихъ точкахъ цилиндра насоса), и весь всасываемый воздухъ при послѣдующемъ ходѣ насоса выкачивался черезъ нагнетательный клапанъ. Воздухъ, всасываемый въ насосъ, уменьшаетъ объемный коэффиціентъ λ и производитъ удары при открываніи нагнетательнаго клапана.

Большіе **поршни въ формѣ нырялъ** (см. стр. 530) должны быть разсчитаны по **2.**, стр. 422, на наружнее давленіе, причемъ для чугуна допускается $k_z = 300$ kg/qcm.

Разсчетъ толщины стѣнокъ напорнаго воздушнаго колпака производится по **1.**, стр. 422, причемъ для чугуна принимается $k_z = 150$ kg на qcm, а для желѣза $k_z = 600$ до 700 kg/qcm.

Принадлежности напорнаго воздушнаго колпака: манометръ, водоуказательное стекло или пробные краны, насосъ для накачиванія въ колпакъ воздуха или клапаны на насосномъ цилиндрѣ для всасыванія воздуха и предохранительный клапанъ.

Принадлежности колпака на всасывающей трубѣ: вакуумметръ, водоуказательное стекло, клапанъ, впускающій въ колпакъ воз-

НТБ ДНУЗТ

духъ, приспособленіе для выкачиванія излишняго воздуха посредствомъ спеціальнаго насоса или конденсатора паровой машины, приспособленія для наполненія всасывающей трубы водой при большихъ высотахъ всасыванія, а также и предохранительный клапанъ на всасывающей трубѣ. (Лучше употреблять съ этой цѣлью для всасывающихъ трубъ паростру́йные приборы).

Кромѣ того, насосъ снабжается клапаномъ для соединенія нагнетательнаго пространства со всасывающимъ, чтобы послѣднее наполнить водой изъ напорной трубы передъ пусканіемъ насоса въ ходъ, а также золотникомъ или клапаномъ, отдѣляющимъ при осмотрахъ нагнетательный трубопроводъ отъ насоса (см. черт. 582, стр. 712). (О **клапанахъ** см. стр. 584 и слѣд.)

5. Конструкція насосовъ.

Нагнетательные насосы преимущественно устраиваются съ ныряла́ми и чаще всего **сдваиваются** съ тѣмъ, чтобы какъ для хода поршня впередъ, такъ и для хода назадъ дѣйствіе было одинаково (черт. 582, стр. 712).

При высокомъ давленіи (напр., при подземномъ расположеніи машинъ), вслѣдствіе уменьшенія сѣченія штокомъ поршня, усилія и производительность насоса для хода впередъ и хода назадъ получаются различныя. Поэтому сальники должны быть обращены наружу; крейцкопфы и поперечины ныряло́въ соединяются между собою наружними тягами (черт. 583). Какъ видно изъ черт. 584 (вертикальный насосъ Клейнъ, Шанцлинъ и Беккеръ во Франкенталѣ), оба промежуточныхъ, трудно доступныхъ сальника могутъ быть замѣнены однимъ.

Дифференціальные насосы (черт. 585, стр. 713, вертикальный, черт. 586 — горизонтальный насосъ), съ однимъ всасывающимъ и однимъ нагнетальнымъ клапаномъ, работаютъ съ одиночнымъ всасываніемъ и двойнымъ нагнетаніемъ.

Если поперечное сѣченіе дисковаго поршня или большаго ныряла F qm, то сѣченіе f меньшаго ныряла, при условіи одинаковой производительности при ходѣ впередъ и ходѣ назадъ, получается изъ $F - f = f$ или:

$$f = {}^1/_2 F.$$

Если же требуется, чтобы усилія, дѣйствующія при ходѣ поршня впередъ и назадъ, были равны между собою, то

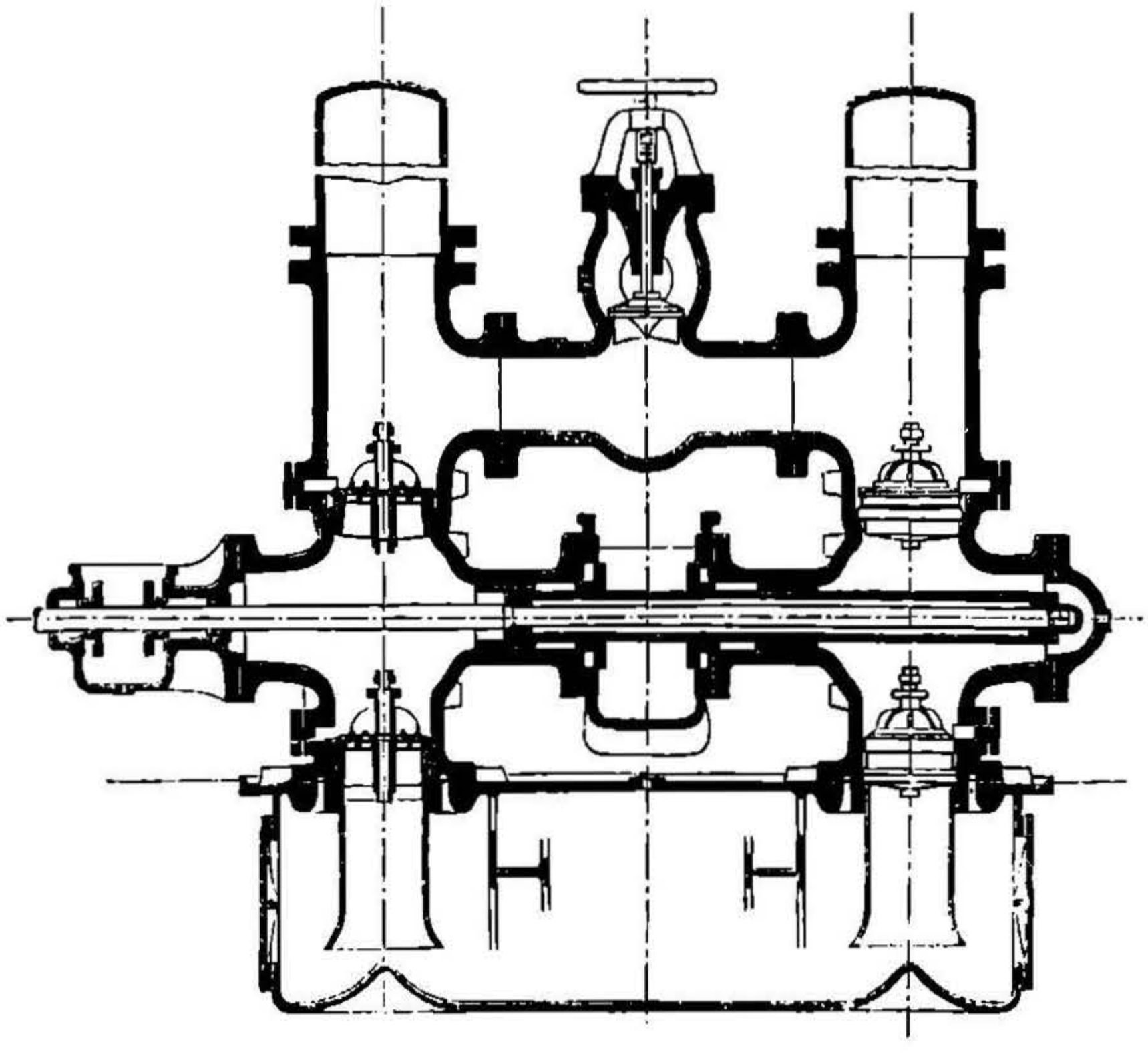
$$F(H_s + h_w) + (F - f)(H_d + h_w') = f(H_d + h_w'),$$

гдѣ h_w и h_w' средняя потеря напора (высота, соотвѣтствующая скорости) для всасыванія и нагнетанія во время одного хода поршня, причемъ все количество воды, поднимаемое при одномъ ходѣ поршня взадъ и впередъ (въ суммѣ) $= (F - f)s + fs = Fs$. Разсчетъ размѣровъ насоса по количеству доставляемой имъ воды производится какъ у насоса простого дѣйствія ($i = 1$, стр. 710). **Трубы** и **фасонныя части,** примѣняемыя для трубопроводовъ, см. стр. 563 и слѣд.

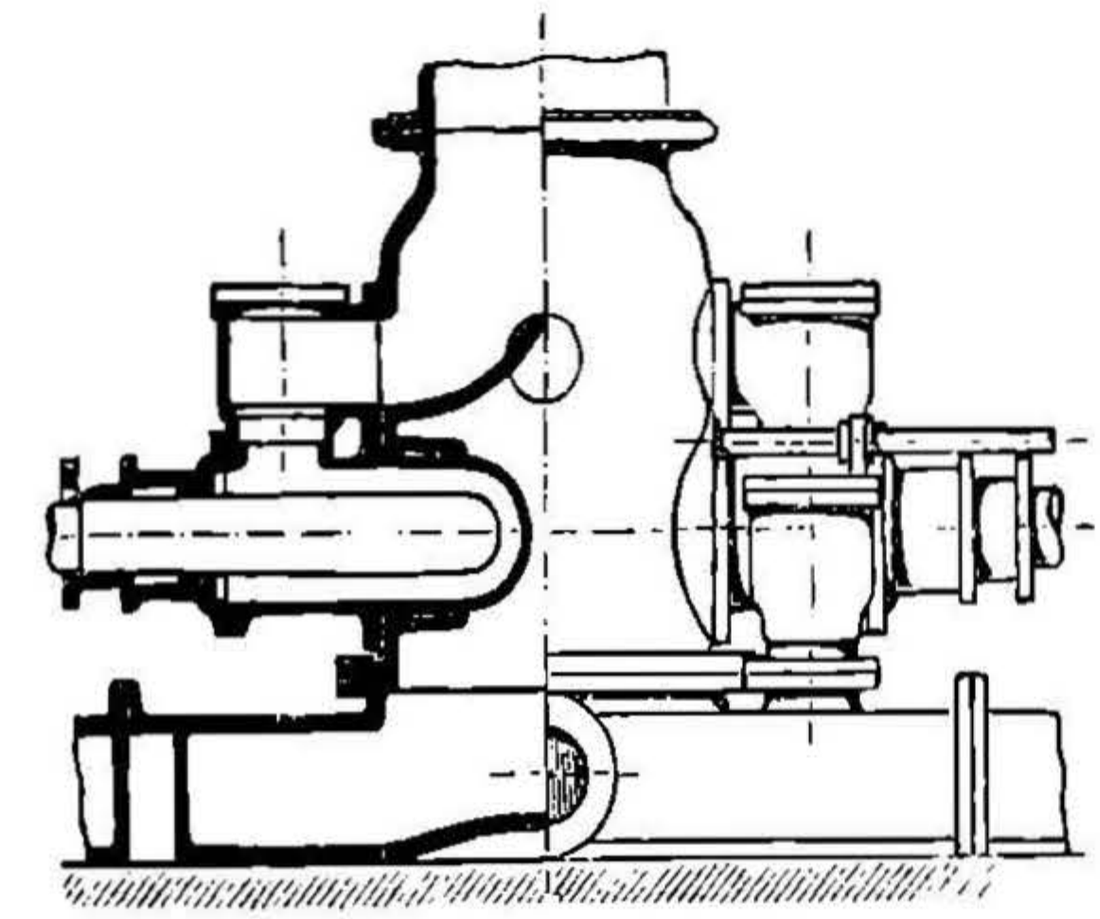
(Продолженіе см. стр. 713).

НТБ ДНУЗТ

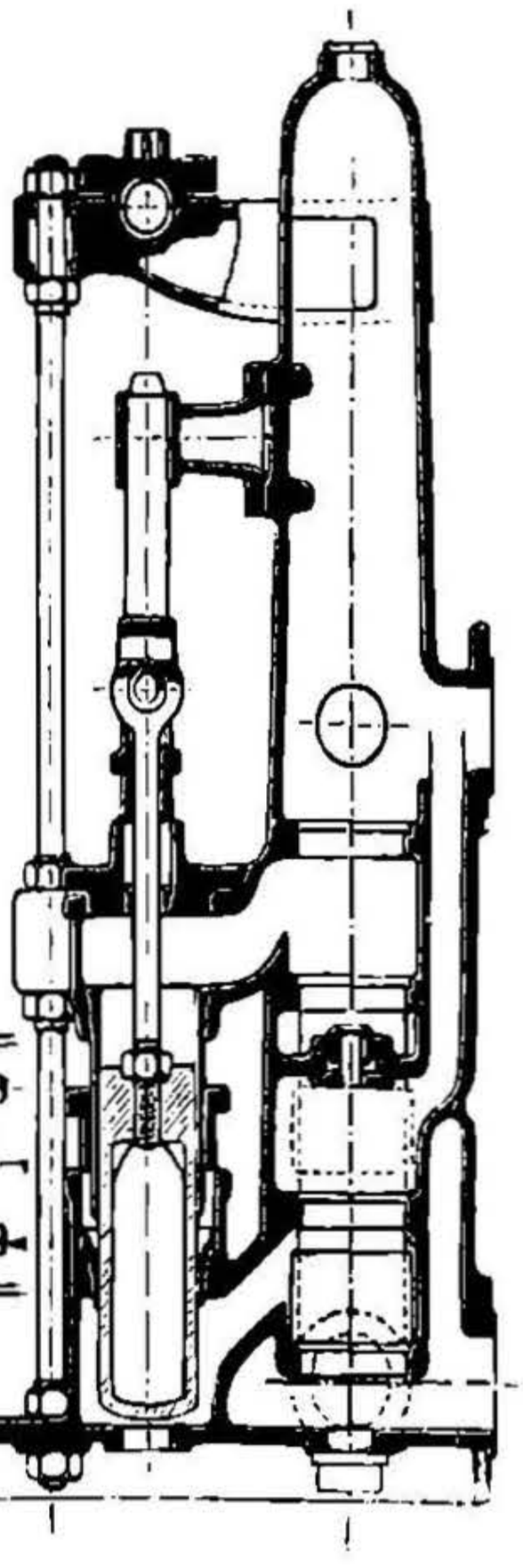
Черт. 582.



Черт. 583.

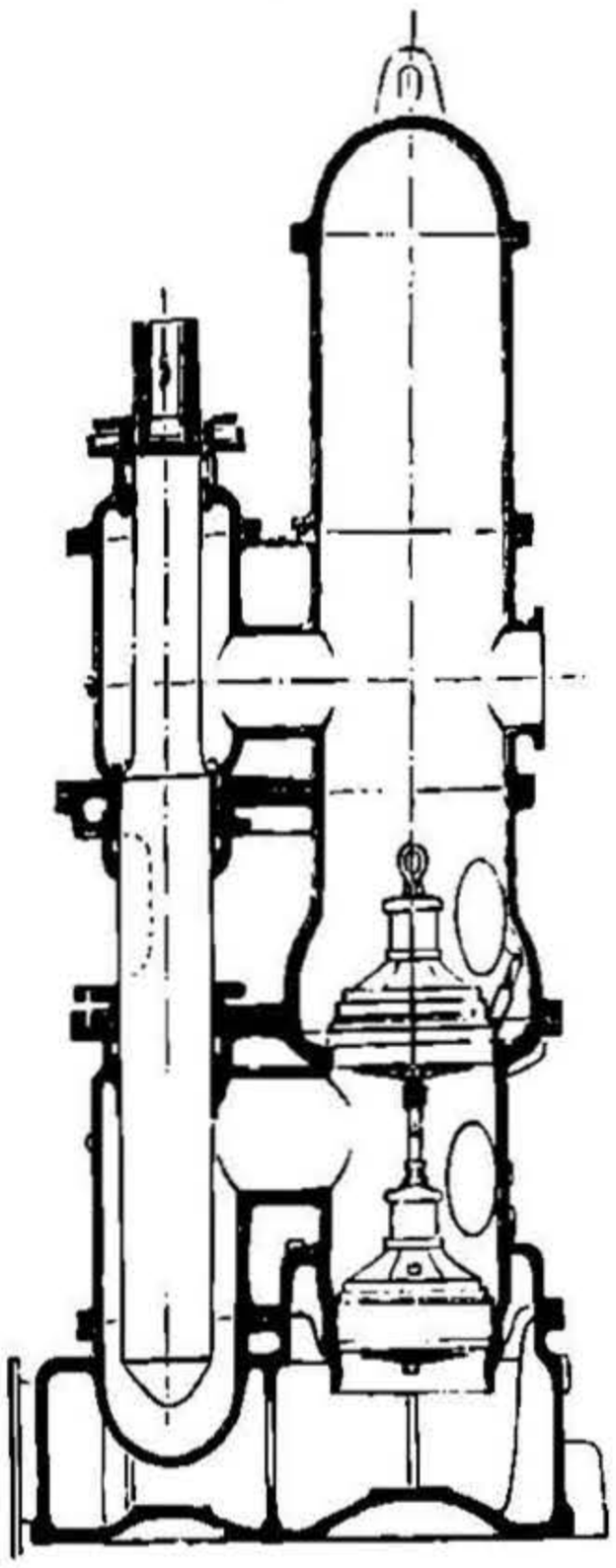


Черт. 584.

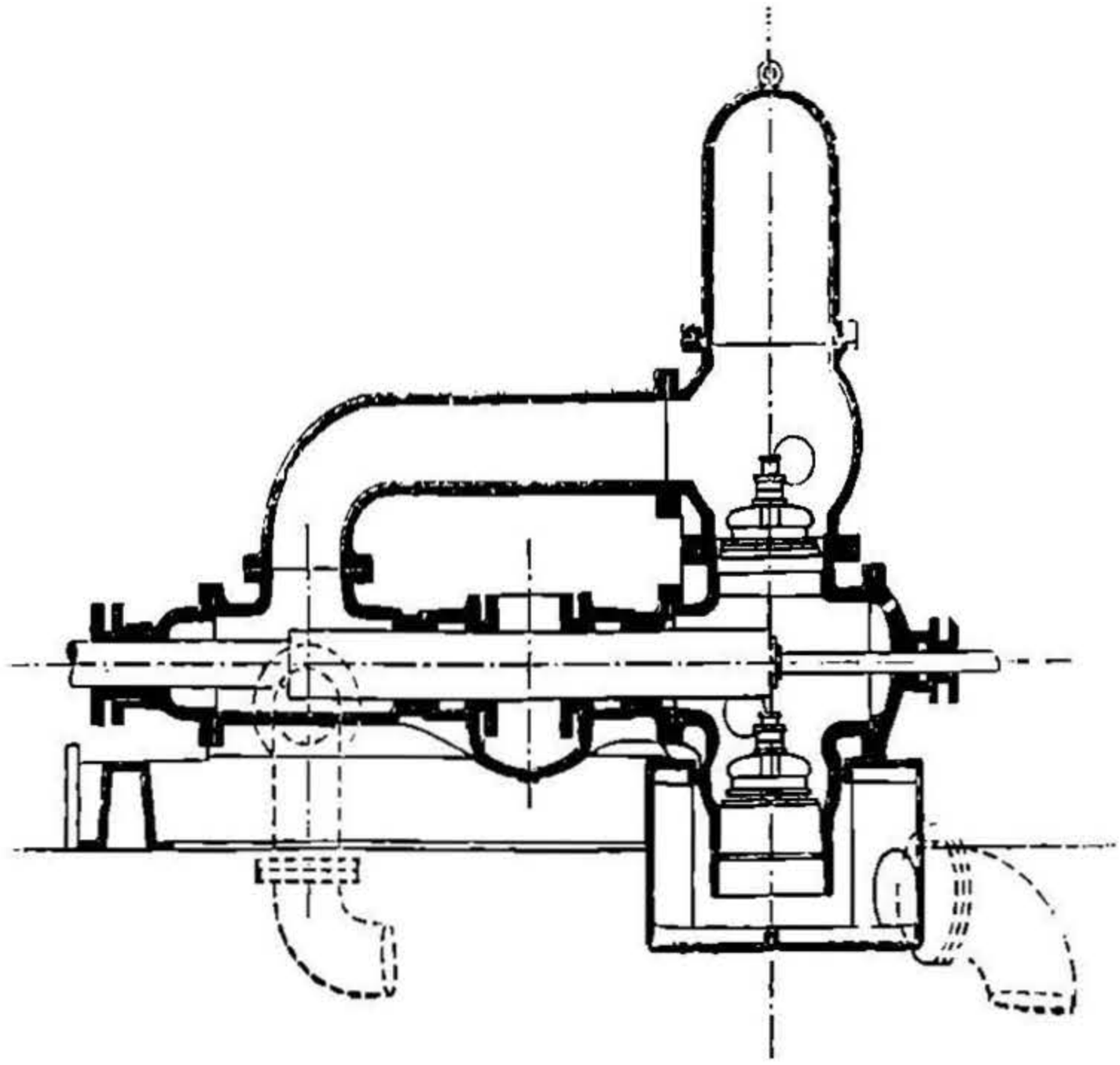


НТБ ДНУЗТ

Черт. 585.

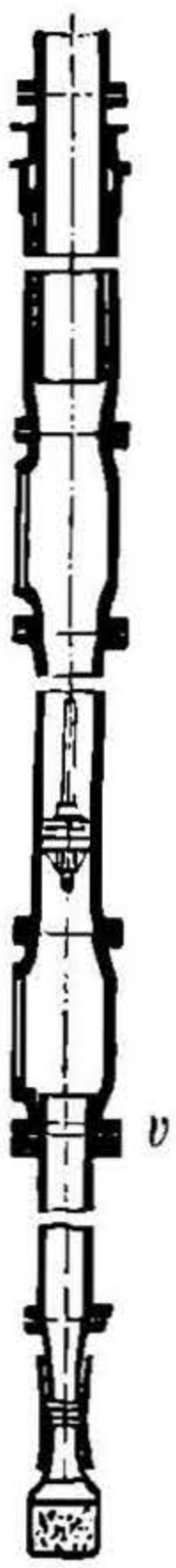


Черт. 586.



c. Водоподъемныя машины *).

Черт. 587.



1. Насосы съ дисковыми поршнями (черт. 587).

Удобны по своему расположенію вдоль одной оси. Дисковый поршень снабженъ клапаномъ (клананъ у *v*). Насосы эти употребляются при подъемахъ воды на высоту до 50 m; при большей высотѣ подъема трудно достичь плотности поршня. Скорость поршня меньше 1 m въ сек. Отверстіе въ клананѣ для прохода воды почти всегда меньше $^1/_3$ площади поршня, почему скорость воды по меньшей мѣрѣ въ 3 раза больше скорости поршня. Вслѣдствіе этого насосъ можетъ работать лишь при малыхъ скоростяхъ поршня.

Количество доставляемой воды (въ cbm) при подъемѣ поршня: $(F-f)s$, при опусканіи: fs, общее количество $=Fs$ (гдѣ $F=$ сѣченіе поршня; $f=$ сѣченіе штанги въ qm, $s=$ ходъ поршня въ m).

Для наивысшаго сѣченія тягъ, приводящихъ движеніе насосъ, будемъ имѣть:

усиліе при подъемѣ штангъ (растяж.) въ kg:

$$P_a=\gamma FH_s+\gamma(F-f)H_d+W_a+G,$$

гдѣ:

$G=$ вѣсу тягъ и поршня насоса въ kg,

*) По A. Ридлеру.—См. также J. Hauer, Die Wasserhaltungsmaschinen der Borgwerke, 1889.—E. Josse, Neuere Wasserhaltungsanlagen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 364 и 403.

НТБ ДНУЗТ

γ = вѣсу 1 cbm воды въ kg (обыкновенно, слѣд.: $\gamma = 1000$ kg),
W_a = суммѣ всѣхъ сопротивленій при подъемѣ, т.-е. сопротивленій отъ тренія поршня, сальниковъ и воды, равно и давленія отъ силы инерціи, въ kg. Для начала хода не принимается въ разсчетъ треніе воды, а для средины хода не принимается ускореніе отъ силы инерціи. (Болѣе подробно объ этомъ см. стр. 716).

H_s и H_d см. стр. 699.

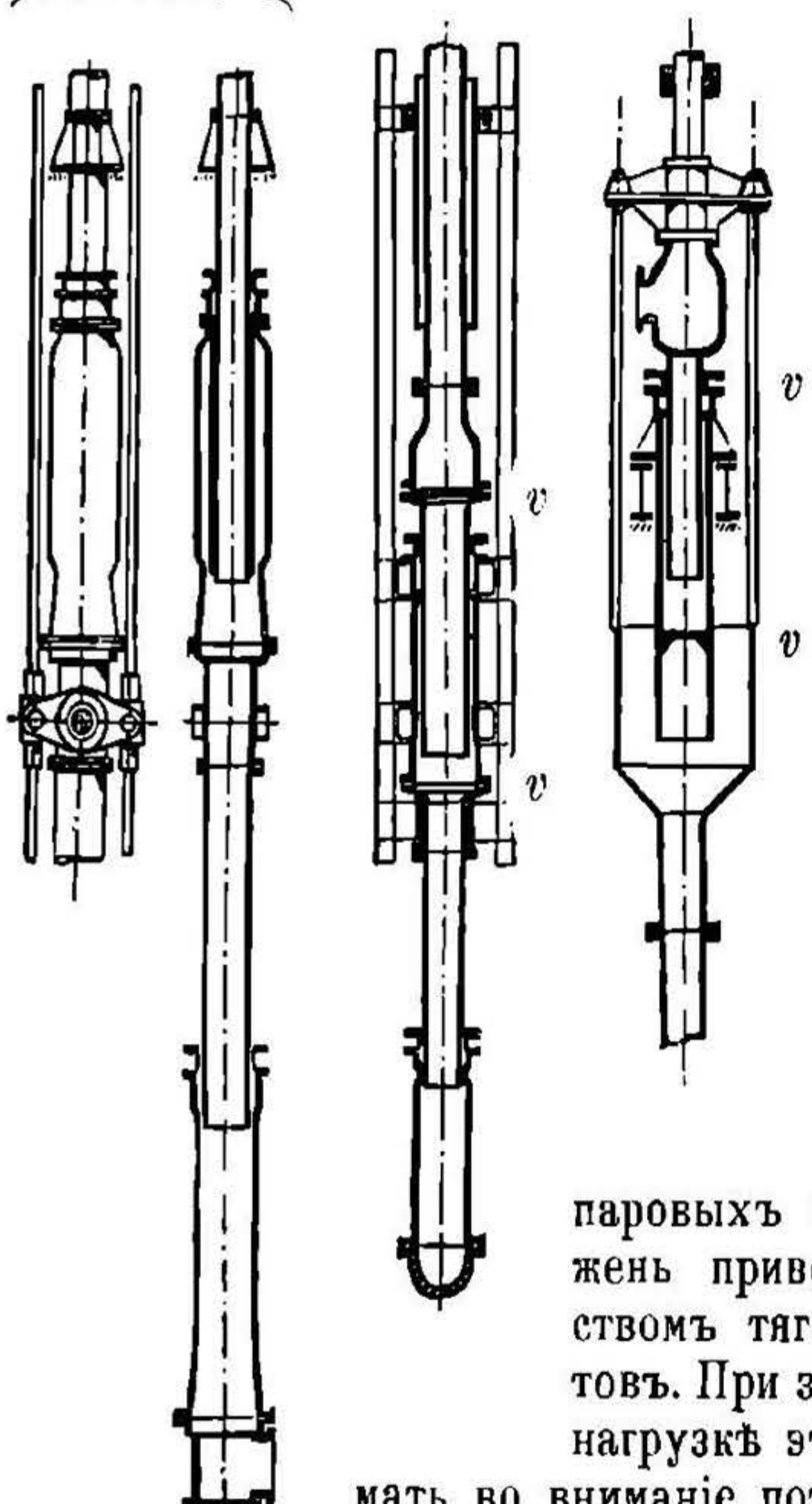
Усиліе при опусканіи штанги (сжатіе) въ kg:

$$P_n = \gamma f H_d + W_n - G,$$

гдѣ W_n (въ kg) сумма всѣхъ сопротивленій движенію при опусканіи штангъ (см. W_a).

Въ случаѣ длинныхъ штангъ P_n должно быть меньше 0, такъ какъ штанги, подверженныя сжатію, не могутъ имѣть достаточно надежнаго направленія.

Черт. 588. Черт. 589. Черт. 590.



Размѣры насосовъ и ихъ производительность по стр. 709 (насосъ простого дѣйствія, $i = 1$).

$\lambda = 0{,}9$; $n = 10$ до 20 ходовъ въ 1 мин., при длинѣ стержней болѣе 100 m; для короткихъ стержней (< 50 m) n доходитъ до 30 въ минуту. Коэф. пол. дѣйствія $\eta = 0.8$ до 0,85 при употребленіи дисковыхъ поршней, $\eta = 0{,}9$ при употребленіи нырялъ.

Насосы для **отначиванія изъ шахтъ** устраиваются по типу предыдущихъ, съ приспособленіемъ для опусканія насосовъ, для чего послѣдніе подвѣшиваются на проволочныхъ канатахъ. Поднятіе и опусканіе ихъ производится посредствомъ паровыхъ воротовъ. Поршневой стержень приводится въ движеніе посредствомъ тягъ изъ проволочныхъ канатовъ. При значительной длинѣ и сильной нагрузкѣ этихъ тягъ слѣдуетъ принимать во вниманіе потерю части хода, происходящую отъ растяженія канатовъ.

2. Насосы Риттингера (черт. 588—590, клапаны у v) точно также расположены по одной оси и могутъ быть простого и двойного дѣйствія.

НТБ ДНУЗТ

Насосъ Риттингера простого дѣйствія (черт. 589 и 590).

У этихъ насосовъ напорная труба можетъ быть сдѣлана подвижной, отчего сберегаются штанги (черт. 590). Усилія въ тягахъ для каждаго насоса опредѣляются по тѣмъ же формуламъ для P_a и P_n, какъ въ насосахъ съ дисковыми поршнями (см. стр. 713), причемъ F наружнее сѣченіе трубчатаго поршня, а f сѣченіе его стѣнокъ. Или же цилиндръ насоса можетъ быть приведенъ въ движеніе наружними двойными тягами (черт. 589).

Насосъ Риттингера двойного дѣйствія (черт. 588) съ дифференціальнымъ приспособленіемъ, при которомъ большое ныряло (сѣченіемъ F) дѣйствуетъ одновременно съ ныряломъ меньшаго діаметра (сѣченіе f). На чертежѣ 588 показано движеніе насоснаго цилиндра при помощи тягъ. Имѣемъ (см. стр. 713 и 714):

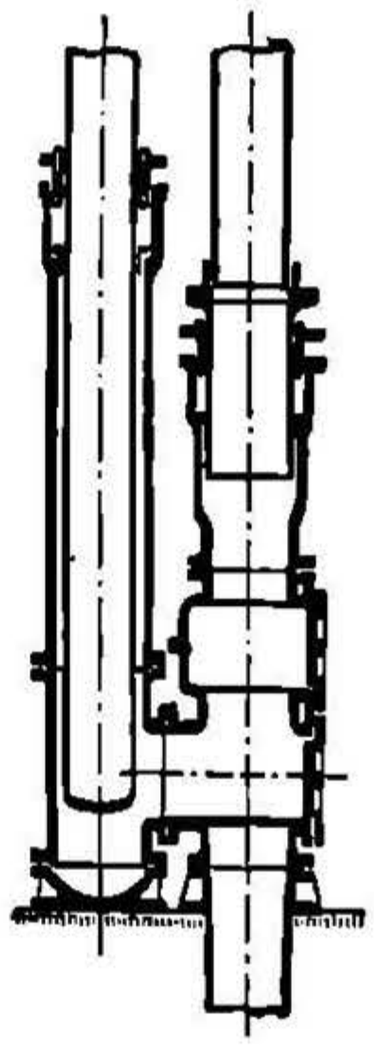
$$P_a = \gamma F H_s + \gamma f H_d + G + W_a,$$
$$P_n = \gamma (F - f) H_d - G + W_n.$$

Выбирая соотвѣтственнымъ образомъ f, можно достичь того, что усиліе въ тягахъ при движеніи вверхъ и внизъ будетъ одно и то же

Если нѣсколько насосовъ Риттингера расположены одинъ надъ другимъ, то разсчетъ слѣдуетъ производить на сумму величинъ P_a или P_n, получаемыхъ для всѣхъ насосовъ, расположенныхъ ниже разсчитываемаго сѣченія штанги (соотв. разсчетъ для нагнетательныхъ насосовъ см. ниже).

3. Нагнетательные насосы (черт. 591 и 592, клапаны у v) употребляются всего чаще. Нагнетаніе производится при движеніи внизъ. Насосы эти имѣютъ двѣ оси, почему занимаютъ больше мѣста. Приводятся въ движеніе вилкообразными тягами. Вся высота подъема подраздѣляется на отдѣльные напорные участки, высотою въ 100 до 150 m; для каждаго участка отдѣльный насосъ.

Черт. 591.



Черт. 592.

Разсчетъ штангъ на прочность ихъ долженъ быть произведенъ для случая опусканія и для подъема. При этомъ, въ случаѣ опусканія, штанги не должны подвергаться сжатію, что достигается противовѣсами; при подъемѣ же тяги должны хорошо сопротивляться растяженію. Разсчетъ долженъ быть произведенъ отдѣльно для каждой отдѣльной части штангъ и всегда для начала хода, ибо въ этомъ случаѣ силы инерціи достигаютъ наибольшей своей величины (треніе воды тогда въ разсчетъ не принимается).

При разсчетѣ **противувѣсовъ** для опусканія штангъ при-

НТБ ДНУЗТ

нимаютъ, что сила P_n, которая должна дѣйствовать на поршень для его опусканія, равна дѣйствію силы отъ тяжести приложенныхъ къ поршню грузовъ. Въ этомъ случаѣ черезъ штанги не передается сжимающее усиліе. Принимая во вниманіе силы инерціи для массъ штангъ и воды, находимъ:

$$(G+B)\left(1-\frac{q_n}{9{,}81}\right)=P_n=\gamma F H_d\left(1+\frac{F}{F_d}\frac{q_n}{9{,}81}\right)+R,$$

гдѣ:

G вѣсъ части штангъ, со включеніемъ вѣса поршня, между даннымъ и соотвѣтственно ниже расположеннымъ напорнымъ участкомъ въ kg, опредѣленный изъ предыдущаго разсчета на прочность (см. стр. 717),

B искомая величина нагрузки, которая должна быть прибавлена для соотвѣтствующаго напорнаго участка, въ kg,

R сопротивленіе отъ тренія въ сальникахъ, направляющихъ и т. п. Оно принимается, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, въ 5 до 10% силы, дѣйствующей на поршень $F H_d \gamma$ (въ kg),

F сѣченіе поршня въ qm,

F_d сѣченіе напорной трубы въ qm,

H_d высота нагнетанія насоса въ m,

q_n наибольшее ускореніе при ходѣ книзу въ m/sec.^{2} (для машинъ съ маховымъ колесомъ, при отношеніи радіуса кривошипа къ длинѣ шатуна $= 1:5$, принимаютъ, въ зависимости отъ устройства, $q_n = 0{,}8\,v^2 : r$ или $1{,}2\,v^2 : r$, еще помноженному на отношеніе плечъ балансира).

Если по вышеприведенному уравненію получится

$$P_n > G\left(1-\frac{q_n}{9{,}81}\right),$$

то на поршень должна быть положена дополнительная нагрузка B, величина которой опредѣляется изъ:

$$(G+B)\left(1-\frac{q_n}{9{,}81}\right)=P_n.$$

Для предварительныхъ разсчетовъ и обыкновенныхъ условій можно, вмѣсто вышеприведеннаго уравненія, пользоваться для B выраженіемъ:

$$G+B=1{,}3\,\gamma F H_d.$$

Соотвѣтственно этому и общій вѣсъ штангъ (вмѣстѣ съ дополнительной нагрузкой) можетъ быть принятъ приблизительно

$$\Sigma(G+B)=1{,}3\,(z+1)\,\gamma F H_d,$$

гдѣ z число равныхъ между собою напорныхъ участковъ съ одинаковой высотой напора; для очень глубокихъ шахтъ $\Sigma(G+B)$ принимаютъ больше.

Повѣрка прочности штангъ при ихъ подъемѣ производится для верхняго и нижняго сѣченія, отдѣльно по частямъ штангъ, расположенныхъ между двумя насосами. (Сѣченіе штангъ, книзу

НТБ ДНУЗТ

уменьшающееся,—и сами штанги равнаго сопротивленія, см. стр. 344 и 345). Для растягивающей силы P_a принимается сумма вѣсовъ и силъ отъ всѣхъ частей штангъ (Σ_u), расположенныхъ ниже выбраннаго сѣченія. Тогда:

$$10\,000 f k_z = P_a = \Sigma_u \left[(G+B)\left(1+\frac{q_a}{9{,}81}\right) + \gamma F H_s + R \right],$$ гдѣ:

H_s высота всасыванія соотвѣтствующихъ напорныхъ участковъ въ m,

q_a наибольшее ускореніе при подъемѣ въ m/sec². (для машинъ съ маховикомъ опредѣляется соотв. q_n см. выше),

f сѣченіе штангъ въ qm,

k_z допускаемое напряженіе въ матеріалѣ штангъ въ kg/qcm ($k_z = 60$ до 70 для дерева, $k_z = 500$ до 600 для желѣза; въ стыкахъ, болтовыхъ и заклепочныхъ соединеніяхъ допускается $0{,}8\,k_z$).

Вѣсъ части штангъ опредѣляется по длинѣ l (въ m) и сѣченію штангъ f (въ qm) изъ $f l \gamma_g \beta$, гдѣ:

γ_g вѣсъ 1 cbm матеріала штангъ въ kg ($\gamma_g = 800$ для дерева, $\gamma_g = 7800$ для сварочнаго желѣза $\gamma_g = 7850$ для литого желѣза и $\gamma_g = 7860$ для стали),

β число > 1, соотв. увеличенію вѣса отъ соединеній частей штангъ ($\beta = 1{,}25$ для круглыхъ штангъ, $\beta = 1{,}35$ для штангъ деревянныхъ и прокатнаго желѣза).

При разсчетѣ прочности штангъ у шахтныхъ насосовъ для значительной глубины, въ верхнихъ частяхъ штангъ получаются столь значительные вѣса, что при разсчетѣ на опусканіе величина

$$P_n < G\left(1-\frac{q_n}{9{,}81}\right),$$

т.-е. получается избытокъ вѣса тягъ надъ тѣмъ грузомъ, который требуется для преодолѣнія сопротивленій при движеніи внизъ. Въ виду того, что въ штангахъ, по вышеприведенному, не должно быть никакихъ сжимающихъ усилій, находимъ, что вѣсъ верхней части штангъ, равно какъ и непосредственно соединенныя съ нею движущіяся поступательно части паровой машины не должны участвовать въ передачѣ силы насосу.

Этотъ избытокъ (весьма чувствительный въ насосахъ Риттингера) долженъ быть уравновѣшенъ или уменьшеніемъ давленія пара при опусканіи или увеличеннымъ давленіемъ пара при подъемѣ, или же особыми уравнителями (балансировка). Кромѣ того, для избѣжанія сжатія штангъ, при передачѣ движенія паровыми машинами двойного дѣйствія, необходимо, независимо отъ изложеннаго, уравновѣсить давленіе пара при движеніи книзу всей системы. Паровая машина должна въ этомъ случаѣ при движеніи вверхъ и внизъ развивать лишь половину той силы, которая требуется для подъема вѣса штангъ, а приспособленіе

НТБ ДНУЗТ

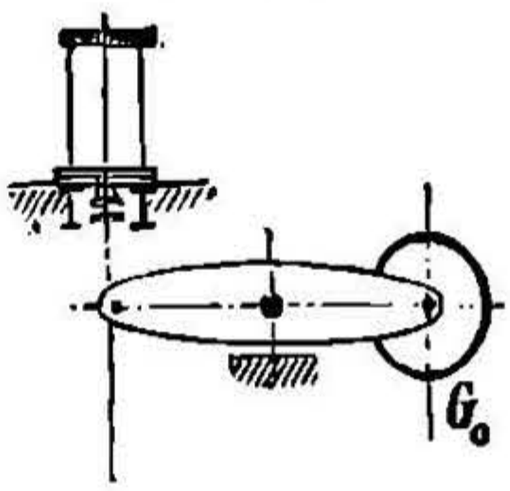
для уравновѣшенія должно развивать силу, равную силѣ паровой машины. При движеніи вверхъ обѣ силы суммируются и даютъ требуемое для подъема усиліе.

Уравновѣшеніе производится:

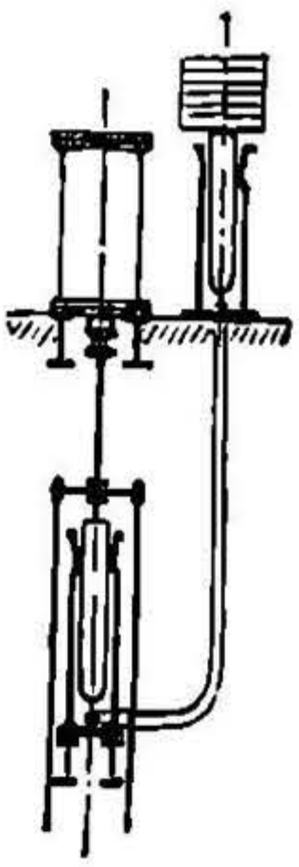
1. Противовѣснымъ коромысломъ (черт. 593).

2. Гидравлическимъ противодавленіемъ (черт. 594). Штанги насоса приводятъ въ движеніе поршень, сообщающійся съ аккумуляторомъ, расположеннымъ надъ уровнемъ земли.

Черт. 593.



Черт. 594.



2. Постояннымъ давленіемъ пара, напр., при посредствѣ уравновѣшивающаго цилиндра, расположеннаго надъ или подъ паровымъ цилиндромъ.

4. Постояннымъ давленіемъ столба воды.

Примѣръ разсчета штангъ **водоподъемной машины двойного дѣйствія**, при условіи отсутствія въ штангахъ сжимающихъ усилій, съ **уравновѣшеніемъ при помощи противовѣса.**

Даны пять между собою равныхъ напорныхъ участковъ, высотой напора по 100 m. $Q = 3{,}5$ cbm въ мин., $n = 7$ двойныхъ ходовъ въ минуту. Отсюда находимъ ходъ $=$ 2,4 m и діаметръ ныряла $= 530$ mm.

По приведенному выше разсчету для вѣса штангъ (стр. 716) при движеніи внизъ находимъ, что необходимый для каждаго напорнаго участка общій вѣсъ $G + B =$ $= 28\,000$ kg, вѣсъ поршня $= 2200$ kg. Поэтому, въ нижнемъ напорномъ участкѣ должна быть прибавлена нагрузка въ $28\,000 - 2200 = 25\,800$ kg.

Штанги между нижнимъ и непосредственно выше расположеннымъ напорнымъ участкомъ разсчитаны для нижняго ихъ сѣченія при движеніи вверхъ по вышеприведенной формулѣ (стр. 717), въ которую подставлены соотвѣтствующія величины для вѣса поршня и дополнительной нагрузки отъ нижняго напорнаго участка. Діам. $= 85$ mm.

Та же часть штангъ разсчитывается въ верхнемъ своемъ сѣченіи, причемъ къ вышеприведеннымъ силамъ и нагрузкамъ прибавляется собственный вѣсъ этой части штангъ. Для предварительнаго разсчета (который впослѣдствіи долженъ быть снова провѣренъ) этотъ собственный вѣсъ принимается приблизительно для нѣкотораго средняго сѣченія штанги. Діаметръ верхняго сѣченія штанги $= 95$ mm, боковыхъ штангъ $= 80$ mm.

Отсюда получается вѣсъ всѣхъ штангъ въ 5800 kg, боковыхъ штангъ $= 1600$ kg, поршня $= 2200$ kg, почему къ предпослѣднему напорному участку должна быть прибавлена дополнительная нагрузка $28\,000 - (5800 + 1600 + 2200) = 18\,400$ kg.

Сѣченіе штангъ надъ предпослѣднимъ напорнымъ участкомъ разсчитывается по вѣсу поршня и дополнительной нагрузкѣ отъ обоихъ насосовъ, равно какъ по вѣсу штангъ между ними и т. д.

Такимъ образомъ, общій грузъ, дѣйствующій на балансирѣ паровой машины отъ вѣса штангъ, поршня, боковыхъ тягъ и дополнительныхъ нагрузокъ $= 181\,000$ kg. Сила, необходимая для преодолѣнія всѣхъ сопротивленій при движеніи внизъ, находится въ среднемъ $= 121\,000$ kg. Поэтому, на другомъ плечѣ балансира (одинаковой длины) долженъ быть помѣщенъ грузъ въ $181\,000 - 121\,000$ kg $= 60\,000$ kg. Для достиженія двойного дѣйствія машинъ къ послѣднему еще слѣдуетъ прибавить грузъ $= {}^1/_2 \cdot 121\,000$ kg, такъ что общая величина противовѣса $= 120\,500$ kg.

Водоподъемныя машины безъ штангъ (подземныя) проектируются

НТБ ДНУЗТ

какъ обыкновенные паровые насосы для тѣсныхъ помѣщеній, причемъ необходимо имѣть удобный доступъ ко всѣмъ частямъ и избѣгать сложныхъ деталей. Въ послѣднее время къ этого рода насосамъ съ успѣхомъ примѣняется **электрическая передача** *).

VIII. Воздуходувки и компрессоры.

A. Общія данныя.

Количество воздуха, которое должна доставлять воздуходувка, дается обыкновенно въ kg или cbm и относится къ стоянію барометра 760 mm ртутнаго столба и температурѣ 0°.

Вѣсъ 1 cbm сухого воздуха въ kg (по стр. 279) равенъ:

$$\gamma = 0{,}4645\ \frac{b}{273+t} = 353{,}04\ \frac{p'}{273+t} = 341{,}66\ \frac{p}{273+t},$$

гдѣ b абсолютное давленіе воздуха въ mm ртутнаго столба, p' то же въ стар. атмосферахъ (760 mm ртут. столб.), p въ новыхъ (метрическихъ) атм. (kg/qcm), и t температура въ град.

Вѣсъ 1 cbm воздуха въ средней влажности въ kg (при постоянной $R = 29{,}4$ mkg/kg, приведенной на стр. 276):

$$\gamma = 0{,}4625\ \frac{b}{273+t}.$$

Удѣльный объемъ воздуха $v = 1:\gamma$. Подробнѣе см. стр. 279 до 282.

Размѣры воздуходувки должны быть такъ разсчитаны, чтобы при помощи нея можно было получить требуемое количество воздуха даже при наименьшей возможной въ данномъ мѣстѣ его плотности. Въ виду этого, необходимо при разсчетахъ принимать наименьшее для даннаго мѣста стояніе барометра и наивысшую въ этомъ мѣстѣ температуру. (Для высоко расположенныхъ горнозаводскихъ воздуходувокъ принимается въ разсчетъ высота надъ уровнемъ моря).

Для того, чтобы размѣры воздуходувокъ не получались излишне большими, воздухъ для воздуходувки слѣдуетъ брать въ томъ мѣстѣ, гдѣ онъ наиболѣе сухъ и имѣетъ наименьшую температуру, т.-е. не изъ машиннаго помѣщенія.

Полезная работа, необходимая для воздуходувки, составляется изъ: 1) работы сжатія, 2) работы для нагнетанія воздуха и 3)

*) См. Lasche, Elektrischer Antrieb für eine unterirdische Wasserhaltung, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 1341 и слѣд. Далѣе B. Gerdau, Neuere unterirdische Wasserhaltungsmaschinen für Bergwerke, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1899, стр. 29 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

работы, необходимой для сообщенія воздуху въ воздуходувныхъ каналахъ опредѣленной скорости (соотвѣтственно живой силѣ).

Для воздуходувокъ при большихъ давленіяхъ принимается въ разсчетъ только работа, приведенная въ 1) и 2), для воздуходувокъ при малыхъ давленіяхъ (вентиляторы и т. п.) принимается во вниманіе 2), хотя работа для сообщенія воздуху извѣстной скорости въ воздуходувныхъ каналахъ бываетъ иногда довольно значительная, даже при небольшой разности давленій.

Та часть полезной работы, которою пренебрегаютъ въ той или другой системѣ вентиляторовъ, пополняется тѣмъ, что ее причисляютъ къ вреднымъ сопротивленіямъ и принимаютъ меньшій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія.

B. Вентиляторы *).

a. Лопастные (центробѣжные) вентиляторы.

Пусть:

u_1 скорость на внутреннемъ концѣ крыла въ m/sec.,
u_2 „ „ наружнемъ „ „ въ m/sec.,
c_0 „ , съ которою воздухъ входитъ въ коробку, въ m/sec.,
c_1 абсолютная скорость, съ которою воздухъ входитъ въ колесо, въ m/sec.,
c_2 абсолютная скорость, съ которою воздухъ выходитъ изъ колеса, въ m/sec.,
c_3 скорость, съ которой воздухъ выходитъ изъ коробки (диффузора), въ m/sec.,
w_1 и w_2 относительныя скорости входа и выхода воздуха въ m/sec.,
n число оборотовъ въ минуту,
D_1 внутренній, D_2 наружній діаметръ лопастного колеса въ m,
b_1 ширина лопасти у мѣста входа въ m,
b_2 „ „ „ „ выхода въ m,
Q количество воздуха, которое долженъ давать вентиляторъ, въ cbm въ сек.,
v удѣльный объемъ воздуха (въ cbm/kg), см. стр. 719 и табл. II, стр. 282,
h разность давленій, которая должна быть достигнута вентиляторомъ (въ mm водяного столба); мы будемъ эту разность ниже для краткости называть давленіемъ, независимо отъ того, будетъ ли разность эта положительна или отрицательна,
f коэффиціентъ, который въ большихъ вентиляторахъ, хорошо исполненныхъ = 1,2 до 1,4, а для малыхъ = 1,4 до 1,7,
γ вѣсъ 1 cbm воздуха въ kg,
g ускореніе отъ силы тяжести = 9,81 m/sec^2.

---

*) По фому-Гауеру, Die Wettermaschinen, 2 изд., Leipzig, 1889.

НТБ ДНУЗТ

1. Скорость на окружности лопастного колеса.

На радіальномъ наружнемъ элементѣ крыла скорость на окружности будетъ:

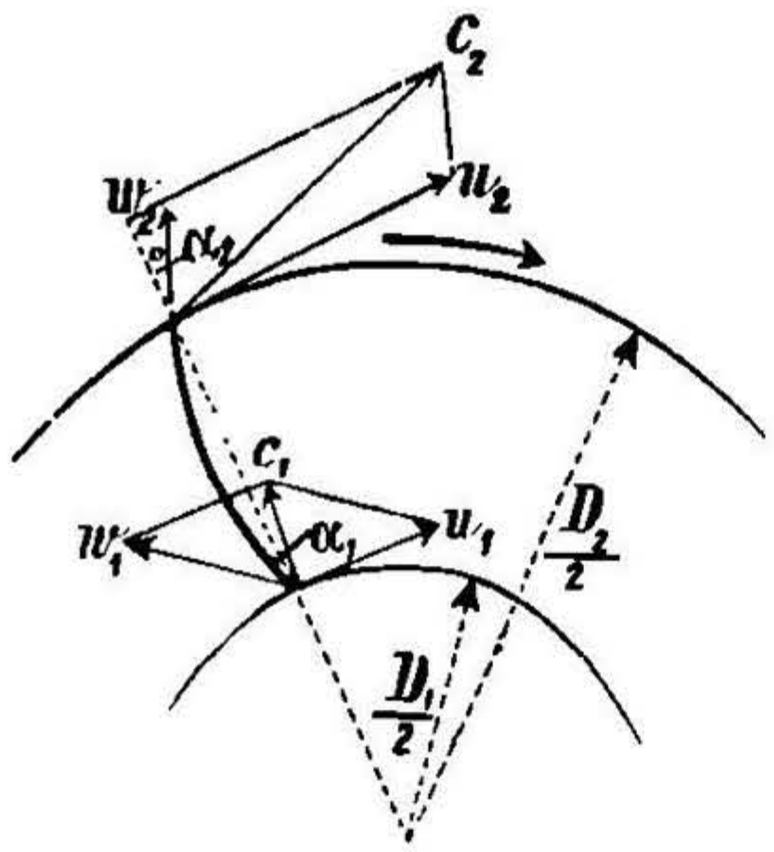
$$u_2 = f\sqrt{ghv},$$

или для воздуха средней плотности (по табл. II, стр. 282) при $v = 0{,}8$ cbm/kg:

$$u_2 = 2{,}8\, f\sqrt{h}.$$

Эту формулу можно примѣнять и въ томъ случаѣ, когда послѣдній элементъ крыла образуетъ съ радіусомъ небольшой уголъ.

Черт. 595.



Если послѣдній элементъ крыла образуетъ съ радіусомъ уголъ α_2 (значительный), то слѣдуетъ пользоваться формулой:

$$u_2 = f\left[\frac{D_1}{D_2}\frac{b_1}{b_2}c_1\frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{2} + \sqrt{\left(\frac{D_1}{D_2}\frac{b_1}{b_2}c_1\frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{2}\right)^2 + ghv}\right],$$

или для среднихъ отношеній:

$$u_2 = f\left[4\operatorname{tg}\alpha_2 + \sqrt{(4\operatorname{tg}\alpha_2)^2 + 7{,}85\,h}\right].$$

Здѣсь α_2 для крыльевъ, изогнутыхъ назадъ (черт. 599 и 600), положительно, а для крыльевъ, выгнутыхъ впередъ (черт. 601), отрицательно *).

2. Діаметръ лопастного колеса.

Скорость c_0, съ которою воздухъ входитъ въ коробку, принимается обыкновенно $= 8$ m/sec.

Пельцеръ принимаетъ c_0 для малыхъ давленій меньше, чѣмъ для большихъ, а именно для:

$h =$	10	20	50	100	150	200	250	300	350 mm вод. ст.
$c_0 =$	4,7	6,6	10,5	15,0	18,3	21,0	23,5	25,8	27,8 m/sec.

Діаметръ отверстія всасывающей трубы получается изъ:

$\frac{1}{4}\pi d^2 = Q : c_0$ при входѣ воздуха съ одной стороны;
$\frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{1}{2} Q : c_0$ при входѣ воздуха съ двухъ сторонъ.

Наружній діаметръ D_2 крыла принимается тогда:

$$D_2 = 2\,d \text{ до } 3\,d, \text{ внутренній } D_1 = d \text{ до } 1{,}5\,d,$$

отсюда находимъ **число оборотовъ:** $n = 60\,\dfrac{u_2}{\pi D_2}$.

---

*) **Компаундъ-вентиляторы** отличаются меньшею скоростью на окружности, почему употребляются для болѣе высокихъ давленій. Опыты съ подобнымъ вентиляторомъ дали, для $u_2 = 50$, 75, 100 m въ сек., $h = 290$, 525, 900 mm водяного столба. См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, стр. 434.

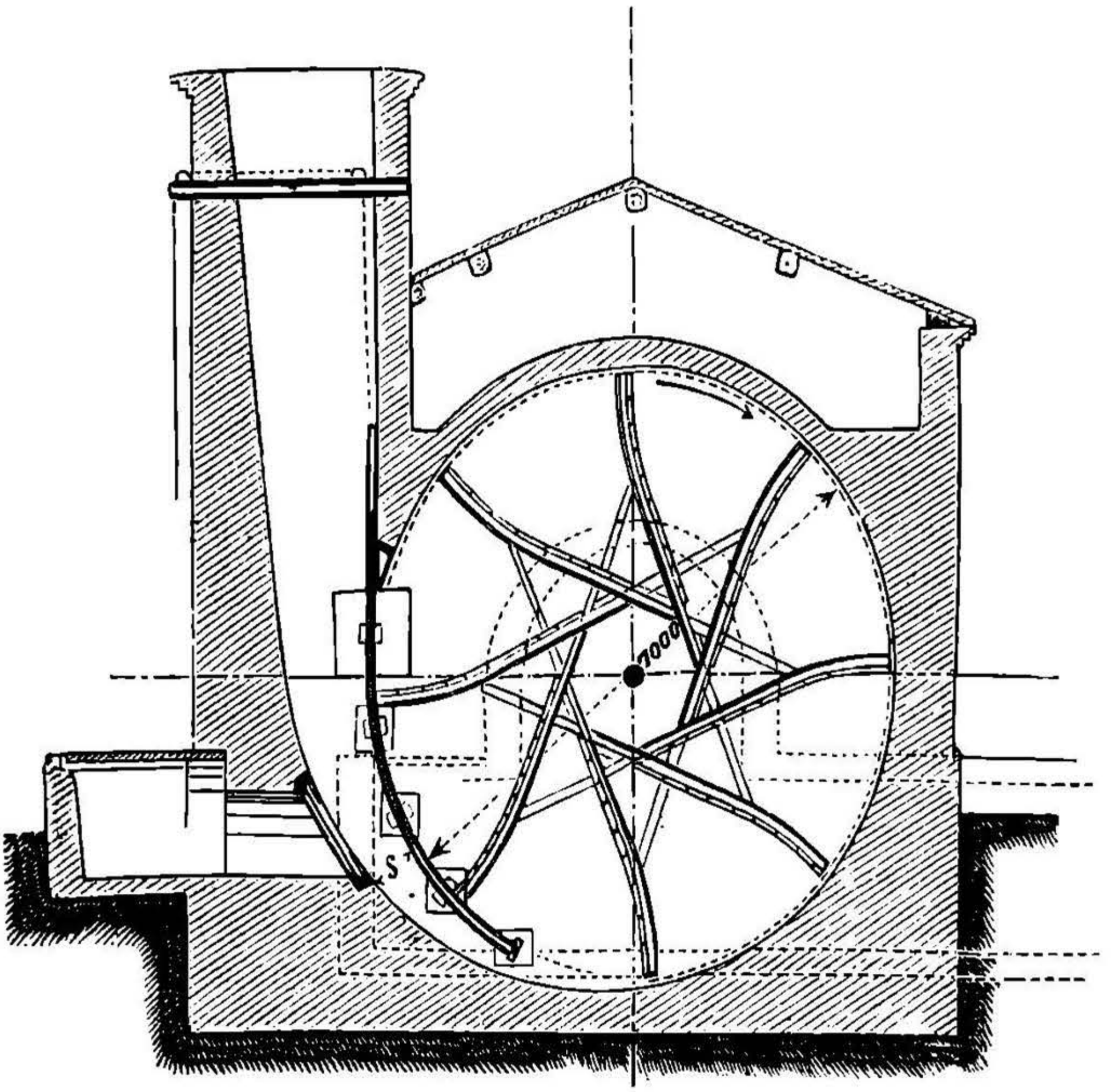
НТБ ДНУЗТ

При заданномъ числѣ оборотовъ движущей машины полезно, для избѣжанія приводовъ и передачъ, съ цѣлью достиженія непосредственнаго сцѣпленія машины съ вентиляторомъ, принимать D_2 больше, чѣмъ получается по вышеприведенной формулѣ:

$$D_2 = \frac{60\, u_2}{\pi n};$$

въ подобныхъ случаяхъ часто употребляются вентиляторы (Гибаля, Гарце) по черт. 596.

Черт. 596.



Ширину лопастей выбираютъ съ такимъ разсчетомъ, чтобы скорость воздуха мѣнялась незначительно, что, въ зависимости отъ сжатія, даетъ:

$b_1 = 0{,}25\, d$ до $0{,}4\, d$ для входа воздуха съ одной стороны,

$b_1 = 0{,}5\, d$ до $0{,}8\, d$ для входа воздуха съ двухъ сторонъ.

Весьма цѣлесообразно въ вентиляторахъ съ большимъ давленіемъ ширину лопастей уменьшать по мѣрѣ приближенія къ наружней окружности лопастного колеса. Это дѣлается съ цѣлью нѣсколько уравнять давленіе съ передней и задней стороны лопастей, чѣмъ

НТБ ДНУЗТ

устраняется главнѣйшая причина шума, происходящаго при работѣ вентиляторовъ; часто принимаютъ $b_2 = b_1 (D_1 : D_2)$. У вентиляторовъ (черт. 596) ширина лопастей постоянна и принимается:

$$b_2 = b_1 = 0{,}25\, D_2 \text{ до } 0{,}33\, D_2,$$

и ширина прохода s равна:

$$s = \frac{2\,Q}{b\,u_2\,i},$$

гдѣ i число отверстій; большею частью $i = 1$.

Число лопастей по Риттингеру $z = 15\, D_2$; для большихъ вентиляторовъ формула эта даетъ слишкомъ большое число лопастей. Часто изготовляютъ лишь половинное число лопастей, тогда какъ вторая половина представляетъ лишь короткія лопасти.

Въ вентиляторахъ (черт. 596) дѣлаютъ лишь 8 до 15 лопастей.

3. **Потребляемая работа:** $N = \frac{Q\,h}{75\,\eta}$ лош. силъ.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія η мѣняется въ большихъ вентиляторахъ (для вентиляціи шахтъ) между 0,4 и 0,7; послѣдній предѣлъ достигается, однако, лишь въ исключительныхъ случаяхъ. Для малыхъ вентиляторовъ можно принимать $\eta = 0{,}3$ до 0,5.

Дѣйствіе диффузора (кольцевое пространство между наружнею окружностью крыльевъ и наружнею обшивкой, гдѣ выходитъ воздухъ вентилятора). Приведенныя формулы относятся до того случая, когда воздухъ выходитъ изъ вентилятора со скоростью 8 m въ секунду. Во всасывающихъ вентиляторахъ скорость эта еще можетъ быть уменьшена увеличеніемъ діаметра выходного канала (черт. 596) или посредствомъ кольцевого уширяющаго канала (**диффузора**). Этимъ обстоятельствомъ достигается уменьшеніе числа оборотовъ и увеличеніе полезнаго дѣйствія вентилятора. Въ вентиляторахъ, нагнетающихъ воздухъ, слѣдуетъ исходить изъ скорости воздуха, которая должна быть сохранена въ воздухопроводѣ.

Если у всасывающаго вентилятора отнять обшивку, то число оборотовъ и потребляемая работа значительно увеличиваются. Потеря работы, происходящая отъ вліянія скорости c_2, съ которою воздухъ оставляетъ колесо составляетъ:

$$N_0 = \frac{1}{75}\, Q\, \frac{c_2^2}{2\,g}\, \gamma \text{ лош. силъ,}$$

или для среднихъ отношеній:

$$N_0 = 0{,}000\,86\; Q\, c_2^2.$$

Скорость c_2 опредѣляется всего проще графически, сложеніемъ скоростей u_2 и w_2 (черт. 595 стр. 721). Относительная скорость выхода будетъ:

$$w_2 = \frac{Q}{\pi\, D_2\, b \cos \alpha_2}.$$

НТБ ДНУЗТ

Въ вентиляторахъ съ правильно спроектированнымъ диффузоромъ большая часть этой работы превращается въ давленіе, такъ что часть работы, пропадающая въ видѣ живой силы, составляетъ только $0{,}00086\ Q\, c_3^2$.

2. Форма лопастей.

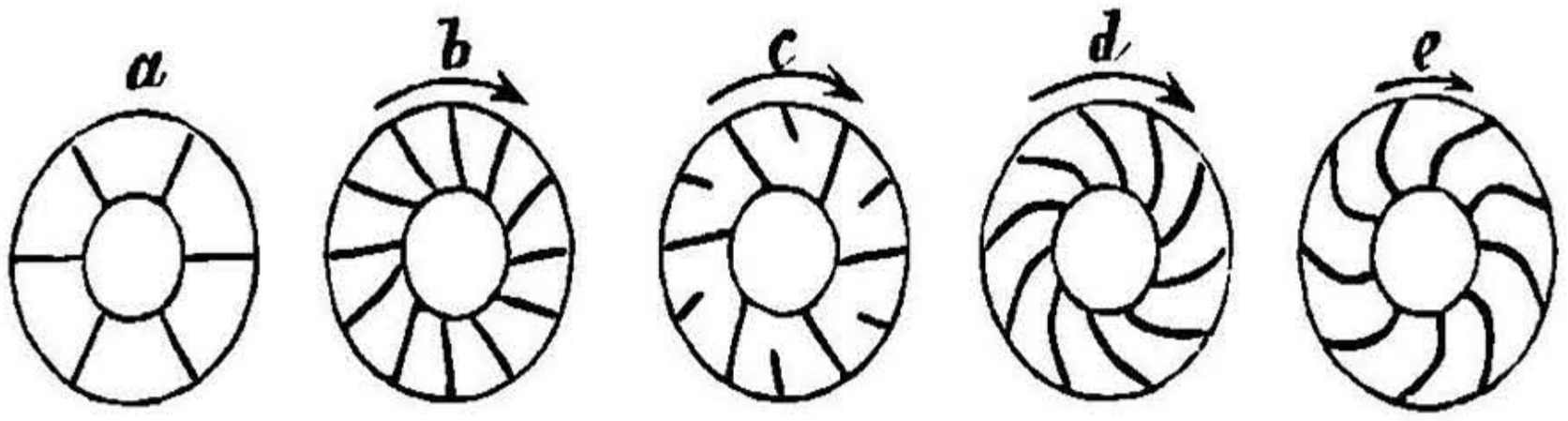
Трудно напередъ указать на наиболѣе цѣлесообразную форму лопастей. Формы, указанныя на черт. 597—601, при различныхъ мѣстныхъ условіяхъ всѣ оправдались на дѣлѣ очень хорошо.

Требованіе свободнаго (безъ удара) входа воздуха въ лопасти удовлетворяется при условіи:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = 0{,}052 \frac{n D_1}{c_1},$$

гдѣ α_1 уголъ, образуемый внутреннимъ элементомъ лопатки съ радіусомъ (черт. 595, стр. 721).

Черт. 597. Черт. 598. Черт. 599. Черт. 600. Черт. 601.



Вслѣдствіе упругости воздуха условіе это здѣсь менѣе важно, чѣмъ въ центробѣжныхъ насосахъ (см. стр. 702).

Черт. 597 до 601: *a*—прямыя радіальныя лопасти, самая простая конструкція, полезное дѣйствіе посредственное; *b*—наружніе концы лопастей радіальны, внутренніе наклонены назадъ; полезное дѣйствіе (по Риттингеру) больше, чѣмъ въ *a*; *c*—прямыя лопасти не радіальны, а наклонены назадъ, число оборотовъ больше, и абсолютная скорость при выходѣ меньше, нежели въ другихъ формахъ; *d*—то же самое, что и въ *c*, но въ гораздо большей степени; рекомендуется для вентиляторовъ съ незначительнымъ давленіемъ; *e*—малое число оборотовъ и большая абсолютная скорость при выходѣ; вентиляторы съ такою формою лопастей при большомъ давленіи отличаются высокимъ полезнымъ дѣйствіемъ. Ф. Пельцеръ (въ Дортмундѣ) примѣняетъ съ успѣхомъ гладкія радіальныя лопасти съ боковыми винтовыми насадками (соединеніе винтовыхъ вентиляторовъ съ лопастными).

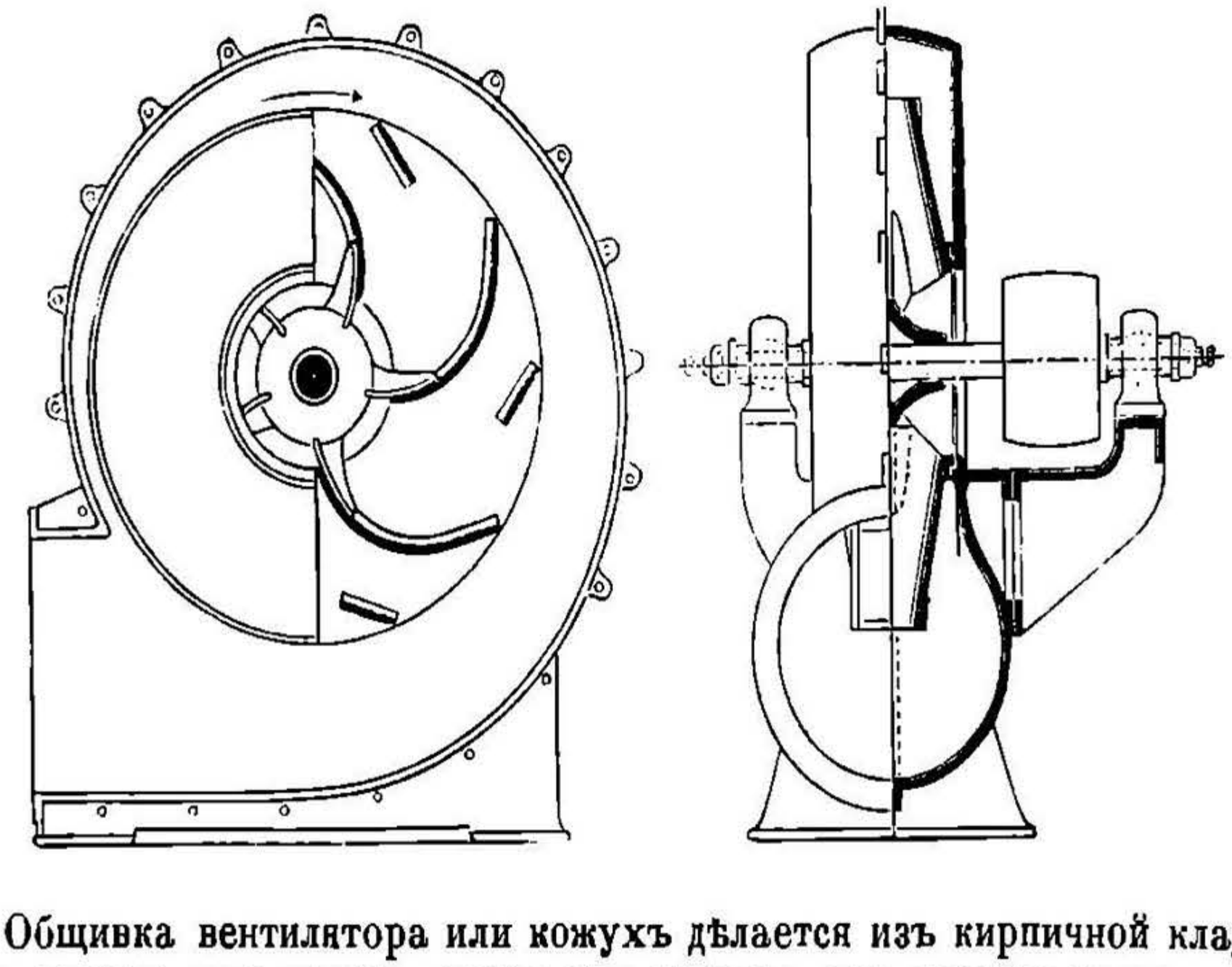
3. Данныя для проектированія.

Отдѣльныя лопасти соединяются между собою особыми, прочно съ ними соединенными, желѣзными стѣнками (черт. 602), или открытын съ боковъ лопасти вращаются въ особомъ кожухѣ, стѣнки котораго находятся весьма близко отъ наружнихъ краевъ лопастей. Первая конструкція даетъ въ общемъ большій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія. Притокъ воздуха съ одной стороны

НТБ ДНУЗТ

требуетъ большихъ размѣровъ колеса, чѣмъ въ случаѣ притока воздуха съ двухъ сторонъ, но въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ односторонній притокъ воздуха представляетъ конструктивныя удобства; ему слѣдуетъ отдавать предпочтеніе, когда при большой скорости на окружности для уменьшенія числа оборотовъ выбирается большій діаметръ колеса.

Черт. 602.



Общивка вентилятора или кожухъ дѣлается изъ кирпичной кладки, чугуна или желѣза, часто изъ дерева; или нижняя часть изъ кирпича, верхняя—изъ желѣза.

Конусъ для входа воздуха въ вентиляторъ располагается на оси послѣдняго. Размѣры оси должны быть разсчитаны на достаточную прочность и достаточную жесткость, для того, чтобы не были возможны вибраціи при вращеніи. Матеріалъ—тигельная сталь. Ось не должна имѣть возможности перемѣщаться вдоль, для чего на этой оси должны находиться приспособленія съ установительными гайками.

При разсчетѣ цапфъ (см. стр. 488 и слѣд.) слѣдуетъ положить въ формулѣ IV, стр. 489, $w \leqq 15000$ kg; давленіе на единицу поверхности цапфы k должно быть по возможности мало. Рекомендуется выбирать подшипники, имѣющіе возможность передвигаться, съ бронзовыми вкладышами и съ хорошей смазкой.

Передача. При употребленіи кожи хорошаго качества ременной передачѣ, даже и для большихъ вентиляторовъ, слѣдуетъ отдавать предпочтеніе передъ канатной передачей. При небольшомъ числѣ оборотовъ вентилятора до ($n \sim 300$) рекомендуется непосредственное сцѣпленіе двигателя съ вентиляторомъ—безъ передачи. Вентиляторы воздуходувные для искусственной тяги пароходныхъ паровыхъ котловъ приводятся во вращеніе непосредственно сцѣ-

НТБ ДНУЗТ

пленными съ ними скороходными паровыми машинами (напр., системы Вестингауза, съ діам. цилиндра 110 до 140 mm, ходомъ поршня 100 до 130 mm и $n \sim 500$). Въ этомъ случаѣ вентиляторъ и паровая машина должны имѣть по возможности общую фундаментную плиту. Небольшіе вентиляторы могутъ быть приводимы въ дѣйствіе отъ руки или при помощи водяного двигателя. Въ новѣйшее время съ успѣхомъ примѣняется электрическая передача.

Примѣръ. Для вентиляціи зданія требуется спроектировать **всасывающій вентиляторъ**, который, при давленіи 20 mm водянаго столба въ состояніи давать 10 cbm воздуха въ сек. Для движенія имѣется газовый двигатель, который предполагается соединить непосредственно съ вентиляторомъ. Необходимая **работа** опредѣляется изъ:

$$N = \frac{1}{75}\frac{Qh}{\eta}; \qquad \text{при } \eta = 0{,}45: \quad N = \frac{1}{75}\frac{10\,.\,20}{0{,}45} = 5{,}9 \text{ лош. силъ.}$$

Выбираемъ горизонтальный газомоторъ въ 6 лош. силъ, дѣлающій нормально 160 оборотовъ въ минуту.

При радіальныхъ (на концѣ) лопастяхъ скорость на окружности вентилятора:

$$u_2 = 2{,}8\, f \sqrt{h}, \quad \text{при } f = 1{,}4 \qquad u_2 = 2{,}8\,.\,1{,}4\sqrt{20} = 17{,}5 \text{ m въ сек.}$$

Въ случаѣ притока воздуха съ двухъ сторонъ $\frac{\pi}{4} d^2 = \frac{1}{2}\frac{Q}{c_0} = \frac{1}{2}\cdot\frac{10}{8} = 0{,}625;$

$d = 0{,}892$ m; $D_2 \backsim 2{,}5 \cdot 0{,}892 = 2{,}23$ m; принимаемъ $D_2 = 2{,}25$ m. Отсюда имѣемъ:

$$n = 60\frac{u_2}{\pi D_2} = 60\,.\,\frac{17{,}5}{3{,}14\,.\,2{,}25} = 142{,}8,$$

т.-е. недостаточное число оборотовъ. Уменьшеніемъ величины D_2 уменьшится полезное дѣйствіе вентилятора, что невыгодно, почему выбираемъ лопасти, отклоненныя назадъ, у которыхъ $b_1 = b_2$, $D_1 = 0{,}6\, D_2$, $c_1 = 8$ m въ сек. и $gv = 7{,}85$, $\alpha_2 = 20^0$. Отсюда находимъ при помощи третьей формулы для форм. u_2, стр. 721:

$$u_2 = 1{,}4\left[0{,}6 \quad 8\frac{0{,}364}{2} + \sqrt{\left(0{,}6\,.\,8\frac{0{,}364}{2}\right)^2 + 7{,}85\,.\,20}\right] = 18{,}77 \text{ m въ сек.;}$$

это соотвѣтствуетъ (по стр. 721) $n = 159$, т.-е. для даннаго случая, при выбранной величинѣ f, вполнѣ подходить.

Вентиляторы высокаго давленія

Г. Шиле и К⁰ въ Бокенгеймѣ.

Діам. лопастей. D_2 mm	Для **кузницъ**, при давленіи воздуха отъ 120 до 160 mm вод. столба.			Для **литья** въ вагранкахъ, при давленіи воздуха отъ 280 до 320 mm вод. столба.			Шкивы:		Діаметръ выходного отверстія.	Вѣсъ.
	Число огней съ соплами въ 30 mm	$n$max	N лош. силъ.	Чугуна тоннъ въ часъ.	$n$max	N лош. силъ.	Діам.	Ширина.		
	въ 30 mm						mm	mm	mm	kg
300	1 до 3	3500	0,25				70	50	90	60
350	3 „ 6	3350	0,75	0,50 до 0,75	4750	1,8	80	60	105	75
400	6 „ 10	3050	1,35	0,75 „ 1,25	4000	2,9	100	70	120	115
475	10 „ 15	2350	2,20	1,25 „ 2,00	3250	4,5	120	80	150	170
600	15 20	1800	3,20	2,00 3,00	2500	6,5	150	90	200	320
675	20 25	1600	3,50	3,00 3,25	2250	7,0	150	100	225	400
750	25 35	1450	4,25	3,25 4,00	2000	8,5	200	100	250	500
850	35 45	1300	5,25	4,00 5,00	1775	10,0	225	125	290	625
950	45 55	1100	6,50	5,00 6,75	1550	12,0	250	150	320	800
1075	55 „ 80	975	7,75	6,75 „ 8,00	1375	13,5	275	160	370	1100
1200	80 „ 100	850	9,00	8,00 „ 10,00	1200	15,5	300	180	400	1600
1350	100 „ 120	775	10,50	10,00 „ 12,25	1015	17,5	325	200	460	1850
1500	120 „ 150	675	12,00	12,25 „ 17,50	950	20,0	350	200	500	2200

Эти вентиляторы примѣняются для кузницъ, вагранокъ, пламенныхъ, сварочныхъ пудлинговыхъ и др. печей, для расплавленія металловъ въ тиглякъ, для искусствен-

НТБ ДНУЗТ

ной тяги паровыхъ котловъ при сжиганіи отбросовъ топлива, для пропусканія воздуха черезъ сыпучіе матеріалы, для вентиляціи элеваторныхъ закромовъ, песочно-струйныхъ приборовъ и т. д.

Они допускаютъ давленіе до 750 mm водяного столба; данная въ таблицѣ работа относится только до самого вентилятора, не считая передачи, трансмиссій, трубопровода и т. д.

Кромѣ того, фирма доставляетъ обыкновенные лопастные вентиляторы (для h до 450 mm вод. столба) и такъ наз. патентованные вентиляторы высокаго давленія (для $h = 600$ до 1000 mm вод. столба).

Для вагранокъ къ бессемеровымъ ретортамъ примѣняются вентиляторы съ крыльями діаметромъ D_2 до 3 m и болѣе, при давленіи 500 до 1000 mm водяного столба. Всасывающіе вентиляторы для вентиляціи шахтъ, со всасываніемъ съ одной или съ двухъ сторонъ и надземнымъ соединеніемъ съ шахтой, имѣютъ крылья діаметромъ $D_2 = 1{,}8$ до 4,5 m и даютъ количество воздуха $Q = 20$ до 100 cbm въ секунду; давленіе (депрессія) во всасывающемъ каналѣ до 100 mm водяного столба и болѣе. Необходимое количество воздуха въ шахтахъ, при отсутствіи взрывчатыхъ газовъ, для 1 человѣка 2 cbm въ минуту, для 1 лошади 10 cbm въ минуту, въ шахтахъ съ взрывчатыми газами для 1 человѣка 3 cbm въ минуту, для 1 лошади 10 cbm въ минуту; къ этому количеству въ обоихъ случаяхъ прибавляютъ еще 25%.

Шахтные вентиляторы
завода Гейслера, въ Дюссельдорфѣ.

Діаметръ лопастей D_2 въ mm. .	1800	2000	2500	3000	3500	4000	4500	4750
Наибольшее количество воздуха $60\,Q$ въ cbm въ минуту . . .	1100	1350	2120	3175	4150	5425	6875	7650
Давленіе воздуха h въ mm водяного столба	100	130	170	200	230	250	275	285
Число оборотовъ въ минуту n . .	388	392	352	314	284	254	233	225
Сѣченіе шахты $A = 0{,}38\,Q : \sqrt{h}$ въ qm	0,679	0,750	1,030	1,420	1,733	2,278	2,625	2,795

Вентиляторы
завода Динненталь (Руръ).

Модель электродвигателя (105 Volt).	Вентиляторъ. Діам. крыльевъ. mm	Вентиляторъ. Ширина крыльевъ. mm	Число оборотовъ въ минуту. $n$max	Количество воздуха. $60\,Q$. cbm въмин.	Давленіе $h$max. mm вод. столба.	Потреб. работа. Лош. силы.	Общій вѣсъ. kg
S 2	300	150	1100	12—18	20	0,125	100
S 3	300	100	1950	15—20	50	0,25	110
S 5	350	120	1800	20—30	60	0,5	145
S 10	430	150	1650	30—45	75	1	210
S 15	500	170	1480	45—60	90	1,5	350
S 20	600	200	1280	65—80	100	2,5	520
S 30	750	230	1100	90—120	110	4	800
S 50	900	250	980	120—160	125	6	1150
NG 75	1050	270	880	160—200	140	9,5	1500
NG 100	1200	300	770	200—250	150	12	2000

НТБ ДНУЗТ

Вентиляторъ и электродвигатель на общей основной плитѣ и связаны непосредственно помощью упругаго соединенія. Электродвигатели изготовляются Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft въ Берлинѣ.

b. Винтовые вентиляторы.

При одинаковой продуктивности эти вентиляторы значительно меньше, а слѣд. и дешевле лопастныхъ, почему рекомендуются въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется перемѣщеніе большого количества воздуха при незначительномъ давленіи, слѣд. для вентиляціи помѣщеній (см. часть II), для удаленія дыма и пыли, для охлажденія и осушки помѣщеній и т. д. Они устанавливаются обыкновенно въ стѣнѣ того помѣщенія, которое предполагается вентилировать; это дѣлается съ цѣлью уменьшенія сопротивленій при движеніи по трубопроводу, каковыя сопротивленія потребовали бы увеличенія давленія. Незначительное полезное дѣйствіе этихъ вентиляторовъ можетъ быть нѣсколько увеличено устройствомъ направляющихъ лопастей; послѣднія, однако, въ виду болѣе высокой ихъ цѣны, примѣняются мало.

Крылья либо прямыя, либо изогнутыя по образцу гребныхъ винтовъ у пароходовъ. Системы: Ламотта—съ цѣльной винтовой поверхностью; Блекмена—колесо располагается свободно въ пространствѣ, изъ котораго вытягивается воздухъ; воздухъ забирается лопатками въ видѣ ковшей на передней части и на окружности вентилятора.

Обозначенія см. стр. 720.

Наружній діаметръ лопастнаго колеса опредѣляется изъ:

$$D_2 = 1{,}3 \sqrt{\frac{Q}{c_1}},$$

гдѣ Q количество воздуха въ cbm въ сек., c_1 скорость при входѣ воздуха = 8 до 10 m въ сек. Скорость на окружности получается изъ:

$$u = f\sqrt{h\,g\,v}$$ (табл. для v см. стр. 282),

или, для обыкновенныхъ условій, при $v = 0{,}8$ cbm/kg:

$$u = 2{,}8\ f\sqrt{h};$$

для винтового вентилятора Ламотта . $f = 1{,}9$ до $4{,}5$,
„ винтовыхъ колесъ съ прямыми лопастями $f = 2{,}8$ до $3{,}5$,
„ „ „ съ кривыми „ $f = 2{,}2$ до $2{,}9$.

Необходимая **работа** равна:

$$N = \frac{Q\,h}{75\,\eta}$$ лошад. силъ, при $\eta = 0{,}2$ до $0{,}3$.

НТБ ДНУЗТ

Винтовые вентиляторы

Г. Шиле и К⁰, въ Бокенгеймѣ (Франкфуртъ на Майнѣ).

Давленіе $h = 2$ до 6 mm вод. столба.

Діаметръ крыльевъ.	Количество воздуха.	Число оборотовъ въ минуту.	Требуем. работа.	Шкивы.		Вѣсъ.	Діаметръ крыльевъ.	Количество воздуха.	Число оборотовъ въ минуту.	Требуем. работа.	Шкивы.		Вѣсъ.
D_2	60 Q		лош.	Діаметръ.	Ширина.		D_2	60 Q		лош.	Діаметръ.	Ширина.	
mm	cbm въ мин.	n_{max}	силъ.	mm	mm	kg	mm	cbm въ мин.	n_{max}	силъ.	mm	mm	kg
200	15	2500	0,05	40	50	12	1200	650	500	3,0	300	125	425
250	25	2300	0,11	60	50	20	1500	1000	400	4,0	400	150	720
300	40	2000	0,20	80	60	27	1750	1400	350	5,5	500	150	1000
400	65	1500	0,30	100	60	40	2000	1800	300	7,0	550	150	1125
500	105	1200	0,50	125	60	75	2350	2325	260	9,5	650	150	1350
650	190	900	0,90	150	80	135	2500	2850	230	11,5	700	160	1800
800	280	800	1,50	200	100	200	2750	3400	215	13,5	800	180	2000
1000	450	600	2,20	250	125	300	3000	4150	200	16,5	850	200	2500

Эти вентиляторы имѣютъ прочный кольцевой кожухъ съ фланцами и прилитыми ножками; они устанавливаются или на полу или на кронштейнѣ, или же могутъ быть задѣланы въ стѣну. Вращеніе ихъ происходитъ направо, если смотрѣть со стороны ременнаго шкива, причемъ воздухъ вступаетъ съ противоположной стороны.

C. Цилиндрическія воздуходувныя машины и компрессоры.

a. Опредѣленіе размѣровъ.

Пусть обозначаютъ:

F площадь поршня цилиндра воздуходувной машины, за вычетомъ сѣченія поршневого стержня, въ qm,

s ходъ поршня въ m,

D діаметръ поршня въ m,

d діаметръ поршневого стержня въ m,

G количество воздуха, доставляемое въ сек., въ kg (см. стр. 279 и слѣд.) *),

Q то же количество воздуха въ cbm, отнесенное къ 0⁰ и 760 mm давленія по барометру,

i (= 1 или 2) число, указывающее, будетъ ли воздуходувная машина простого или двойного дѣйствія,

β коэффиціентъ, значеніе котораго приведено на стр. 282,

v удѣльный объемъ воздуха $= 1 : \gamma$ (см. табл. II, стр. 282),

λ полезное дѣйствіе (объемное), т.-е. отношеніе количества воздуха, доставляемаго воздуходувной машиной, къ объему, описанному поршнемъ,

n число оборотовъ въ минуту.

---

*) Опредѣленіе количества воздуха, необходимаго для доменныхъ печей и сталелитейныхъ, см. II часть, тринадцатый отдѣлъ.

НТБ ДНУЗТ

Для одноцилиндровыхъ воздуходувныхъ машинъ имѣемъ:

$$sF = \frac{60}{i}\frac{Gv}{\lambda n} = \frac{60}{i}\frac{Q}{\beta\lambda n} \quad *),$$

гдѣ $F = {}^1/_4\,\pi\,(D^2 - d^2)$ для сквозного поршневого стержня,
$F = {}^1/_4\,\pi\,(D^2 - {}^1/_2\,d^2)$ для несквозного поршневого стержня.

Для воздуходувныхъ машинъ о двухъ и трехъ цилиндрахъ, вмѣсто Q слѣдуетъ принимать ${}^1/_2\,Q$ и ${}^1/_3\,Q$.

Средняя скорость поршня $c = \frac{2ns}{60}$ принимается обыкновенно 1 до 1,5 m въ сек. и въ исключительныхъ случаяхъ, при соотвѣтственной конструкціи, до 2 m въ сек.

Для воздуходувныхъ машинъ доменныхъ печей имѣемъ:
при балансирныхъ машинахъ $s =$ до 3 m, причемъ $n = 10$ до 15;
„ вертикальныхъ машинахъ $s = 1$ до 1,5 m, причемъ $n = 20$ до 30;
„ горизонтальн. машинахъ $s < 2$ m, причемъ $n = 30$ до 40.

Воздуходувки для сталелитейныхъ печей имѣютъ нѣсколько большую скорость поршня, до 2 m въ сек. и выше, причемъ $n = 30$ до 50.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія λ зависитъ отъ степени неплотности поршня и клапановъ, отъ потери давленія при проходѣ воздуха черезъ всасывающіе клапаны и, главнымъ образомъ, отъ расширенія воздуха во вредномъ пространствѣ. При высокихъ давленіяхъ на это послѣднее обстоятельство обращается особое вниманіе. Имѣемъ (черт. 603):

$$\lambda = \psi\,\chi,$$

гдѣ ψ отношеніе $s_1 : s$, при сжатіи (въ 2-хъ цилиндрахъ) $s_1' : s$ (черт. 604, стр. 732), т.-е. отношеніе пути, проходимаго поршнемъ при открытыхъ всасывающихъ клапанахъ, ко всему ходу поршня; въ χ входятъ остальныя потери. Для сталелитейныхъ воздуходувокъ и компрессоровъ можно принимать $\chi = 0{,}9$; для доменныхъ печей $\lambda = \psi\,\chi = 0{,}9$ до $0{,}95$.

Менѣе выгодныя значенія для λ принимаются, независимо отъ рода компрессоровъ, для потерь въ трубопроводахъ, смотря по степени ихъ плотности, равно и въ зависимости отъ состоянія нагрѣвательныхъ приборовъ.

b. Опредѣленіе необходимой работы.

Изъ числа приведенныхъ на стр. 719 отдѣльныхъ работъ необходимо вести разсчетъ главнымъ образомъ на работу сжатія и работу для передвиженія воздуха. Работу для сообщенія скорости, равно какъ и сопротивленіе при проходѣ черезъ клапаны, причисляютъ къ вреднымъ сопротивленіямъ.

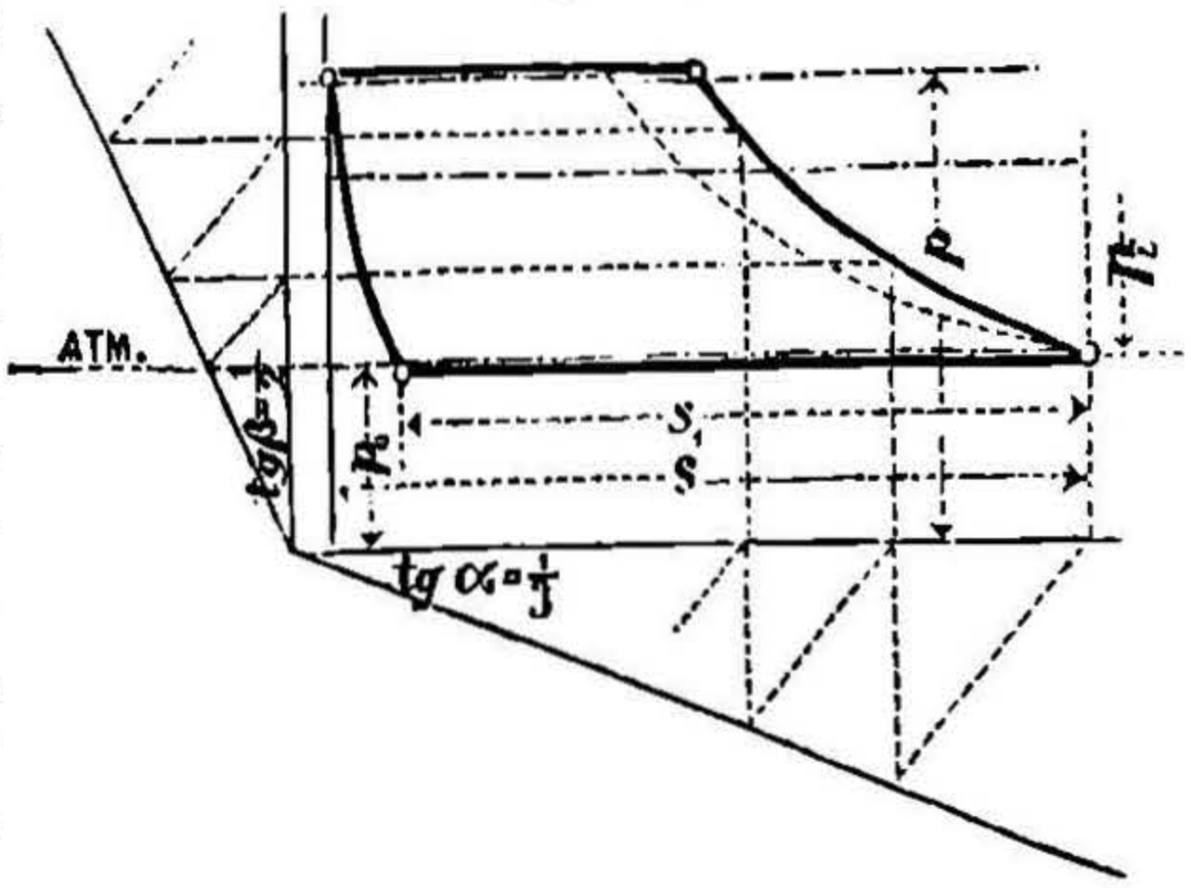
---

*) Для компрессоровъ съ сжатіемъ въ двухъ цилиндрахъ эта формула даетъ размѣръ большого цилиндра.

НТБ ДНУЗТ

Если нѣтъ сильнаго охлажденія, то сжатіе происходитъ по адіабатической кривой (см. стр. 291). Для лучшаго сохраненія стѣнокъ цилиндровъ и поршней въ воздуходувкахъ часто устраиваютъ охлажденіе стѣнокъ цилиндровъ. Для компрессоровъ высокаго давленія съ удобствомъ примѣняется для охлажденія распыленная вода съ воздухомъ.

Черт. 603.



Для опредѣленія необходимой работы чертятъ **діаграмму давленій** (черт. 603), для которой принимаютъ, что давленіе p_1 всасываемаго воздуха на 2 до 3% ниже давленія p_0 атмосферы (см. стр. 719), а давленіе p_2 сжатаго воздуха на 3 до 5% выше давленія p въ нагнетательной трубѣ.

Абсолютное давленіе въ нагнетательной трубѣ подразумѣвается здѣсь непосредственно у воздуходувки. На концѣ воздухопровода давленіе воздуха меньше, соотвѣтственно сопротивленіямъ (см. стр. 300), почему давленіе у самой воздуходувки слѣдуетъ принимать для разсчетовъ выше давленія, требуемаго на концѣ трубопровода.

Построеніе кривой сжатія производится по приведенному на стр. 289. При этомъ для $tg\,\alpha = 1/3$, $tg\,\beta = 1/2$ кривая слѣдуетъ уравненію $pv^{1,41} =$ пост. (адіабатич. кривая), которое и слѣдуетъ примѣнять для воздуходувокъ безъ сильнаго охлажденія. При сжатіи съ охлажденіемъ кривая слѣдуетъ уравненію $pv^{1,3}$ до $pv^{1,2} =$ постоян. Если для построенія кривой сжатія выбираютъ $tg\,\alpha = 0{,}2$, то $tg\,\beta = 0{,}267$ до $0{,}245$, соотвѣтственно приведенному выше закону сжатія. Если предварительно вычислить по нижеприведеннымъ формуламъ s' и s_1, то можно опредѣлить кривую сжатія по конечнымъ точкамъ, вводя промежуточныя точки, ординаты и абсциссы которыхъ находятся какъ геометрическія среднія ординатъ и соотв. абсциссъ тѣхъ двухъ точекъ, между которыми вставляется новая точка *).

Для расширенія во вредномъ пространствѣ достаточно пользоваться закономъ Маріотта (стр. 277).

Площадь построенной такимъ образомъ діаграммы даетъ **среднее индикаторное давленіе** p_i въ воздуходувномъ цилиндрѣ.

Аналитически находимъ:

---

*) См. M. Tolle, Neue Konstruktionen der polytropischen Kurve, Zeitschr. d. V. d. Ing., 1894, стр. 1456.

НТБ ДНУЗТ

$$p_i = \frac{n - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{n-1}{n}}}{n-1} \quad s \quad p_2 - \frac{s_1}{s} p_1, \text{ гдѣ}$$

n показатель для кривой сжатія $pv^n =$ постоян. (см. 731),

$$\frac{s'}{s} = (1+m)\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}} - m, \qquad \frac{s_1}{s} = 1 + m - m\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}},$$

m отношеніе вреднаго пространства къ объему Fs.

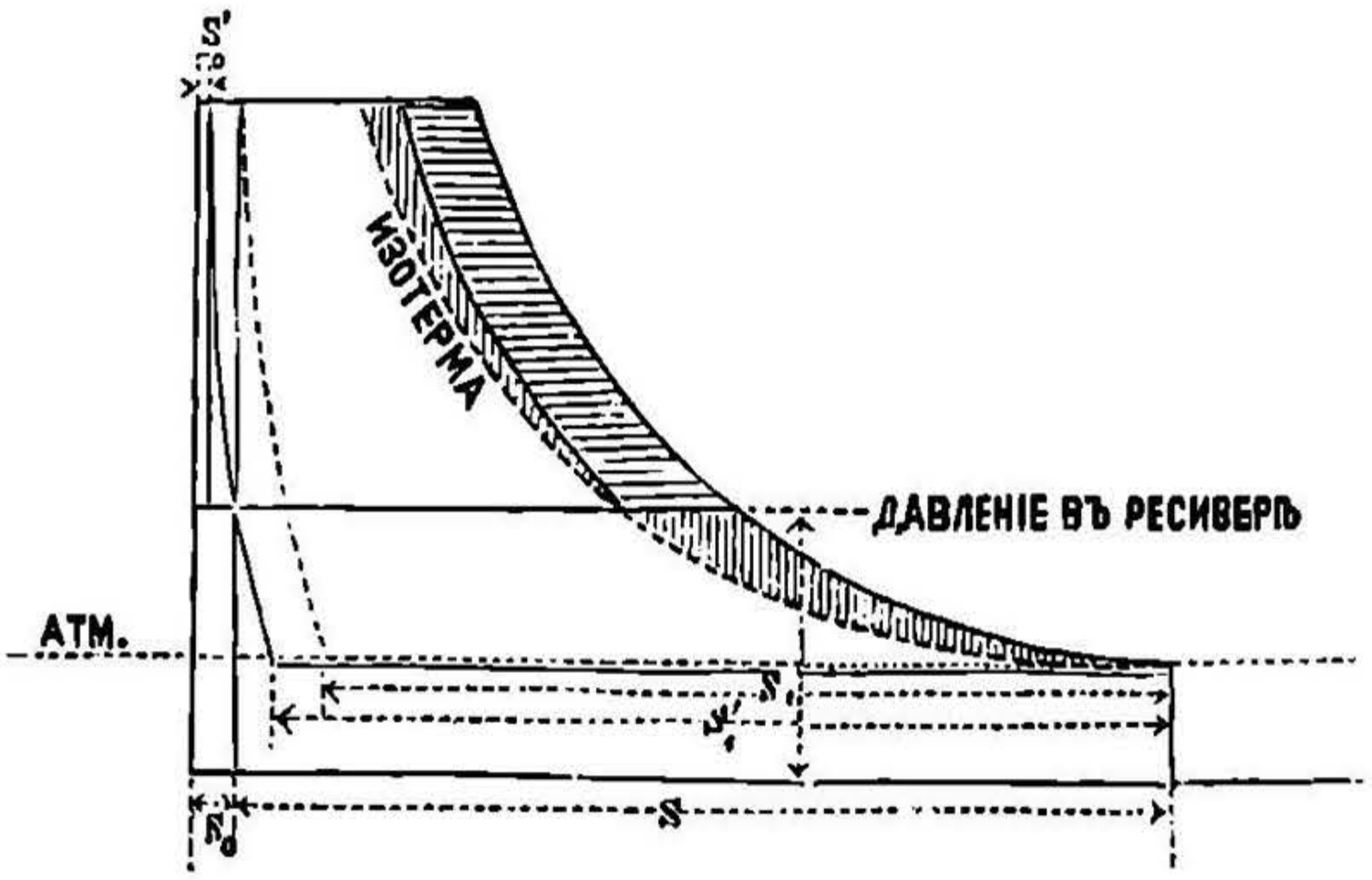
Если поршни воздуходувнаго и парового цилиндровъ имѣютъ одинаковый ходъ и

p_i' среднее индикаторное давленіе въ паровомъ цилиндрѣ въ kg/qcm,
F полезная площадь поршня воздуходувнаго цилиндра въ qcm,
F' полезная площадь поршня парового цилиндра въ qcm,
η коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, то имѣемъ:

$$p_i' F' = \frac{1}{\eta} p_i F.$$

Для большихъ горизонтальныхъ воздуходувокъ доменныхъ печей $\eta = 0{,}85$ *), для сталелитейныхъ и компрессоровъ $\eta = 0{,}75$ до 0,83. При сжатіи въ двухъ цилиндрахъ (компаундъ), употребляемыхъ для большихъ компрессоровъ высокаго давленія, съ цѣлью сбереженія работы и для болѣе равномѣрнаго распредѣленія силъ, можно принимать, что въ промежуточномъ резервуарѣ (ресиверѣ) воздухъ при соотвѣтственномъ охлажденіи можетъ

Черт. 604.



быть приведенъ къ начальной температурѣ **), и въ зависимости отъ этого построить діаграмму (черт. 604). Горизонтально заштрихованная площадь представляетъ выигрышъ въ работѣ, происходящій отъ примѣненія сжатія въ двухъ цилиндрахъ.

---

*) См. Trappen, Dinglers Polyt. Journ. 1885, томъ 256, стр. 119.
**) См. А. Ридлеръ, Verhandl. d. V. f. Gewerbefl. 1890, стр. 294.

НТБ ДНУЗТ

Приблизительно имѣемъ: $N_i = \varepsilon\alpha \frac{Q}{\beta} \frac{10000\,(p-1)}{75}$,

гдѣ, кромѣ обозначеній Q и β, приведенныхъ на стр. 729:

N_i индикаторная работа паровой машины въ лош. сил.,

p абсолютное давленіе въ нагнетат. резервуарѣ въ kg/qcm,

ε коэффиціентъ, зависящій отъ полезнаго дѣйствія; для доменныхъ воздуходувокъ $\varepsilon = 1{,}3$ до $1{,}4$, для сталелитейныхъ и компрессоровъ $\varepsilon = 1{,}35$ до $1{,}5$,

α коэффиціентъ, зависящій отъ давленія и охлажденія, и при неохлажденіи можетъ быть принятъ для:

$p =$	1,05	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7 kg/qcm,
$\alpha =$	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86	0,77	0,70	0,65	0,57	0,52	0,47	0,44;

для компрессоровъ съ охлажденіемъ и сжатіемъ въ одномъ цилиндрѣ по закону $pv^{1,25} =$ постоян.:

$p =$	3	4	5	6	7	8	9 kg/qcm,
$\alpha =$	0,61	0,53	0,48	0,43	0,40	0,37	0,34.

Примѣръ. Требуется опредѣлить (приблизительно) **работу компресоора** съ сжатіемъ въ одномъ цилиндрѣ. Компрессоръ даетъ 400 cbm воздуха въ часъ (при 0^0 и 760 mm ртутнаго столба). Давленіе воздуха на концѣ трубопровода, длиной 1000 m и діам. 50 mm, должно составлять 6 атм. абсолютныхъ (kg/qcm), т.-е. 5 атм. свыше наружней. Потеря давленія составляетъ (по стр. 300), принимая температуру въ 20^0 и около 6,4 атм. средняго давленія въ трубопроводѣ—около 0,76 атм., причемъ въ уравненіе должно быть подставлено:

$$Q = \frac{400}{3600} \cdot \frac{10333}{10000} \cdot \frac{1}{6{,}4} \cdot \frac{273+20}{273}$$

и (по стр. 279):

$$\gamma = \frac{64000}{29{,}4\,(273+20)}.$$

Давленіе, которое долженъ развивать компрессоръ $= 6{,}76$ атм. абсолютныхъ. Если въ вышеприведенную формулу подставить, соотвѣтственно давленію атмосферы въ 750 mm ртутнаго столба и температурѣ 25^0, величину $\beta = 0{,}9$, то при хорошемъ охлажденіи:

$$N_i = 1{,}4 \,.\, 0{,}41 \,\frac{400 \,.\, 10000\,(6{,}76-1)}{0{,}9 \,.\, 3600 \,.\, 75} = 54{,}5 \text{ лош. силъ};$$

безъ охлажденія имѣемъ (при $\alpha = 0{,}45$) приблизительно $N_i = 60$ лош. силъ.

c. Соотношенія силъ.

(Маховыя колеса, выбалансировка).

Силы, дѣйствующія на движущій механизмъ компрессоровъ и воздуходувокъ, въ теченіе одного оборота машины мѣняются значительно, особенно при высокихъ степеняхъ сжатія и сильномъ расширеніи пара; силы эти въ крайнихъ положеніяхъ поршня достигаютъ весьма значительной величины, такъ какъ наибольшее давленіе пара совпадаетъ съ дѣйствующимъ въ ту же сторону расширеніемъ воздуха во вредномъ пространствѣ воздушнаго цилиндра. Построеніе соединенной діаграммы приведено на

НТБ ДНУЗТ

черт. 477, см. стр. 591. Разсчетъ махового колеса см. примѣръ на стр. 591. Въ этихъ случаяхъ довольствуются степенью неравномѣрности $\delta_s = 1:12$ до $1:20$.

Различные способы, употребляемые для избѣжанія суммированія давленій въ крайнихъ положеніяхъ поршня (насадка кривошиповъ парового и воздушнаго цилиндровъ подъ угломъ, выпускъ воздуха изъ вреднаго пространства во всасывающее), на практикѣ не оправдались. Разсчетъ частей движущаго механизма на прочность производится по суммированному давленію, тогда какъ для разсчета на износъ частей (въ соединеніяхъ) принимается среднее давленіе.

Если въ вертикальныхъ машинахъ не удается уравновѣсить дѣйствіе вѣса при помощи противовѣса на маховомъ колесѣ, то уравновѣшеніе достигается устройствомъ неодинаковаго парораспредѣленія съ обѣихъ сторонъ поршня, если система парораспредѣленія допускаетъ это безъ вреда для частей парораспредѣлительнаго механизма; или же площадь поршня съ верхней стороны уменьшается устройствомъ сквозного поршневого стержня соотвѣтственнаго діаметра.

d. Клапаны и поршни.

Клапаны (см. также стр. 584 и слѣд.). Скорость прохода воздуха черезъ клапаны принимается: *)

$u_{max} = 15$ до 25 m въ сек. во всасывающихъ клапанахъ,
$u_{max} = 25$ до 35 m въ сек. въ нагнетательныхъ клапанахъ,

гдѣ $u_{max} = {}^1/_2\,\pi$ разъ взятой средней скорости воздуха.

Потеря давленія, происходящая отъ сообщенія воздуху скорости, составляетъ менѣе 1% давленія во всасывающей и соотвѣт. нагнетательной трубѣ. При соотвѣтственномъ устройствѣ деталей и короткихъ воздухопроводахъ допускается большая скорость.

Общее проходное сѣченіе всасывающихъ клапановъ составляетъ ${}^1/_4$ до ${}^1/_8\,F$, нагнетательныхъ клапановъ ${}^1/_8$ до ${}^1/_{12}\,F$, въ воздуходувкахъ для сталелитейныхъ нѣсколько меньше.

Для уменьшенія (избытка) давленія (отъ силы инерціи), необходимаго для открыванія клапановъ, которое при нераціональной ихъ конструкціи вызываетъ въ движущемъ механизмѣ усиленные удары, слѣдуетъ, съ одной стороны, по возможности уменьшать массу клапановъ и, кромѣ того, проектировать ихъ такой формы, при которой площадь, подверженная давленію воздуха, достаточна для ихъ открыванія (неуравновѣшенные клапаны). Вслѣдствіе значительной скорости поршня, имѣющей мѣсто во время открыванія нагнетательныхъ клапановъ, на конструкцію послѣднихъ должно быть обращено особое вниманіе.

---

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1884, стр. 5. — Кромѣ того, фонъ-Гауеръ, Горнозаводскія машины. Доп. томъ, 1887.

НТБ ДНУЗТ

Закрываніе клапановъ должно, во избѣжаніе ихъ ударовъ, особенно при металлическомъ прикосновеніи, происходить въ моментъ перемѣны хода поршня. Для достиженія этого ходъ клапана долженъ быть по возможности малъ (для воздуходувокъ сталелитейныхъ съ металлическимъ соприкосновеніемъ 5 до 12 mm); необходимое сѣченіе для прохода воздуха достигается при этомъ достаточною окружностью клапана и достаточнымъ числомъ клапачовъ.

Нагрузка клапановъ должна быть по возможности выбрана съ такимъ разсчетомъ, чтобы по мѣрѣ уменьшенія скорости поршня, приближающагося къ мертвой точкѣ, клапанъ начиналъ садиться. Принимая во вниманіе сжатіе воздуха при прохожденіи его чрезъ клапаны, находимъ, что разность давленій $(p - p_1)$, необходимая для достиженія наибольшей скорости (см. **3.**, стр. 296):

$$(p - p_1) = \frac{u_{max}^2}{2\,g} \frac{p}{29{,}4\,(273 + t)\,\varphi^2},$$

гдѣ p для нагнетательныхъ клапановъ представляетъ приблизительно давленіе (абсолютное) сжатаго воздуха въ атм., t температура воздуха въ град., φ коэффиціентъ скорости $g = 9{,}81$ m/sec.^{2} и

$$u_{max} = \psi \frac{1}{\alpha} \frac{\pi}{2} c,$$

если α коэффиціентъ сжатія, ψ отношеніе площади поршня къ площади прохода всѣхъ клапановъ, c средняя скорость поршня въ m/sec. Значенія φ и α см. стр. 294 и слѣд. Для всасывающихъ клапановъ p представляетъ давленіе атмосферы, т.-е. приблизительно $p = 1$ kg/qcm.

Давленіе воздуха на клапанъ, при площади его f (въ qcm), равно $P = (p - p_1) f$; соотвѣтственно этому должна быть выбрана сила, закрывающая клапанъ. Въ виду необходимости уменьшать массу клапановъ, нагрузка послѣднихъ должна быть увеличиваема до требуемой величины посредствомъ давленія отъ пружинъ (разсчетъ по **2.**, стр. 417).

Вышеприведенныя замѣчанія относятся, главнымъ образомъ, до скороходныхъ воздуходувокъ высокаго давленія, а также и до компрессоровъ, ибо, въ виду сильнаго въ нихъ давленія и связаннаго съ нимъ возвышенія температуры, упругое соприкосновеніе въ клапанахъ (кожа, войлокъ, резина) не можетъ быть примѣнено, а при металлическомъ соприкосновеніи легко возможны чувствительные удары.

Для воздуходувокъ доменныхъ печей всего удобнѣе примѣняются обыкновенные кожаные створчатые клапаны безъ арматуры, равно и обшитые кожей войлочные клапаны.

Воздуходувки для сталелитейныхъ, при избыткѣ давленія до 1 атм., могутъ имѣть металлическіе клапаны, сѣдалища которыхъ обиты резиной или войлокомъ. Большею частью для употребитель-

НТБ ДНУЗТ

ныхъ въ настоящее время давленій примѣняется, однако, металлическое соприкосновеніе *).

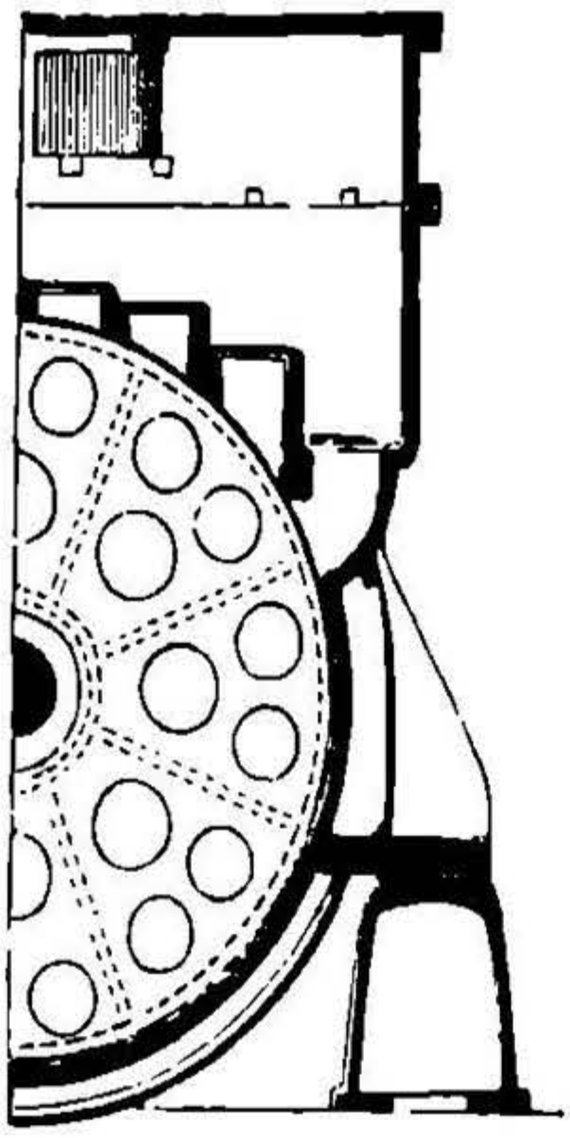
Клапаны Ридлера, съ механическимъ запираніемъ снаружи, не производятъ ударовъ, почему воздуходувки съ такими клапанами дѣлаютъ большее число оборотовъ и получаются меньшихъ размѣровъ.

Поршни (см. также стр. 531 и слѣд.). Поршни воздуходувокъ доменныхъ печей часто имѣютъ упругую набивку (кожа, дерево, пенька и, чаще, полотно) и смазываются тогда графитомъ. Для новыхъ воздуходувокъ предпочтеніе отдается, однако, металлической набивкѣ упругими поршневыми кольцами со смазкой масломъ Воздуходувки сталелитейныхъ и компрессоры имѣютъ исключительно металлическую набивку.

е. Устройство воздуходувокъ.

Горизонтальныя воздуходувки (черт. 605), вообще говоря, дешевле и удобнѣе для ухода за ними, чѣмъ вертикальныя; но имѣютъ то неудобство передъ вертикальными, что сопротивленіе при ходѣ порожнемъ въ нихъ больше, и что цилиндръ разрабатывается болѣе неравномѣрно (см. стр. 536). Послѣднее неудобство не дмѣетъ мѣста въ вертикальныхъ воздуходувкахъ, но онѣ менѣе иоступны и дороже. Балансирныя воздуходувки соединяютъ въ себѣ отчасти выгоды обѣихъ системъ, но онѣ еще дороже вертикальныхъ.

Черт. 605.



Въ вертикальныхъ воздуходувкахъ располагается вверху паровой или воздушный цилиндръ; нижній цилиндръ тогда устраивается такъ, чтобы поршень можно было вынимать книзу. Для уменьшенія высоты вертикальныхъ воздуходувокъ часто употребляютъ поперечный балансиръ между паровымъ и воздушнымъ цилиндромъ, вилкообразный шатунъ и кривошипный валъ помѣщаютъ между паровымъ и воздушнымъ цилиндромъ и т. п. Конструкціи эти, однако, несовершенны; самою совершенною слѣдуетъ признать ту, при которой оба поршня насажены на одномъ общемъ стержнѣ, нижняя часть котораго соединяется съ шатуномъ, не смотря на получающуюся при этомъ большую высоту машины.

Для **движущей паровой машины** соблюдаются общія условія построенія паровыхъ машинъ. Въ виду того, что отработавшіе газы

*) См. G. Perl, Gebläseventile und ihre Bewegungsverhältnisse, Zeitschr. d. V. d. ng. 1895, стр. 464 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

доменныхъ печей употребляются въ настоящее время для горячаго дутья, отъ воздуходувныхъ машинъ требуется небольшой расходъ пара.

Компрессоры безъ махового колеса расходуютъ очень много пара; рекомендуются, однако, вслѣдствіе удобнаго за ними ухода, въ случаяхъ, гдѣ требуется небольшое количество воздуха, напр., для желѣзнодорожныхъ **тормазовъ со сжатымъ воздухомъ** (Вестингауза, Карпентера, см. ч. II).

D. Цилиндрическіе вентиляторы.

Въ этихъ вентиляторахъ вращаются съ постоянной угловой скоростью въ противоположныхъ направленіяхъ, въ одномъ кожухѣ два фасонныхъ крыла (колеса) обыкновенно одинаковой формы, возможно точно между собою слаженныя; они отжимаютъ всасываемый воздухъ по направленію, перпендикулярному къ плоскости оси. Для опредѣленія профили колесъ служатъ правила зубчатыхъ зацѣпленій (см. стр. 447 и сл.).

Вентиляторы Рута употребляются для вентиляціи шахтъ, для литейныхъ, кузнечныхъ горновъ и конструируются до 7,6 m діаметромъ; длина вращающихся фасонныхъ валовъ дѣлается до 4,0 m. Большею частью приводятся въ движеніе ремнемъ; небольшіе вентиляторы устраиваются также ручные или ножные. По изслѣдованіямъ E. Гартига, при давленіи h (въ mm вод. столба) коэффиціенты полезнаго дѣйствія и производительности (η и λ) имѣютъ слѣдующія значенія:

$h = 38$ mm водян. столба, $\lambda = 0{,}79$, $\eta = 0{,}405$,
$h = 820$ „ „ „ $\lambda = 0{,}12$, $\eta = 0{,}143$.

А. Ледебуръ рекомендуетъ вентиляторы Рута для давленія до 400 mm водяного столба, тогда въ среднемъ $\lambda = 0{,}75$ и $\eta = 0{,}45$.

Дѣйствительно доставляемое количество воздуха въ cbm въ сек.:

$$Q = \lambda \frac{n}{60} \pi R^2 B,$$

гдѣ R наибольшій радіусъ, а B длина крыла на валу въ m и n число оборотовъ въ минуту.

Приведенные въ нижеслѣдующей таблицѣ вентиляторы Рута имѣютъ желѣзныя крылья съ небольшими между ними промежутками. Кожухъ вентилятора не обмазанъ. Вентиляторы № 1 до 5 съ одиночной зубчатой и ременной передачей безъ внѣшняго подшипника (фрезованныя зубчатыя колеса изъ ковкаго чугуна); № 6 до 10 съ двойной зубчатой и ременной передачей и, снаружи ременныхъ шкивовъ, еще одинъ подшипникъ (чугунныя колеса со строганными зубцами); № 6 съ короткой и № 7 до 10 со сплошной фундаментной плитой. Отверстіе для выпуска обыкновенно направлено вверхъ. Для литейныхъ и кузницъ необходимъ предохранительный клапанъ. Приведенная величина потребляемой работы относится только къ самому вентилятору (при соотвѣтственномъ давленіи), безъ передачи. Приведенные вѣса для № 1 до №6 безъ фундаментной плиты, для № 7 до 10 вмѣстѣ съ фундаментной плитой.

При плотномъ соприкосновеніи поверхности крыльевъ съ по-

НТБ ДНУЗТ

верхностью кожуха можно достичь болѣе высокихъ давленій. **Вентиляторы Энке** допускаютъ безъ чувствительныхъ потерь давленія 750 mm водяного столба при обыкновенной набивкѣ и 3000 mm — при тройной набивкѣ.

Вентиляторы Фабри имѣютъ обыкновенно 2 фасонныхъ вала (число выступовъ = 3); строятся діаметромъ до 4 m, длиною крыльевъ до 3 m; они употребляются для вентиляціи шахтъ, такъ какъ не допускаютъ высокихъ давленій. Строятся для $h > 20$ mm, обыкновенно $h = 40$ до 60 mm вод. столба; η до 0,5.

Вентиляторы Рута

завода Шиле и К⁰, въ Бокенгеймѣ (Франкфуртъ на Майнѣ).

№ вентилятора.	Число оборотовъ въ минуту.	Для литейныхъ.			Для кузницъ.				Діаметръ выходного отверстія.	Шкивы.			Вѣсъ.
		Плавить чугуна въ часъ.	Потреб. работа при давленіи 300mm вод. столба.	Потреб. работа при давленіи 450mm вод. столба.	Число огней съ соплами діаметромъ въ 25 mm	30 mm	35 mm	Потреб. работа.		Число ихъ.	Діаметръ.	Ширина.	
		Тонны.	Лош. силъ.	Лош. силъ.				Лош. силъ.	mm		mm	mm	kg
1	400				1 въ 20 mm			0,1	40	1	75	60	40
1a	400				1			0,2	60	1	90	60	50
2	400				2	1		0,3	80	1	100	80	80
2a	400				3	2		0,5	100	1	125	90	100
3	400				6	4	3	0,8	125	1	200	100	200
4	390	0,6 до 0,8	2	3	9	6	4	1,0	150	1	250	120	300
5	380	1,1 „ 1,4	3	4,5	15	11	8	1,5	175	1	300	130	420
6	370	1,6 „ 2,0	4	6	23	17	12	2,0	200	2	275	100	850
7	325	2,4 „ 2,8	6	9	35	25	18	3,0	225	2	300	110	1350
8	320	3,0 „ 3,6	8	12	45	32	24	4,0	250	2	325	110	1700
9	300	4,0 „ 5,0	10	15	60	43	31	5,5	300	2	350	120	2200
10	280	5,2 „ 6,5	13	20	80	58	42	7,0	325	2	400	130	2600

E. Пароструйные вентиляторы.

Для топки котловъ и печей (вагранокъ) употребляются всасывающіе вентиляторы. Нагнетаніе воздуха подобными вентиляторами допускается лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда значительное содержаніе воды въ воздухѣ представляетъ выгоду (газовые генераторы) или, по меньшей мѣрѣ, не вредно. Уходъ за ними весьма простъ, стоимость не высока, расходъ пара весьма значителенъ.

Для искусственной тяги въ паровыхъ котлахъ вентиляторы Кертинга изготовляются десяти номеровъ. Діаметръ паровыхъ трубъ 10 до 50 mm соотвѣтствуетъ діаметрамъ воздушныхъ трубъ въ 100 до 700 mm.

Для топки Мартеновыхъ плавильныхъ печей употребляются вентиляторы, дающіе 20, 40, 60 cbm воздуха въ минуту.

НТБ ДНУЗТ

СЕДЬМОЙ ОТДѢЛЪ.

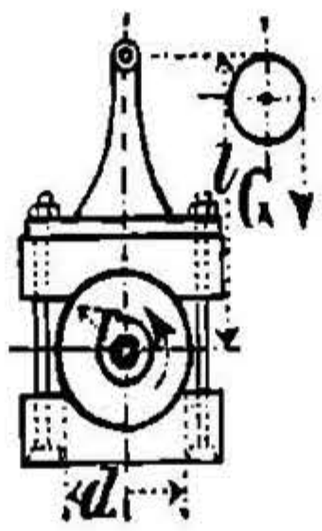
МАШИНЫ-ДВИГАТЕЛИ.

Общія данныя.

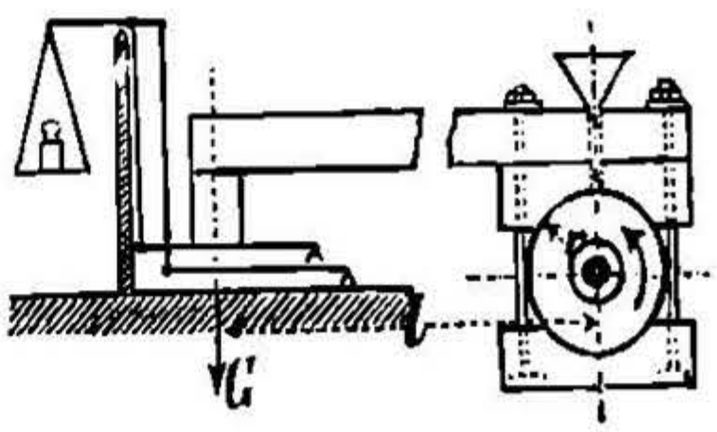
Тормазной динамометръ служитъ для опредѣленія полезной работы N_n въ лош. силахъ, передаваемой отъ вала (коренного вала машины-двигателя или приводнаго вала).

На окружности обода шкива, укрѣпленнаго на валу, устанавливаются двѣ колодки (изъ твердаго дерева или металла), стягиваемыя болтами. Съ одной изъ колодокъ связанъ рычагъ, на который дѣйствуетъ либо грузъ G черезъ блокъ (черт. 606), либо тотъ же грузъ на рычагѣ длиною 3 до 5 m передаетъ давленіе на платформу десятичныхъ вѣсовъ (**нажимъ Прони**). Направленіе вращенія вала дается заранѣе.

Черт. 606.



Черт. 607.



При помощи болтовъ колодки стягиваются до тѣхъ поръ, пока не получится нормальное число оборотовъ вала n въ минуту; одновременно измѣняютъ грузъ G или гири на чашкѣ вѣсовъ до тѣхъ поръ, пока не наступитъ изображенное на черт. 606 и 607 положеніе равновѣсія. Тогда моментъ силы тренія = моменту груза, и вся работа вала переходитъ въ работу тренія, а послѣдняя частью обращается въ теплоту, частью же производитъ изнашиваніе тормазного шкива и колодокъ. Собственный вѣсъ измѣрительныхъ приспособленій при вертикальныхъ валахъ (въ черт. 606 также и при горизонтальныхъ) не имѣетъ значенія. Для опредѣленія большой производительности вала пользуются (по предложенію Брауера) также тормазными лентами вмѣсто колодокъ.

Если G (въ kg) обозначаетъ грузъ въ черт. 606, соотв. давленіе на рычагъ, опредѣленное по нагрузкѣ на чашкѣ вѣсовъ въ черт. 607, за вычетомъ давленія ненагруженнаго рычага въ томъ же положеніи, l длину рычага, считая отъ центра вала, въ m, r радіусъ тормазного шкива въ m и n наблюдаемое нормальное число обо-

НТБ
ДНУЗТ

ротовъ въ минуту, то сила тренія (тормазящая сила) на окружности шкива $P = Gl : r$; слѣд., работа тренія въ mkg въ сек. (см. стр. 195 и : .0):

$$F = \frac{Gl}{r} \quad \frac{2\pi rn}{60} = \frac{\pi n Gl}{30};$$

отсюда полезная производительность вала въ лош. силахъ:

$$N_n = \frac{\pi n Gl}{30 \quad 75} = 0{,}001396\, n Gl.$$

Если d діаметръ тормазного шкива въ cm и b ширина колодокъ въ cm, то выбираютъ:

$$b\, d \geqq \frac{75\, N_n}{w_0},$$

гдѣ, по **К. Баху**, при охлажденіи водою $w_0 = 2{,}5$, при охлажденіи воздухомъ w_0 до 0,5. При большой скорости, слѣд., при небольшомъ давленіи на поверхности шкива, можно выбирать $w_0 =$ до 5 при охлажденіи водой. Для среднихъ отношеній величину b выбираютъ равной 1,5 діаметра вала.

I. ЖИВЫЕ ДВИГАТЕЛИ.

Производительность живого двигателя будетъ наибольшая при среднемъ усиліи двигателя, средней его скорости и средней продолжительности рабочаго времени. Обозначимъ черезъ:

A наибольшую производительность, въ mkg, живого двигателя въ теченіе дня,

P развиваемое при этомъ среднее усиліе въ kg,

v среднюю скорость, въ m въ сек., точки приложенія силы P по направленію дѣйствія этой силы,

t среднюю продолжительность рабочаго времени, соотвѣтствующую A, въ теченіе дня въ секундахъ. Тогда:

$$A = Pvt \text{ въ mkg.}$$

Если скорость, съ которой работаетъ живой двигатель, будетъ v_1 (вмѣсто v), и рабочее время въ теченіе дня t_1 (вмѣсто t), то, по Машеку, **среднее усиліе** P_1:

$$P_1 = \left(3 - \frac{v_1}{v} - \frac{t_1}{t}\right) P.$$

НТБ ДНУЗТ

Таблица производительности E, усилія P, скорости v и дневной работы A живыхъ двигателей.

(При среднемъ рабочемъ днѣ $t = 8$ час. $= 28\,800$ сек.).

Двигатель работаетъ непосредственно или съ помощью машинъ.		P kg	v m/сек.	$E = Pv$ mkg/сек.	$A = 28\,880\,Pv$ mkg
Рабочій	дѣйствуетъ непосредственно	15	0,8	12	345 600
	дѣйств. на рычагъ	5	1,1	5,5	158 400
	„ на рукоять *)	10	0,8	8	230 400
	„ „ руч. коперъ	14	0,45	6,3	181 440
	дѣйствуетъ на конный приводъ.	12	0,6	7,2	207 360
	канатъ ворота.	25	0,3	7,5	216 000
	цѣпь	30	0,4	12	непродолжительное время.
	вертикальное колесо съ радіальными ступенями	64	0,15	9,6	276 480
Лошадь	дѣйствуетъ непосредственно	60	1,25	75	2 160 000
	на конный приводъ **).	45	0,9	40,5	1 166 400
Быкъ	дѣйствуетъ непосредственно	60	0,8	48	1 382 400
„	на конный приводъ	65	0,6	39	1 123 200
Мулъ	дѣйствуетъ непосредственно	50	1,1	55	1 584 000
„	на конный приводъ	30	0,9	27	777 600
Оселъ	дѣйствуетъ непосредственно	40	0,8	32	921 600
	на конный приводъ	14	0,8	11,2	322 560

Рабочій, дѣйствуя на рычагъ пожарнаго насоса, производитъ, при 2-минутной работѣ, до 0,5 лош. с., въ среднемъ 0,36 лош. силы ***).

Изъ наблюденій Rziha ****), произведенныхъ надъ 30 рабочими средней силы (вѣсъ рабочаго отъ 65 до 80 kg), работавшихъ на

---

*) По А. Ридлеру, при непрерывной работѣ у рукоятки $P = 7$ до 8 kg, $v = 0{,}9$ m въ сек., слѣд., $E = 6{,}3$ до 7,2 mkg въ сек., $A = 181\,440$ до $207\,360$ mkg.

**) Длина водилъ отъ 4,5 до 6 m (см. стр. 679).

***) См. C. Bach, Die Konstruktion der Feuerspritzen, стр. 90 и 91.

****) См. F. Rziha, Dis mittlere Leistung eines Arbeiters, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1894, стр. 642.

НТБ ДНУЗТ

разнообразныхъ приборахъ, при 12-часовомъ рабочемъ днѣ, слѣд., при дѣйствительномъ рабочемъ времени около 10 часовъ, получилось, что средняя **производительность рабочаго**:

$N_n = {}^1/_{21}$ лош. силы, или $A = (75 : 21).60.60.10 = 128\,570$ mkg.

Эта величина равна механической работѣ, соотвѣтствующей приблизительно 300 един. теплоты (см. стр. 327). Остановки, происходящія отъ утомленія, составляютъ въ среднемъ 35% дѣйствительнаго рабочаго времени.

На 1 лош. силу, при работѣ животныхъ, слѣдуетъ считать около 720 kg вѣса живого двигателя. Вѣсъ лошади отъ 300 до 600 kg, быка 900 до 1300 kg, мула 200 до 350 kg, осла 120 до 200 kg.

По Лешала *), для ѣзды по дорогамъ, если Q вѣсъ лошади, W вѣсъ телѣги, L грузъ въ kg, μ коэффиціентъ общаго тренія для даннаго типа дороги (см. стр. 220) и $s = \operatorname{tg}\alpha \backsim \sin\alpha$ подъемъ дороги, то **усиліе тяги лошади** въ kg (при 10-часовой работѣ въ день):

$$P = G(\mu \pm s) \pm Qs, \qquad \text{гдѣ } G = W + L;$$

отсюда усиліе тяги (въ kg) на 100 kg вѣса животнаго:

$$p = \frac{100\,P}{Q} = 100\left[\frac{G}{Q}(\mu \pm s) \pm s\right].$$

Въ нижеслѣдующей таблицѣ даны скорости ѣзды v, соотвѣтствующія величинамъ $p = 0$ до 50 kg. Приблизительно имѣемъ (въ m/sec.):

$$v = 0{,}21\,(5 - 0{,}1\,p) + 0{,}007\,(5 - 0{,}1\,p)^3.$$

Для $p = 20$ kg имѣемъ $v = 0{,}8$ m/sec.; при этомъ секундная производительность лошади достигаетъ своей наибольшей величины: $pv = 16$ mkg/sec (предполагается средняя лошадь вѣсомъ отъ 375 до 400 kg). Слѣд., стоимость перевозки становится наименьшей, если $p = 20$ kg, т.-е. усиліе тяги P составляетъ ${}^1/_5$ вѣса животнаго Q; отсюда можно найти наиболѣе благопріятное отношеніе $G : Q$.

p	v	p	v	p	v	p	v	p	v	p	v
0	1,94	6	1,58	12	1,215	18	0,885	24	0,65	30	0,47
1	1,88	7	1,52	13	1,16	19	0,84	25	0,62	32	0,415
2	1,82	8	1,45	14	1,11	20	0,80	26	0,59	35	0,34
3	1,76	9	1,39	15	1,05	21	0,76	27	0,56	40	0,215
4	1,70	10	1,33	16	0,985	22	0,72	28	0,53	45	0,105
5	1,64	11	1,27	17	0,93	23	0,68	29	0,50	50	0,00

Если требуется выбрать наиболѣе выгодную въ хозяйственномъ отношеніи линію дороги, при постройкѣ новыхъ проѣзжихъ дорогъ или при передѣлкѣ старыхъ, то,

*) См. M. Lechalas, Mémoire sur le roulage, Annales des ponts et chaussees 1879, стр. 364 и слѣд.; кромѣ того, Centralbl. d. Bauverw. 1888, стр. 544.

НТБ ДНУЗТ

принимая среднія величины вѣса лошади, телѣги и нагрузки, можно опредѣлить для каждой длины уклоновъ $l\,(=h:s)$ соотвѣтствующія величины p, а затѣмъ по вышеприведенной таблицѣ величину v для обоихъ направленій. Если v_1 скорость движенія въ гору и v_2 подъ гору, то среднее время, необходимое для того, чтобы проѣхать весь путь, въ сек.:

$$D = \frac{\Sigma(l:v_1) + \Sigma(l:v_2)}{2}.$$

Если по двумъ линіямъ A и B, для которыхъ найдены $D = D_A$ и соотв. $D = D_B$, ежедневно должны обращаться m экипажей опредѣленнаго типа въ теченіе n дней въ году и если стоимость 10-часового рабочаго дня лошади составляетъ w рублей, то, считая по $k\%$, получимъ сумму K (въ рубляхъ), на которую стоимость постройки линіи B могла бы быть больше стоимости постройки линіи A:

$$K = \frac{100\,(D_A - D_B)\,m\,n\,w}{60\,.\,60\,.\,10\,.\,\kappa}$$

кромѣ того, въ разсчетъ слѣдуетъ принимать стоимость содержанія обѣихъ линій. Если p становится отрицательнымъ (при движеніи съ горы), то по опытамъ можно принимать въ разсчетъ только скорость $v = 1{,}66$ m/sec.

Если p или P не должно быть отрицательнымъ (движеніе безъ тормаза), то наибольшій подъемъ не долженъ быть больше, чѣмъ

$$s_m = \frac{G\mu}{G+Q}.$$

Приблизительное соотношеніе между всей и полезной нагрузкой получается изъ:

$$L = \frac{G-30}{1{,}3}.$$

Грузъ G, который можетъ тянуть каждая лошадь при одиночной запряжкѣ по ровной дорогѣ, уменьшается:

при запряжкѣ въ 2 лошади на 2,2%,	при запряжкѣ въ 5 лошадей на 27%,
„ „ „ 3 „ „ 13 „,	„ „ „ 6 „ „ 36 „,
„ „ „ 4 „ „ 20 „,	„ „ „ 8 „ „ 50 „.

II. ВОДЯНЫЕ ДВИГАТЕЛИ.

A. Водяныя колеса. *)

Обозначенія.

Q количество воды, притекающей въ секунду; въ cbm,

H имѣющійся въ распоряженіи для колеса напоръ =

$$= \frac{c_1^2}{2g} + H' - \frac{c_2^2}{2g} \text{ въ m},$$

гдѣ c_1 скорость теченія воды въ концѣ верхняго приводнаго канала передъ вступленіемъ воды въ колесо, въ m/sec.,

*) По К. Баху, Die Wasserräder, Штутгартъ, 1886, II.

НТБ ДНУЗТ

H' разность уровней воды въ верхнемъ (приводномъ) и нижнемъ (отводномъ) каналахъ въ вышеупомянутыхъ мѣстахъ, въ m,

c_2 скорость теченія воды въ началѣ нижняго отводнаго канала послѣ выхода воды изъ колеса, въ m/sec.,

$N = \frac{1000\,Q\,H}{75}$ величина работы воды въ лошадиныхъ силахъ, которою можно располагать,

$N_n = \eta N$ полезная производительность колеса въ лошадиныхъ силахъ,

$\eta = N_n : N$ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія колеса,

n число оборотовъ колеса въ минуту,

$D = 2R$ наружній діаметръ колеса въ m,

b ширина колеса въ свѣту въ m,

a глубина (обода) колеса въ свѣту въ m,

Z число лопатокъ,

$t = \pi D : Z$ разстояніе между лопатками въ m,

z число спицъ въ одной системѣ,

$v = \omega R = \frac{2\pi R n}{60}$ скорость на окружности колеса въ m/sec.,

$q = \frac{60\,Q}{Z\,n}$ количество воды въ cbm, заключающееся въ пространствѣ между двумя лопатками,

$f = \frac{q}{b}$ въ qm, $\varepsilon = \frac{Q}{abv}$ коэффиціентъ наполненія,

h_e потеря напора при вступленіи воды въ колесо въ m,

h_a потеря напора при выходѣ воды изъ колеса въ m,

g ускореніе отъ силы тяжести $= 9{,}81$ m/sec^2.

a. Верхнебойныя колеса.

Вода вступаетъ обыкновенно въ наивысшей точкѣ колеса; при большомъ числѣ оборотовъ колеса вода подводится передъ наивысшей точкой, чѣмъ достигается лучшая утилизація силы воды; приэтомъ, однако, при пусканіи колеса въ ходъ, должно быть обезпечено вращеніе послѣдняго въ одну опредѣленную сторону.

При выборѣ **скорости на окружности колеса** v слѣдуетъ имѣть въ виду, что съ уменьшеніемъ v увеличиваются: коэффиціентъ полезнаго дѣйствія до извѣстнаго предѣла, размѣры, а слѣдовательно и цѣна колеса, передаточное число для приводовъ, а слѣдовательно, вѣсъ и стоимость передачи, а также потеря работы вслѣдствіе тренія цапфъ и зубцовъ. Обыкновенно v принимается между 1,5 и 2,0 m.

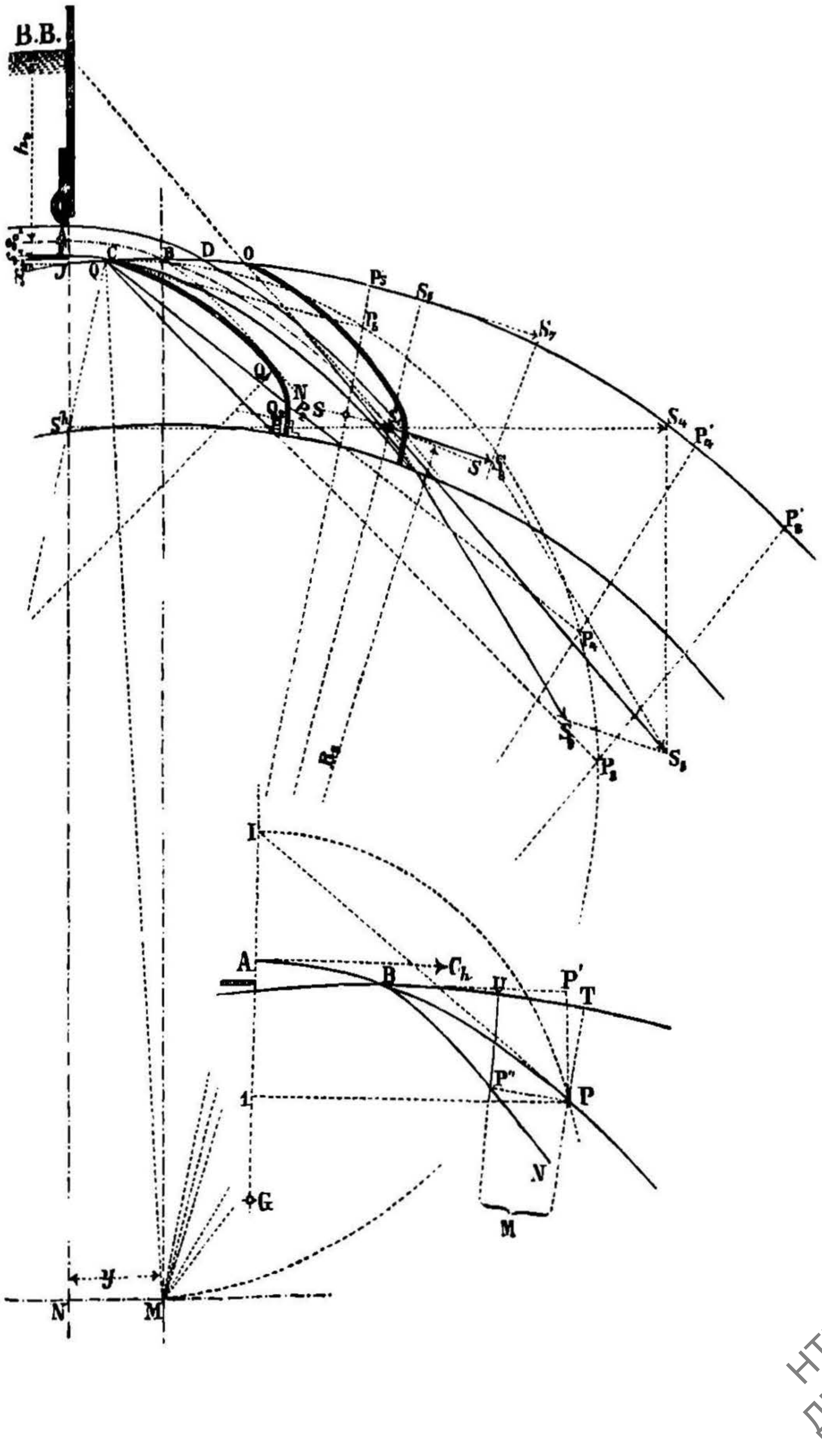
Горизонтальная слагающая c_h скорости водяной струи (черт. 609) опредѣляется сначала приблизительно:

$$c_h = 2{,}5\sqrt{v}.$$

(Продолженіе на стр. 746).

НТБ ДНУЗТ

Черт. 608 и 609.



Необходимый для такой скорости напоръ:

$$h_0 = (1 + \zeta') \frac{c_h^2}{2g}, \qquad \text{гдѣ } \zeta' = 0{,}10 \text{ до } 0{,}15.$$

Для колесъ, у которыхъ вода вступаетъ въ наивысшей ихъ точкѣ, **діаметръ колеса** (черт. 608) въ m:

$$D = 2R = H - [h_0 + 0{,}5\ s_0 + \delta + x_0 - x' + x''], \qquad \text{I.}$$

гдѣ x'' зазоръ между колесомъ и нижнимъ отводнымъ каналомъ, а

$x' = R - \overline{JL}$ (см. также стр. 747),

s_0 толщина струи (см. стр. 747),

δ толщина стѣнокъ желѣзнаго приводнаго канала (см. стр. 747).

Величина x_0 (зазоръ между окружностью колеса и нижнею поверхностью дна приводнаго канала) можетъ быть сдѣлана очень малою — до 5 mm въ желѣзныхъ колесахъ средней ширины; лучше, однако, эту величину нѣсколько увеличить, съ цѣлью болѣе свободнаго выхода воздуха, заключеннаго между лопатками. Въ деревянныхъ колесахъ незначительной ширины x_0 можетъ быть принято менѣе 15 mm. На величину x_0 оказываетъ вліяніе толщина образующагося зимою слоя льда.

Величина x'' выбирается въ зависимости отъ возможнаго повышенія горизонта низовой воды относительно нормальнаго, принимаемаго въ разсчетъ при составленіи проекта. Только въ исключительныхъ случаяхъ допускается погруженіе колеса въ низовую воду. Обыкновенно достаточно принимать: $x'' = 0{,}03$ до $0{,}10$ m.

Для полученія предварительнаго значенія D можно положить:

$$D = H - (1{,}1 \frac{c_h^2}{2g} + 0{,}2) \text{ до } D = H - (1{,}1 \frac{c_h^2}{2g} + 0{,}1) \qquad \text{II.}$$

По этой величинѣ D, принявъ надлежащее число оборотовъ, получимъ $v = \pi D n : 60$; затѣмъ снова опредѣляемъ c_h и окончательно устанавливаемъ величину h_0.

Глубина колеса: $$a = \frac{1}{6}\sqrt[3]{H} \text{ до } \frac{1}{4}\sqrt[3]{H},$$

причемъ надо всегда имѣть въ виду, что величина a вліяетъ на потери при вступленіи воды въ колесо, на ширину колеса и его стоимость, а при употребленіи деревянныхъ колесъ необходимо имѣть въ виду размѣры имѣющихся для изготовленія колеса деревянныхъ брусьевъ.

Ширина колеса: $$b = \frac{Q}{av\varepsilon}, \qquad \text{гдѣ } \varepsilon = {}^1/_4 \text{ до } {}^1/_2.$$

Слѣдуетъ имѣть въ виду, что при $b > 1{,}7$ m приходится ставить еще средній ободъ, или, по крайней мѣрѣ, сильно укрѣпить опалубку.

НТБ ДНУЗТ

Ширина струи: $b_0 = b - 0{,}4$ до $b - 0{,}2$ для колесъ безъ средняго обода,

$$\frac{b_0}{2} = \frac{b}{2} - 0{,}4 \text{ до } \frac{b}{2} - 0{,}2$$ для колесъ со среднимъ (промежуточнымъ) ободомъ.

Если, въ исключительныхъ случаяхъ, колесо снабжено особыми окнами для выпуска воздуха, то ширина струи можетъ быть принимаема нѣсколько больше.

Толщина струи: $$s_0 = \frac{Q}{b_0 c_h}.$$

Толщина стѣнокъ желѣзнаго приводнаго канала: $\delta = 5$ до 8 mm.

Положеніе **центра колеса** M относительно точки A опредѣляется по:

$$y = \sqrt{2p}\sqrt{-(R - m + p) + \sqrt{2Rm - m^2 + (R - m + p)^2}},$$

гдѣ $$p = 2\frac{c_h^2}{2g}; \qquad m = \frac{s_0}{2} + \delta + x_0.$$

$$x' = R - \sqrt{R^2 - y^2}.$$

Затѣмъ надо опредѣлить x'' и убѣдиться въ томъ, что величина эта достаточна; въ противномъ случаѣ D слѣдуетъ измѣнить и разсчетъ колеса продѣлать вновь.

Средняя линія водяной струи ABP (черт. 609, стр. 745) парабола (съ параметромъ $2p$), вершина которой A (опредѣляется по h_0), горизонталь c_h есть касательная къ параболѣ въ вершинѣ; вертикаль черезъ точку A—главная ось, а разстояніе фокуса G отъ точки A опредѣляется по

$$AG = \frac{p}{2} = \frac{c_h^2}{2g} = \frac{h_0}{1 + \zeta'}.$$

Произвольная точка P параболы опредѣлится, если отложить $AI = A1$ и описать изъ G дугу радіусомъ GI; точка пересѣченія этой дуги съ горизонталью, проведенной изъ точки 1, принадлежитъ параболѣ, а прямая PI есть касательнан къ параболѣ въ точкѣ P (см. стр. 109 и слѣд.).

Пусть P произвольная точка **абсолютнаго пути** BP частицы воды, вступающей въ колесо у B; тогда точка P'', соотвѣтствующая P на **относительномъ пути** $BP''N$, опредѣлится, если провести изъ P радіусъ MPT и отложить дугу $TU = BP'$ $v : c_h$. Радіусъ $UP''M$, проведенный черезъ точку U, пересѣкаетъ дугу PP'', описанную изъ центра колеса радіусомъ MP, въ искомой точкѣ P''.

Форма лопатокъ.

Пренебрегая потерей воды при выходѣ, слѣдовало бы лопаткамъ придавать форму относительнаго пути BN водяной струи. Принимая во вниманіе эту потерю, надо конструировать лопатки слѣдующимъ образомъ.

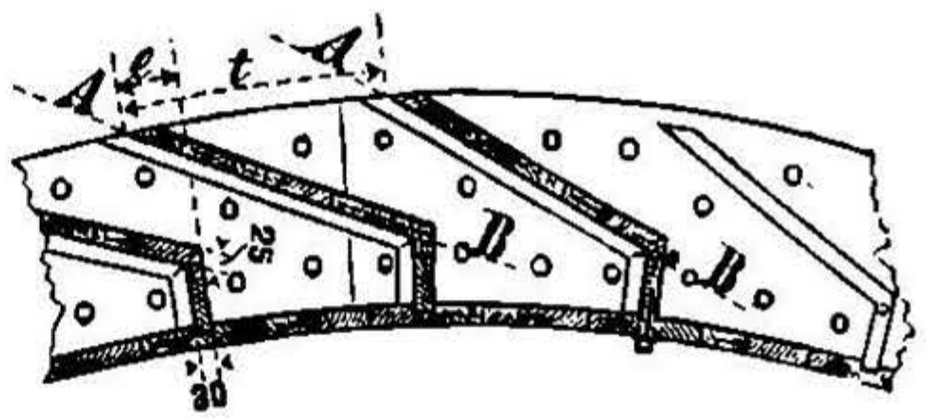
Желѣзныя лопатки (черт. 608). Кривая лопатка составляется

НТБ ДНУЗТ

изъ двухъ круговыхъ дугъ QQ_1 и Q_1Q_2 такимъ образомъ, чтобы она была касательна къ относительному пути BN и пересѣкала окружность колеса въ точкѣ Q, отстоящей отъ B на величину дуги $QB \leqq 0{,}5\,t = 0{,}5\,QO$. Изъ точки Q_2 проводится прямая линія по направленію радіуса колеса; длина этой прямой, по крайней мѣрѣ, должна быть равна высотѣ углового желѣза, прикрѣпляющаго лопатку къ опалубкѣ.

Въ колесахъ съ кривымъ (по формѣ колеса) ложемъ форма лопатокъ должна по возможности ближе подходить къ формѣ относительнаго пути.

Черт. 610.



Деревянныя лопатки (черт. 610). Уголъ, подъ которымъ лопатки пересѣкаютъ окружность колеса $= 30^0$, такъ что направленія AB касательны къ окружности радіуса $0{,}866\,R$; въ случаѣ бо̀льшихъ наполненій радіусъ этой окружности доходитъ до $0{,}9\,R$, а въ случаѣ малыхъ—до $0{,}85\,R$. Перекрышка $e \backsim 0{,}25\,t$.

Разстояніе между лопатками и число спицъ.

Обыкновенно разстояніе между лопатками (среднее разстояніе между ними на внѣшней окружности колеса):

$$t = {}^4/_3 \overset{\frown}{CD} \text{ до } {}^3/_2 \overset{\frown}{CD} \text{ (черт. 608).}$$

гдѣ $\overset{\frown}{CD}$ дуга, на которой происходитъ впускъ воды.

По величинѣ t, такимъ образомъ опредѣленной, получается число лопатокъ $Z = \pi D : t$. Для удобства конструкціи i должно быть кратное отъ числа спицъ z; обыкновенно, если D въ m:

$$z \backsim D + 2 \text{ до } D + 3.$$

Потери работы и коэффиціентъ полезнаго дѣйствія.

1. **Впускъ.** Пусть S_1 (черт. 608) точка пересѣченія средней линіи ABS_1 водяной струи съ дугой SS окружности, описанной радіусомъ

$$R_s = \sqrt{(R-a)^2 + \frac{qZ}{2\pi b}};$$

построимъ для точки S_1 параллелограммъ скоростей такъ, чтобы S_1S_8 выражала скорость точки S_1 колеса и S_1S_5—абсолютную скорость частицы воды; $S_1S_8 = S_8S_5 = w_1$ есть скорость частицы воды (относительно колеса), вступающей въ точкѣ S_1. Потеря напора при вступленіи воды въ колесо (въ m), если пренебречь незначительной потерей вслѣдствіе обратнаго удара, будетъ:

$$h_e = \zeta' \frac{c_h^2}{2g} + \frac{w_1^2}{2g}.$$

НТБ ДНУЗТ

2. **Выходъ.** Проведемъ линію QP_1 (черт. 608) такъ, чтобы ограничиваемая лопаткой площадь $QQ_1Q_2P_1 =$ площади $f = q : b$; линію QP_2 такъ, чтобы f раздѣлено было пополамъ; затѣмъ прямую QP_5 проведемъ касательно къ крайнему элементу кривой лопатки. Опишемъ полукругъ на MQ, какъ на діаметрѣ, и продолжимъ прямыя QP_1, QP_2 и QP_5 до пересѣченія съ окружностью въ точкахъ P_3, P_4 и P_5. Тогда потеря напора при выходѣ выразится (въ m):

$$h_a' = \frac{P_3P_3' + 4.P_4P_4' + P_5P_5'}{6} + \frac{v^2}{2g}.$$

По болѣе точнымъ изслѣдованіямъ *), эта потеря значительно меньше и для колесъ среднихъ размѣровъ составляетъ лишь:

$$h_a = {}^2/_3\, h_a' + x''.$$

3. **Потеря отъ тренія цапфъ** равна 1 до $3^0/_0$ отъ N.

4. Вліяніе на потерю работы **сопротивленія воздуха** (во всякомъ случаѣ незначительное), а также и другихъ несовершенствъ колеса, выражается обыкновенно уменьшеніемъ коэффиціента его полезнаго дѣйствія, указаннаго въ 1. и 3., на 2 до $3^0/_0$.

Общій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія раціонально построенныхъ верхнебойныхъ (наливныхъ) колесъ, при значительныхъ напорахъ, доходитъ до $\eta = 0{,}85$.

Вѣсъ водяныхъ колесъ.

Вѣсъ G (въ kg) нормальнаго верхнебойнаго колеса (изъ желѣза) можетъ быть принятъ:

1. При устройствѣ особаго зубчатаго колеса на валу водянаго колеса вѣсъ послѣдняго (безъ вѣса зубчатаго колеса) равенъ:

$$G = 540\, a(b\,D)^{3/2} \quad \text{до} \quad 580\, a(b\,D)^{3/2},$$

или менѣе точно: $G = 460\,\dfrac{N}{v}$ до $500\,\dfrac{N}{v}$.

Вѣсъ малыхъ быстроходныхъ колесъ, а именно колесъ съ кривымъ (по формѣ колеса) ложемъ, выходитъ на $^1/_8$ до $^1/_4$ болѣе вѣса, опредѣленнаго по первому изъ вышеприведенныхъ выраженій.

Вѣсъ G_r зубчатаго колеса (зубчатые вѣнцы, составленные изъ отдѣльныхъ сегментовъ; число зубцовъ отъ 180 до 240; діаметръ = 5 до 6 m) составляетъ (въ kg):

$$G_r = 50\,000\, D_1\, b_1\, t_1,$$

гдѣ D_1 діаметръ начальной окружности, b_1 ширина зубца и t_1 шагъ зацѣпленія въ m.

---

*) См. C. Bach, Die Wasserräder, II ч., стр. 132 и слѣд; Штутгартъ 1886.

НТБ ДНУЗТ

2. Для того случая, когда зубчатое колесо непосредственно связано съ водянымъ колесомъ (включая вѣсъ зубчатаго колеса):

$$G = 700\, a\,(b\,D)^{3/2} \quad \text{до} \quad 750\, a\,(b\,D)^{3/2},$$

или

$$G = 600\,\frac{N}{v} \quad \text{до} \quad 650\,\frac{N}{v}.$$

b. Водяныя колеса съ направляющимъ приборомъ (среднебойныя).

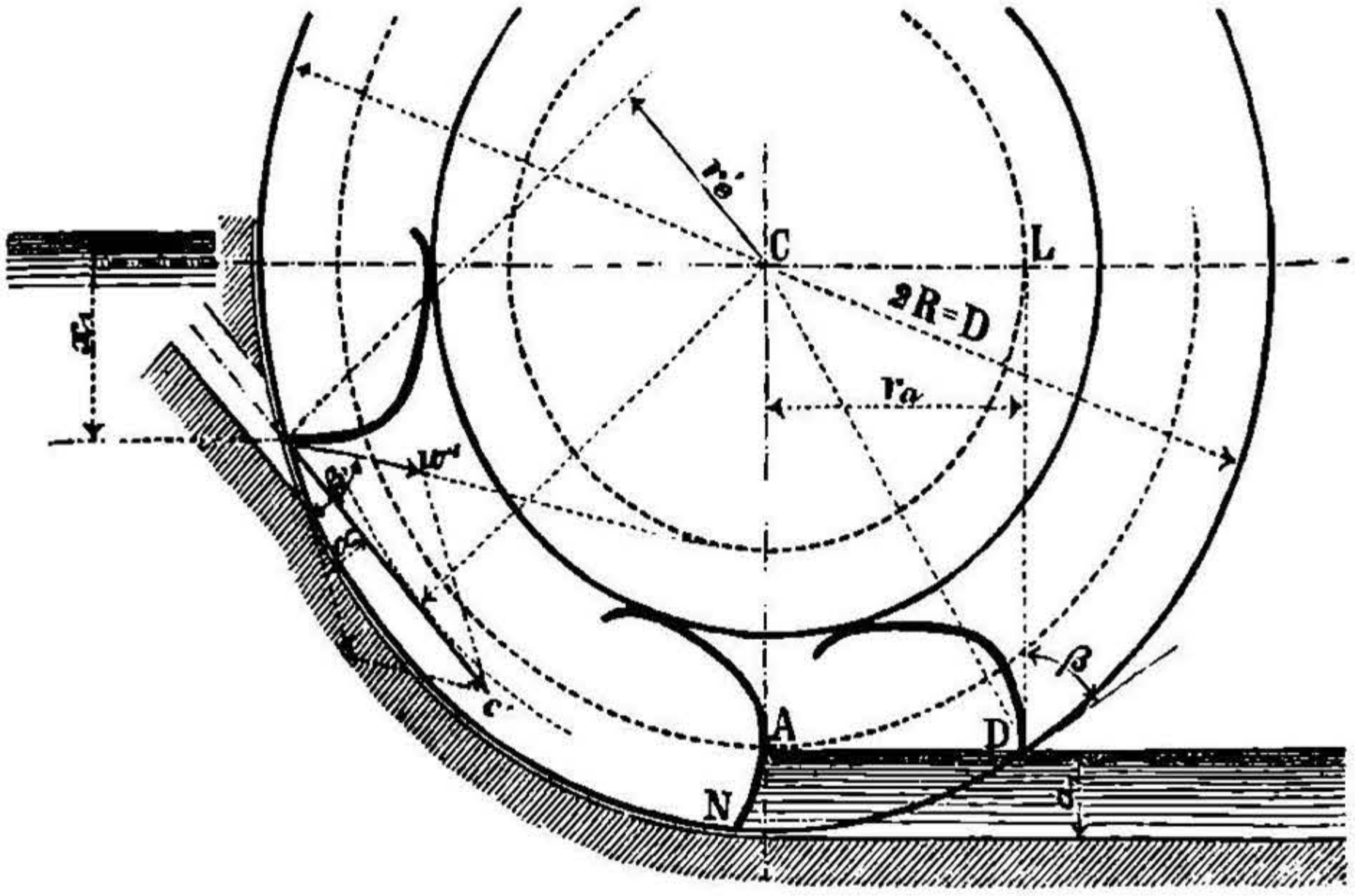
Вода подводится къ колесу особымъ направляющимъ приборомъ, расположеннымъ выше или ниже оси колеса.

При **выборѣ діаметра колеса** слѣдуетъ имѣть въ виду, что съ увеличеніемъ діаметра послѣдняго потеря работы при вступленіи воды въ колесо уменьшается, но вѣсъ колеса, а слѣд. и его стоимость, увеличивается. Для колесъ, представленныхъ на черт. 611 и 612 (стр. 752), принимается $D = H + 3{,}5$ m, если какія-либо особыя соображенія не говорятъ въ пользу иныхъ размѣровъ.

$$v = 1{,}6 \text{ m до } 2{,}2 \text{ m въ сек.}$$

(См. сказанное относительно v на стр. 744).

Черт. 611.



Глубина колеса (ширина обода): $a = 0{,}4\sqrt[3]{\frac{D}{H}}$ до $0{,}5\sqrt[3]{\frac{D}{H}}$,

иногда и больше, а именно — при значительно колеблющемся уровнѣ низовой воды.

Ширина колеса: $b = \frac{Q}{a v \varepsilon}$, гдѣ $\varepsilon = {}^1/_3$ до ${}^2/_3$.

НТБ ДНУЗТ

Разстояніе между лопатками: $t = 0{,}5\,a$ до $0{,}7\,a$.

Число лопатокъ и спицъ см. стр. 748.

Глубина погруженія нижней части колеса, въ предположеніи, что вода непосредственно у колеса оставляетъ послѣднее со скоростью v, опредѣляется:

$$a_1 = \frac{Q}{b\,v}.$$

Зазоръ между каменной стѣной искривленнаго по формѣ колеса ложа и желѣзнымъ колесомъ равенъ 5 mm и менѣе. Подшипники вала водяного колеса снабжаются передвижными нижними вкладышами; колесо устанавливается вплотную къ стѣнкѣ каменнаго канала, а затѣмъ отодвигается отъ него лишь настолько, чтобы не происходило задѣваніе колеса за каменную кладку ложа.

Направленіе крайняго элемента лопатки (черт. 611) опредѣляется по: $r_a = \sqrt{R^2 - (R - a_1)^2}$; $\sin\beta = (R - a_1) : R$.

Чѣмъ менѣе желательно, чтобы лопатки выходили изъ низовой воды подъ прямымъ угломъ, тѣмъ болѣе могутъ быть допускаемы отступленія отъ приведенныхъ величинъ въ ту или другую сторону.

Форма лопатокъ. Въ случаѣ выхода лопатокъ изъ низовой воды подъ прямымъ угломъ, NA представляетъ развертку круга радіуса $CA = R\sin\beta = R - a_1$, или дугу круга, приближающуюся къ этой развертк̀ѣ. Отъ точки A лопатка должна быть искривлена по возможности круче къ верху, такъ, чтобы проходъ воды вовнутрь колеса былъ невозможенъ.

Впускъ воды. Уголъ α, подъ которымъ вода подводится направляющимъ приборомъ къ колесу, опредѣляется по: $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}5$.

Слѣд., абсолютная скорость вступленія воды c' для верхняго окна направляющаго прибора будетъ: $c' = v\,\dfrac{\sin\beta}{\sin(\beta - \alpha)}$.

Погруженіе точки B_1 подъ поверхностью верхней воды:

$$x_1 = (1 + \zeta')\,\frac{c'^2}{2\,g}, \qquad \text{гдѣ } \zeta' \sim 0{,}12.$$

Форма кривыхъ направляющаго прибора (**кулиссъ**) (черт. 612).

Проведемъ линію BO перпендикулярно къ c' (слѣд. касательно къ окружности радіуса $r_e' = CO = R\sin\alpha$), опишемъ изъ B кругъ діаметра s_1 = ширинѣ верхней кулиссы = 0,06 до 0,10 m, а изъ O двѣ дуги $B_1'A_1$ и $B_1'''B_1''$, которыя должны быть касательны къ кругу діаметра s_1, и затѣмъ еще дугу круга BB_1 черезъ точку B. Съ внутреннимъ очертаніемъ направляющихъ приборовъ $B_1'A_1$ и $B_1'''B_1''$ сопрягаются кривыя A_1A_1' и $B_1''A_1''$ (послѣдняя должна быть такъ выбрана, чтобы въ точкѣ A_1'' она имѣла горизонталь-

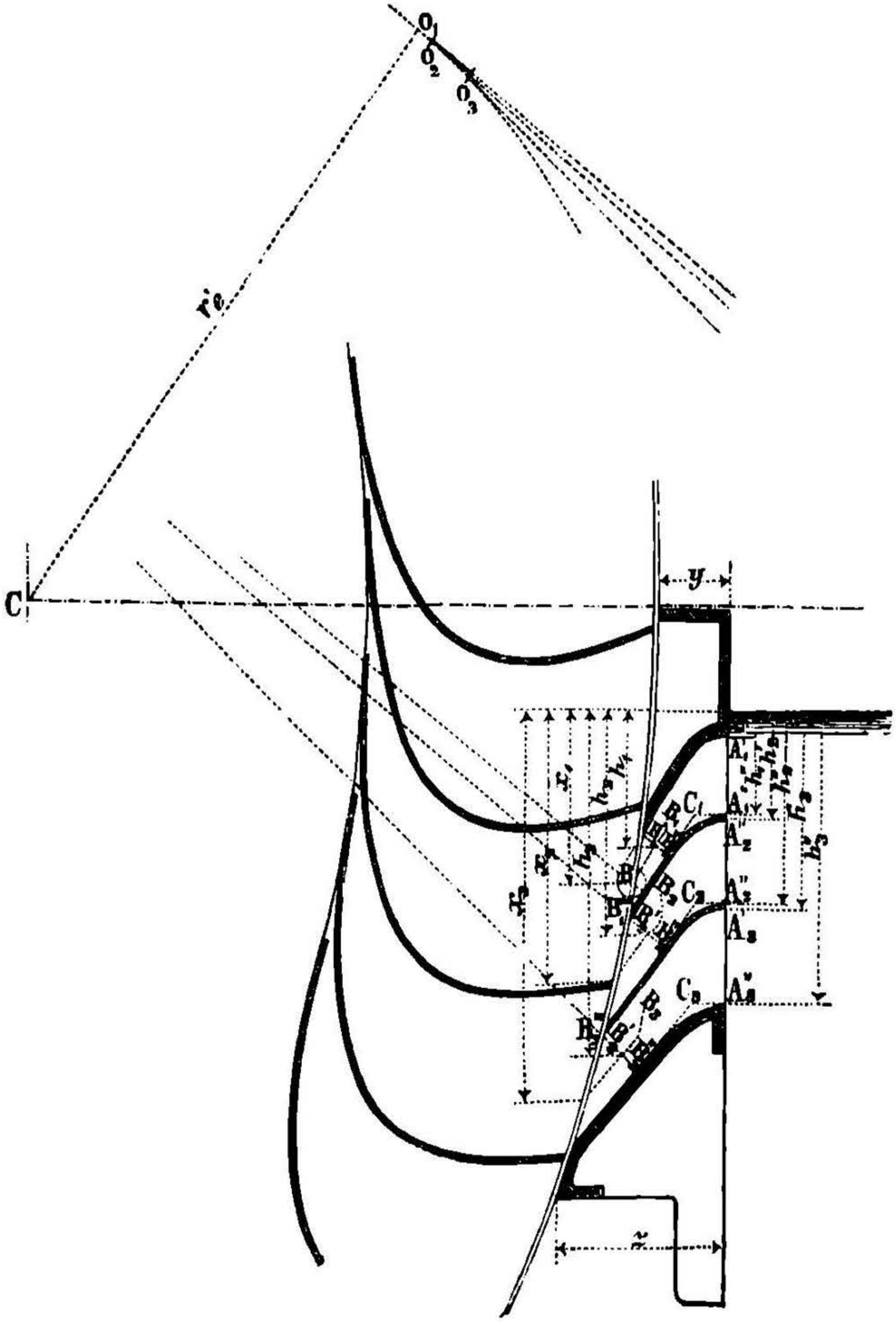
НТБ ДНУЗТ

ную касательную) внутреннихъ очертаній направляющихъ, такъ что количество воды, протекающее въ B_1 въ сек.:

$$q_1 = \mu b_0 s_1 \sqrt{2 g h_1},$$

(Продолженіе см. на стр. 753).

Черт. 612.



НТБ ДНУЗТ

(гдѣ μ коэффиціентъ расхода, для желѣзныхъ лопатокъ = до 0,94, а въ случаѣ деревянныхъ лопатокъ на 5 до 10% менѣе, b_0 ширина направляющаго отверстія въ свѣту), можетъ въ то же время пройти и черезъ сѣченіе $A_1' A_1''$, т.-е.

$$q_1 \leqq {}^2/_3 \mu_0 b_0 \sqrt{2g} \left(\sqrt{h_1''^3} - \sqrt{h_1'^3}\right),$$

или

$$h_1'' \geqq \sqrt[3]{\left[(h_1')^{3/2} + \frac{3 q_1}{2 \mu_0 b_0 \sqrt{2g}}\right]^2},$$

гдѣ $\mu_0 \leqq 0{,}90$ коэффиціентъ истеченія при вступленіи воды въ направляющій приборъ. Слѣдуетъ имѣть въ виду, что A_1'', съ цѣлью достиженія правильнаго притока воды, должно быть расположено выше B_1' на надлежащую величину.

Толщина желѣзныхъ стѣнокъ направляющаго прибора:

$$s_0 = 5 \text{ до } 8 \text{ mm},$$

кромѣ того (см. черт. 612): $y \geqq 0{,}12$ m, $z \geqq 0{,}35$ m.

Для построенія второго направляющаго отверстія высотою s_2 проведемъ изъ точки B_1''' касательную $B_1''' O_2$ къ окружности радіуса $C O$, затѣмъ отложимъ $B_1''' B_2' = s_0$, $B_2' B_2 = B_2 B_2'' = 0{,}5\ s_2$ и изъ O_2 опишемъ дугу круга $B_2'' B_2'''$. Тогда A_2'' выбирается по вышеприведеннымъ даннымъ такъ, чтобы черезъ B_2 проходило въ секунду количество:

$$q_2 = \mu b_0 s_2 \sqrt{2 g h_2},$$ гдѣ $\mu =$ до 0,93 (см. выше);

слѣд., $h_2'' \geqq \sqrt[3]{\left[(h_2')^{3/2} + \frac{3 q_2}{2 \mu_0 b_0 \sqrt{2g}}\right]^2}$, причемъ $\mu_0 \leqq 0{,}90$.

Такъ же точно опредѣляется второй и третій направляющій каналъ; обыкновенно достаточно трехъ каналовъ. Принимаютъ $\Sigma q = Q$ и приблизительно $q_1 = q_2 = q_3$; тогда s_2 и s_3 могутъ быть опредѣлены по s_1.

Потери работы и коэффиціентъ полезнаго дѣйствія.

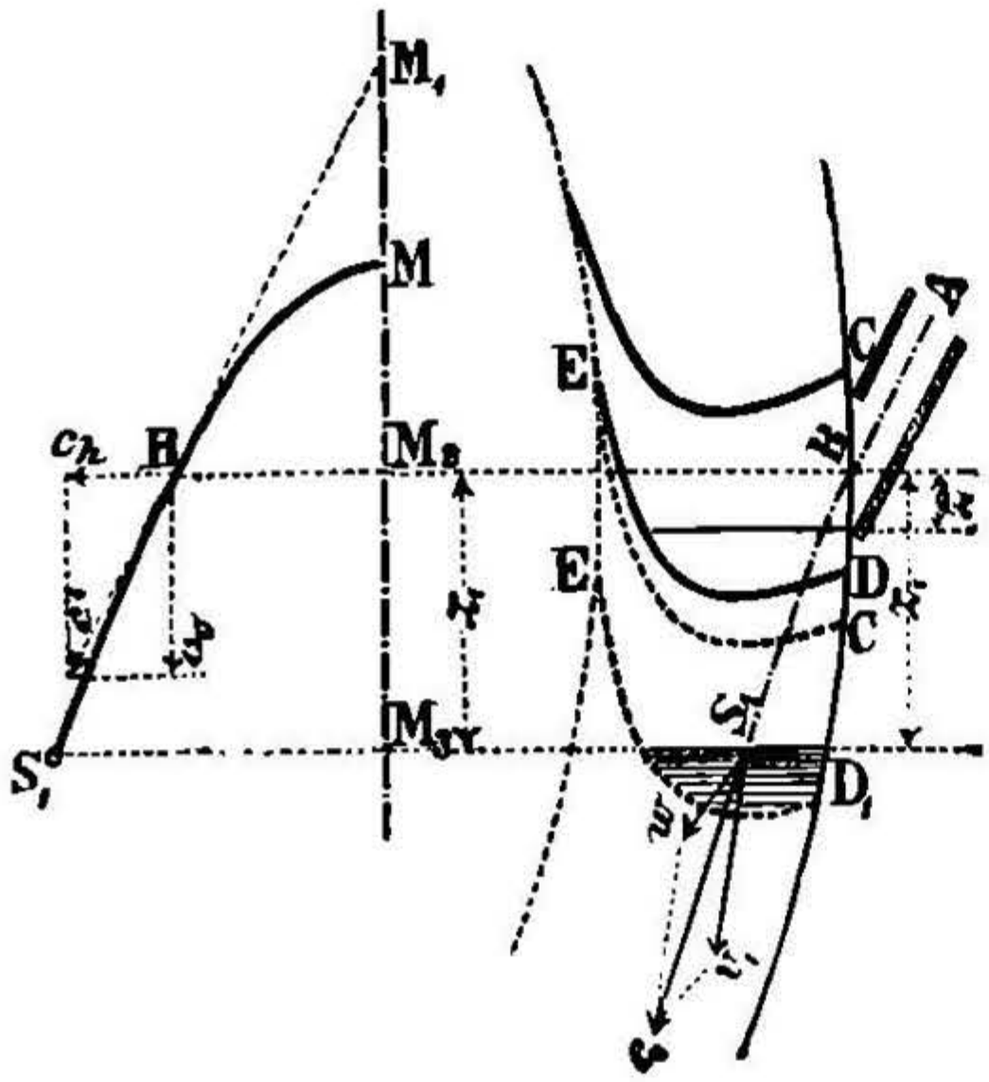
1. **Впускъ.** Вообразимъ, что всѣ струйки воды, вытекающія изъ направляющаго аппарата, соединяются въ одну общую струю, встрѣчающую окружность колеса приблизительно на разстояніи

$$x = \frac{q_1 x_1 + q_2 x_2 + q_3 x_3 + \cdots}{q_1 + q_2 + q_3 +}$$

НТБ ДНУЗТ

ниже уровня верхней воды. Абсолютная скорость въ точкѣ встрѣчи B (черт. 613)

Черт. 613.



$$c' = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta'}}\sqrt{2gx} = \varphi\sqrt{2gx};$$

$\zeta' = 0{,}15;$ $\varphi = 0{,}93.$

Вершина M параболическаго пути MBS_1 опредѣляется изъ:

$$M_2B = \frac{c_h c_v}{g};\quad M_1M = MM_2,$$

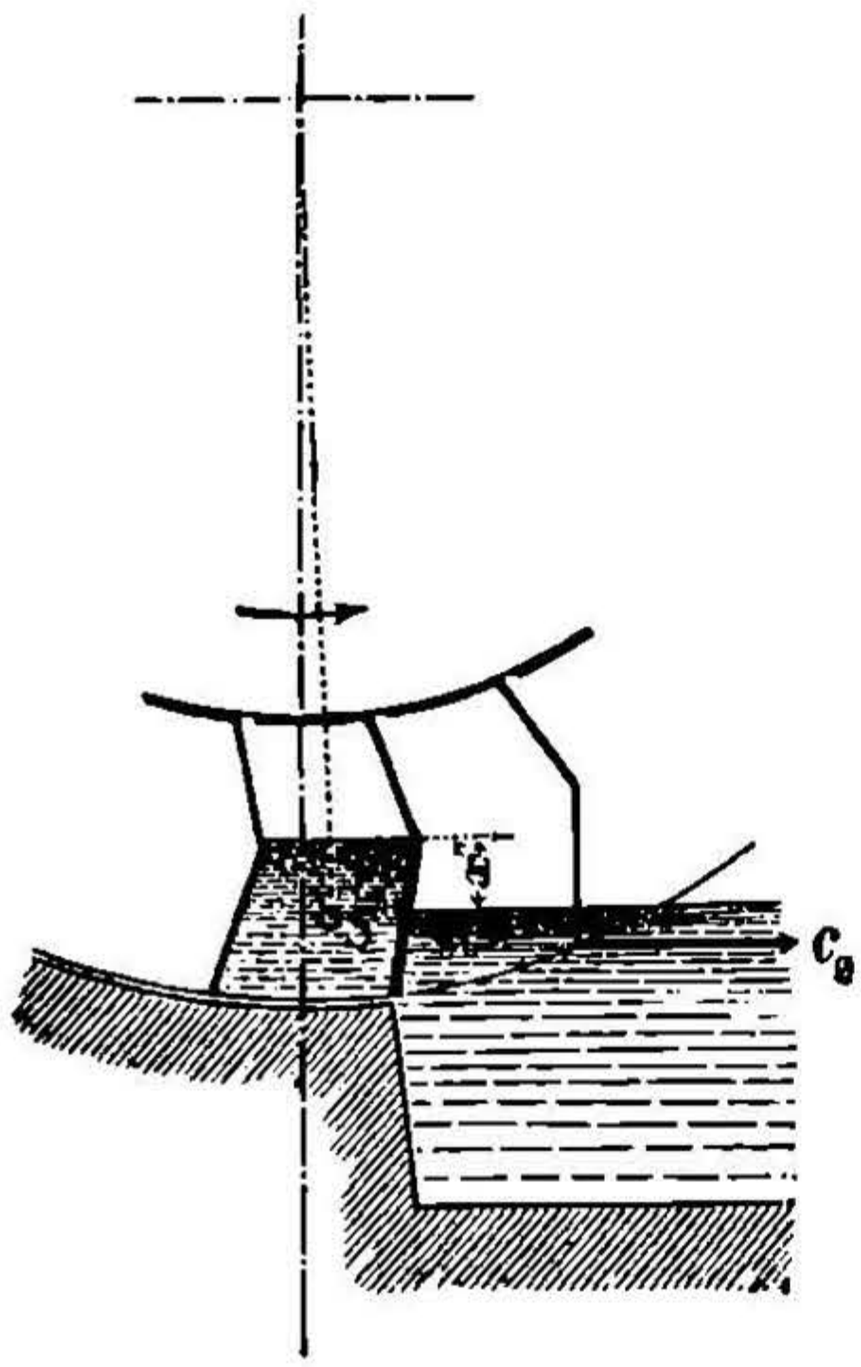
гдѣ c_h и c_v горизонтальная и вертикальная составляющія скорости c'.

Пространство между лопатками CDE опредѣляется такъ, чтобы дуга $CB = DB$, а уровень воды наносится съ такимъ разсчетомъ, чтобы сѣченіе воды $= 0{,}5\ f_1 = 30\ Q : Z\,n\,b$; отсюда получается высота z. Опустивъ затѣмъ лопатку ниже (до $C_1D_1E_1$), на разстояніе отъ перваго положенія.

$$DD_1 = \frac{v}{g}\left[-c_v - v_v) + \sqrt{(c_v - v_v)^2 + 2\,g\,z}\right],$$

(гдѣ v_v вертикальная слагающая скорости v къ точкѣ B), построимъ въ точкѣ (S_1) пересѣченія параболы MBS_1 съ новымъ положеніемъ уровня воды параллелограммъ скоростей по скоростямъ c_1 и v_1 какъ извѣстнымъ; изъ этого параллелограмма опредѣлится скорость w_1, а слѣд. и потеря напора (въ m):

Черт. 614.



$$h_e = \zeta'\frac{c_1^2}{2g} + \frac{w_1^2}{2g}.$$

2. **Выходъ** (черт. 614). Приблизительно потеря напора (въ m):

$$h_a = x'' + \frac{v^2 - c_2^2}{2g}.$$

При $x'' = 0$, что можетъ быть почти достигнуто въ желѣзныхъ колесахъ, и $c_2 = v$ имѣемъ: $h_a = 0$.

3. **Остальныя потери** (см. стр. 749) въ хорошихъ колесахъ составляютъ въ суммѣ около 3 до $5^0/_0$ отъ N.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія такихъ раціонально сконструированныхъ и старательно исполненныхъ водяныхъ колесъ, при напорахъ 3 до 4 m, доходитъ до $\eta = 0{,}85$.

НТБ ДНУЗТ

Вѣсъ колеса.

Вѣсъ желѣзныхъ колесъ съ рѣшетчатой опалубкой и ободьями, безъ зубчатаго колеса, можетъ быть принятъ равнымъ:

$$G = 330\, a\,(b\,D)^{3/2} \text{ до } 360\, a\,(b\,D)^{3/2},$$

или менѣе точно: $G = 420\,\frac{N}{v}$ до $460\,\frac{N}{v}$.

Вѣсъ колесъ сравнительно малаго діаметра, а также и небольшой ширины, принимается нѣсколько больше, чѣмъ вычисленный по этимъ формуламъ.

c. Полуналивныя колеса съ водосливомъ.

Обыкновенно $D = 3\,H$ до $4\,H$, $v = 1{,}4$ до $1{,}7$ m въ сек.

Относительно отдѣльныхъ частей колесъ см. данныя въ **b**.

Впускъ воды (чер. 615). Положеніе A щита, обыкновенно покрытаго желѣзомъ, опредѣляется при избыткѣ нормальнаго количества воды изъ:

$$Q = \mu b_0 h \sqrt{2\,g h},$$

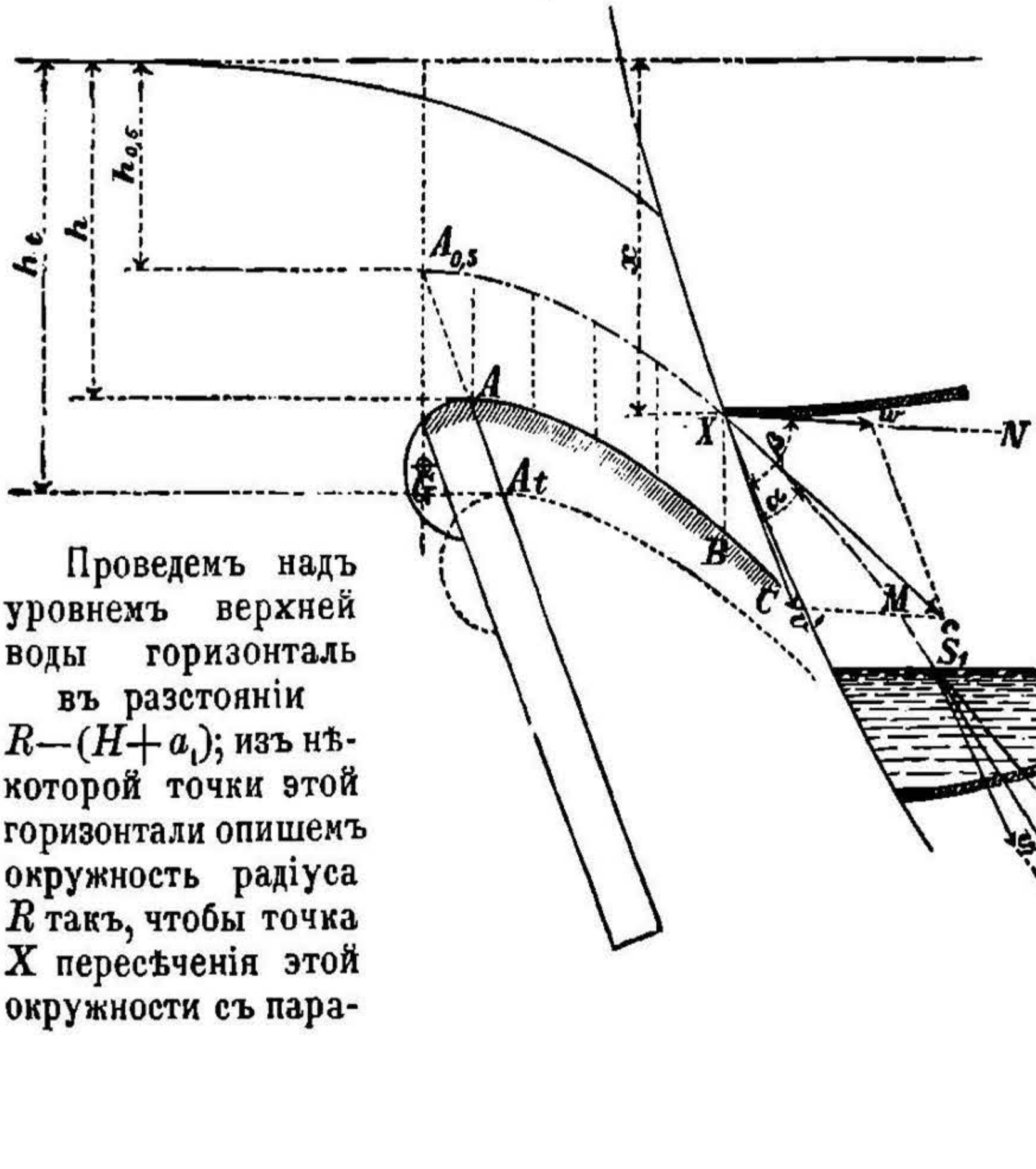
гдѣ $\mu = 0{,}50$ (для деревянныхъ лопатокъ μ не больше 0,45).

Для средней струи воды $A_{0,5}\ XS_1$, въ которой можно вообразить сосредоточенной всю массу воды, имѣемъ:

$$0{,}5\ Q = \mu b_0 h_{0,5} \sqrt{2\,h\,g_{0,5}};$$

отсюда получается вершина $A_{0,5}$ соотвѣтственной параболы, фокусъ которой G находится на разстояніи $A_{0,5}\ G = {}^{10}/_{11}\,h_{0,5}$ ниже точки $A_{0,5}$.

Черт. 615.



Проведемъ надъ уровнемъ верхней воды горизонталь въ разстояніи $R-(H+a_1)$; изъ нѣкоторой точки этой горизонтали опишемъ окружность радіуса R такъ, чтобы точка X пересѣченія этой окружности съ пара-

НТБ ДНУЗТ

болой находилась ниже уровня верхней воды на разстояніи 0,40 до 0,45 m. (Относительно глубины погруженія a, см. стр. 751). Построивъ въ точкѣ X параллелограммъ скоростей для равнодѣйствующей

$$c = 0{,}95\sqrt{2gx},$$

слѣдуетъ испробовать, будетъ ли слагающая скорости c по направленію окружности колеса имѣть требуемую величину (приблизительно равную v); въ случаѣ необходимости надо измѣнить положеніе выбраннаго центра на горизонтали или измѣнить радіусъ колеса R, или же скорость на окружности v.

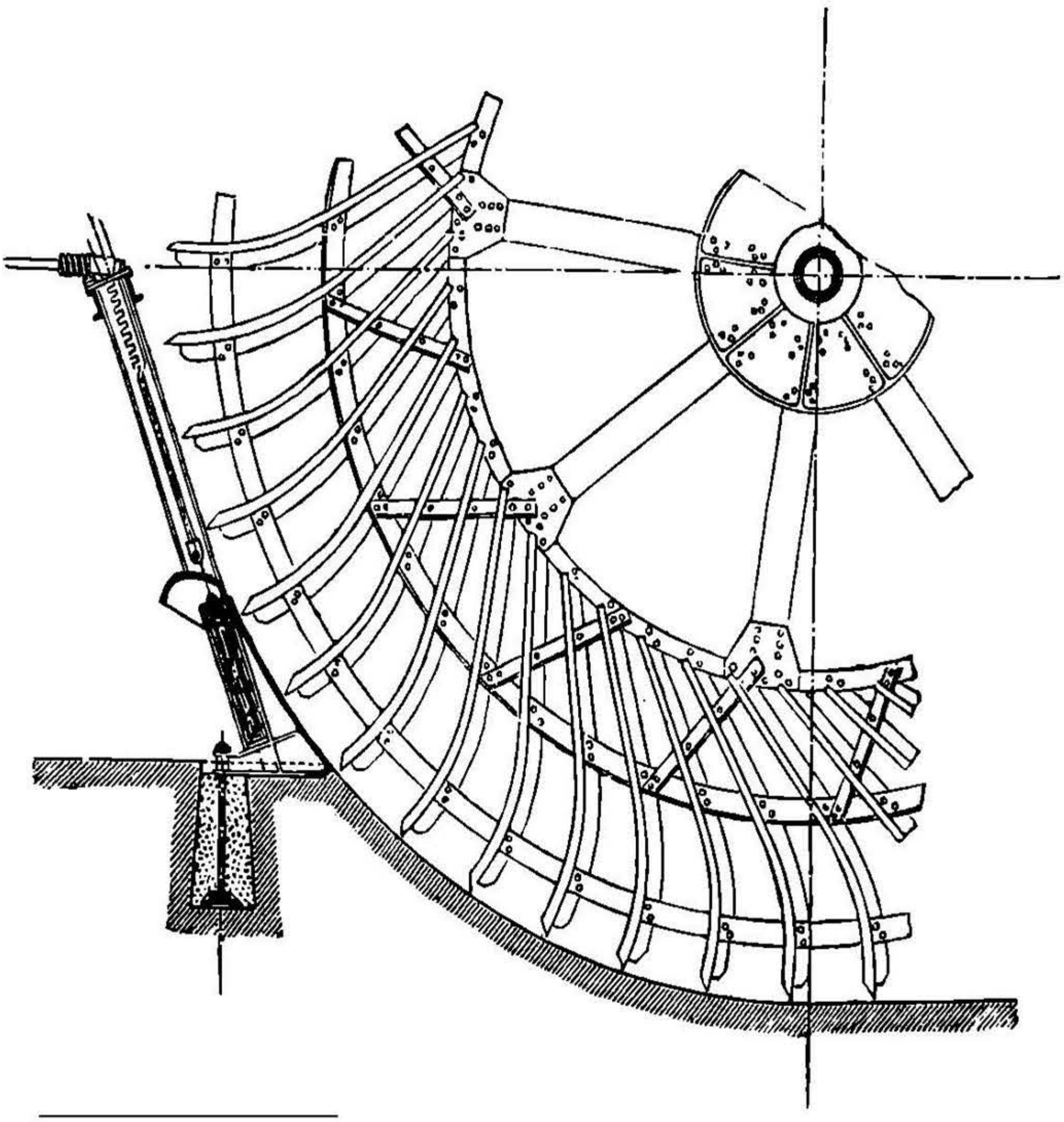
Низшее положеніе щита опредѣляется по:

$$Q_{max} = \mu b_0 h_t \sqrt{2gh_t},$$

если Q_{max} наибольшее протекающее количество воды (въ cbm въ сек.).

Колесо Цуппингера для малыхъ напоровъ, черт. 616 *).

Черт. 616.



*) См. Teichmann, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1888, стр. 53 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Для малыхъ и среднихъ напоровъ, въ особенности при сильно колеблющемся уровнѣ низовой воды; v доходитъ до 1,2 m въ сек.; коэффиціентъ полезнаго дѣйствія обыкновенно $\eta = 0{,}65$ до 0,75, если x'' (черт. 614, стр. 754) незначительно. Уголъ наклона элемента лопатки, выходящей изъ низовой воды, къ горизонту = 70 до 75° при $a_1 = 0{,}3$ m; наименьшая его величина = 45 до 55° при наивысшемъ уровнѣ воды. Глубина колеса a зависитъ отъ измѣненія уровня низовой воды и находится въ предѣлахъ $^1/_3 R$ и $^2/_3 R$; она должна быть такъ выбрана. чтобы вода не могла понадать вовнутрь колеса. Разстояніе между лопатками въ среднемъ $t = 0{,}5$ m.

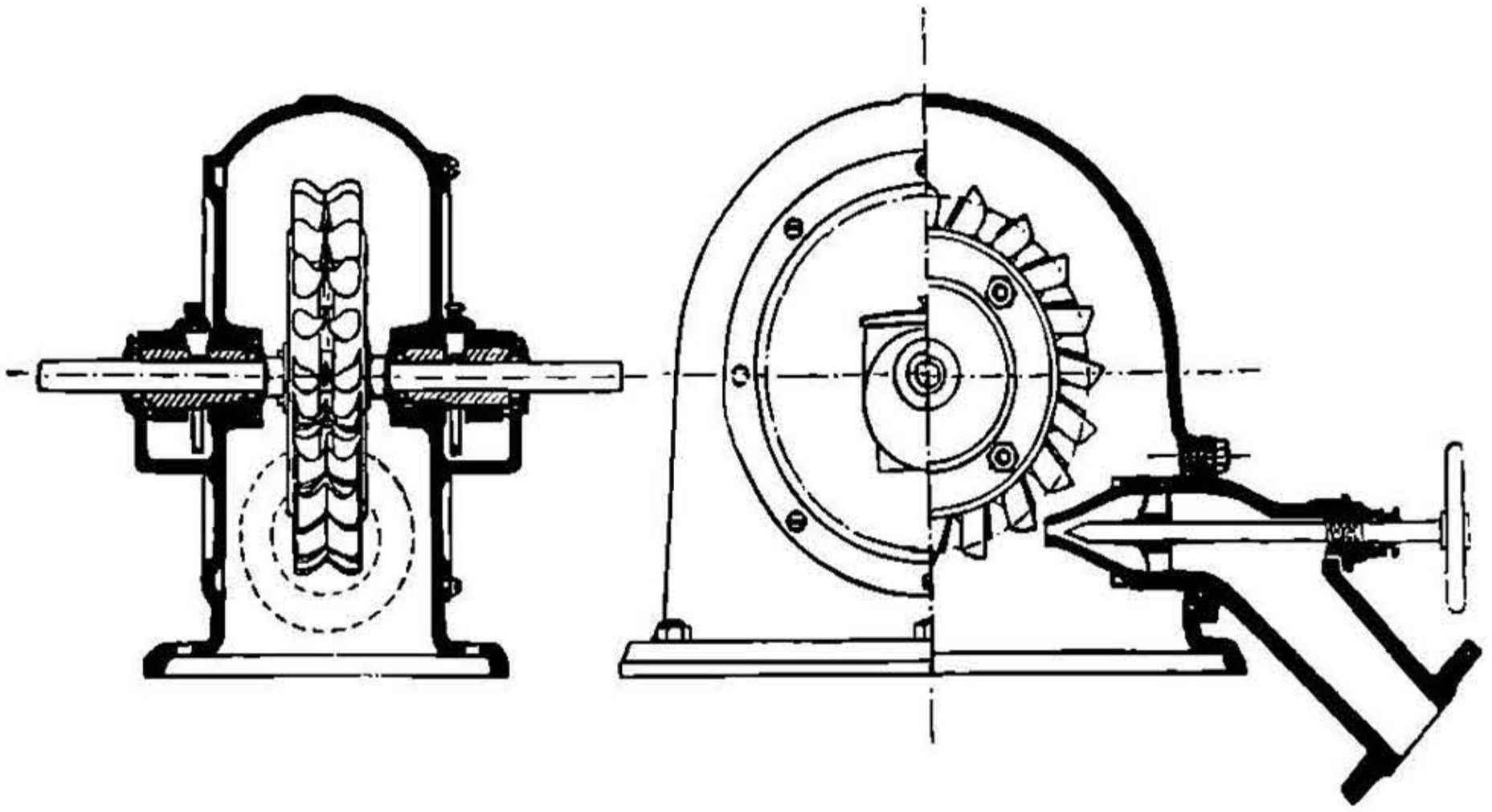
d. Подливныя (пошвенныя) колеса

могутъ быть разсматриваемы какъ колеса, къ которымъ вода подводится посредствомъ **одного** направляющаго прибора, и поэтому какъ ихъ теорія, такъ и конструкція опредѣляются по вышеизложенному. Вообще говоря, коэффиціентъ полезнаго дѣйствія этихъ колесъ меньше, чѣмъ у колесъ, разсмотрѣнныхъ въ **b.** и **c.**

e. Колеса Пельтона.

Переходъ отъ водяныхъ колесъ къ турбинамъ составляетъ колесо Пельтона, въ которомъ вода, какъ въ колесѣ Понселе и въ турбинахъ, дѣйствуетъ своею скоростью; оно отличается отъ другихъ формою лопатокъ (черт. 617), которыя струю воды, выходящую изъ коническаго отверстія, раздѣляютъ на двѣ части, от-

Черт. 617.



клоняющіяся въ стороны. Вода выходитъ изъ насадки (если пренебречь потерями отъ тренія въ трубопроводѣ) съ соотвѣтствующей высотѣ напора H абсолютной скоростью $c_e = \sqrt{2gH}$. Если колесо движется со скоростью на окружности $v = {}^1/_2 c_e$, то относительная скорость водяной струи на лопаткахъ $w_e = c_e - v = {}^1/_2 c_e$

НТБ ДНУЗТ

Если сдѣлать достаточно малымъ уголъ, образуемый относительною скоростью при выходѣ воды со скоростью на окружности, то абсолютная скорость выхода c_a будетъ также очень мала и коэффиціентъ полезнаго дѣйствія будетъ большой.

Струя, выходящая изъ насадки, должна встрѣчать ребра лопатокъ по возможности подъ прямымъ угломъ. Ширина лопатокъ по направленію оси $b = 5\,d$ до $8\,d$, если d діаметръ отверстія конуса (d опредѣляется изъ уравненія $0{,}95 \cdot {}^1/_4 \pi d^2 = Q : c_e$; Q см. стр. 743). Чтобы не получить очень широкихъ лопатокъ и большихъ діаметровъ конусовъ, при большомъ расходѣ воды располагаютъ по окружности нѣсколько конусовъ. Діаметръ колеса и число лопатокъ опредѣляются по полезной высотѣ напора H и требуемому числу оборотовъ колеса въ минуту n. Если r разстояніе средней струи воды отъ оси вращенія, то имѣемъ:

$$v = \frac{2\pi r n}{60} = 0{,}44 \sqrt{2gH} \text{ до } 0{,}46 \sqrt{2gH}.$$

Колесо Пельтона примѣняется преимущественно для небольшихъ количествъ воды при большой высотѣ напора (18 до 500 m). При большомъ напорѣ слѣдуетъ, вслѣдствіе значительной скорости на окружности, обращать особенное вниманіе на прочное прикрѣпленіе лопатокъ къ (обыкновенно сплошному) диску колеса, на тщательное уравновѣшеніе колеса и надежную смазку подшипниковъ. Регулировка производится суженіемъ отверстія конуса помощью вставленнаго въ него сзади коническаго стержня. Въ случаѣ продолжительнаго измѣненія расхода воды, при нѣсколькихъ конусахъ, выключаютъ часть ихъ или навинчиваютъ другой наконечникъ большаго или меньшаго діаметра. Конуса и лопатки для не очень большихъ колесъ изготовляются изъ бронзы. Общій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta = 0{,}70$ до $0{,}85$, въ среднемъ $\eta = 0{,}75$.

Колеса Пельтона

завода Брейеръ и К⁰ въ Гехстѣ (Майнъ).

№ колеса.	1	2	3	4	5	6
Радіусъ колеса r въ mm . . .	65	97	130	195	260	345
Діаметръ конуса d въ mm . .	4—8	7—11,5	10—15	14—23	21—30	28—40
n_{max} (при $H = 300$ m) . . .	4925	3298	2462	1641	1231	927
Діам. подводящей трубы въ mm .	25	40	60	80	100	125
$N_e = \eta N$ (при $H = 300$ m) въ лош. с.	2,8—11	8—23	18—40	35—95	79—162	142—288

B. Турбины *).

Обозначенія:

Q, H, N, N_n, η, g имѣютъ тѣ же значенія, что и въ вертикальныхъ водяныхъ колесахъ, см. стр. 743 и 744,

*) По К. Баху, Die Wasserräder, 1886, I часть.

НТБ ДНУЗТ

c средняя скорость, съ которой вода поступаетъ изъ папра-вляющаго колеса, въ m въ сек.,

c_e средняя абсолютная скорость, съ которой вода вступаетъ въ турбинное колесо, въ m въ сек.,

c_a средняя абсолютная скорость, съ которой вода выходитъ изъ турбиннаго колеса, въ m въ сек.,

n число оборотовъ турбиннаго колеса въ минуту,

$\omega = \pi n : 30$ угловая скорость турбиннаго колеса (см. стр. 151),

r_e радіусъ турбиннаго колеса, въ мѣстѣ вступленія воды, въ m,

r_a радіусъ турбиннаго колеса, въ мѣстѣ выхода воды, въ m,

$v_e = \omega r_e$ скорость на окружности турбиннаго колеса, въ мѣстѣ вступленія воды, въ m въ сек.,

$v_a = \omega r_a$ скорость на окружности турбиннаго колеса, въ мѣстѣ выхода воды, въ m въ сек.,

w_e средняя относительная скорость воды при вступленіи въ турбинное колесо, т.-е. равнодѣйствующая c_e и—v_e, въ m въ сек.,

w_a средняя относительная скорость при выходѣ воды изъ турбиннаго колеса, т.-е. равнодѣйствующая c_a и—v_a, въ m въ сек.,

[Скорости c, c_e, c_a, r_e и r_a относятся къ центрамъ тяжести сѣченій водяной струи, скорости v_e и v_a — къ точкамъ вступленія и выхода средней струи воды, соотвѣтственно разстояніямъ r_e и r_a отъ оси.]

α уголъ, образуемый v_e и c_e; этотъ уголъ = углу, образуемому v_e и c, если предположить, что впускъ воды происходитъ безъ удара,

β уголъ, образуемый v_e и w_e,

γ уголъ, образуемый—v_a и w_a,

H_e разность горизонтовъ воды, вступающей въ турбинное колесо, и низовой воды; приблизительно величина H_e представляетъ также и разность горизонтовъ воды, выходящей изъ направляющаго колеса, и уровня низовой воды, въ m,

H_r высота, на которую происходитъ пониженіе горизонта воды послѣ прохода ея черезъ турбину, въ m,

h_c гидравлическій избытокъ давленія въ сѣченіи, по которому вступаетъ вода въ турбинное колесо, въ m водяного столба,

h давленіе въ m водяного столба, въ мѣстѣ вступленія воды въ турбинное колесо для увеличенія его относительной скорости w_e; этимъ давленіемъ преодолѣваются также сопротивленія движенію въ турбинномъ колесѣ, равно какъ и центробѣжная сила,

η_h гидравлическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, такъ что $\eta_h H$ представляетъ работу, передаваемую однимъ kg воды турбинному колесу,

b_1 ширина направляющаго колеса въ мѣстѣ выхода воды, въ m,

b_2 ширина турбины въ мѣстѣ вступленія воды, въ m,

b_3 ширина турбины въ мѣстѣ выхода воды, въ m,

НТБ ДНУЗТ

Z_1 число лопатокъ направляющаго колеса,
Z_2 число лопатокъ турбиннаго колеса.

Турбины раздѣляются на:

1. **Осевыя и радіальныя**, смотря по тому, протекаетъ ли вода по лопаткамъ турбиннаго колеса преимущественно въ осевомъ или радіальномъ направленіи. Плоскость, опредѣляемая скоростями c_e и v_e, въ осевыхъ турбинахъ параллельна оси турбины, въ радіальныхъ ей перпендикулярна.

2. Въ зависимости отъ того, подводится ли вода съ наружней или внутренней стороны, радіальныя турбины бываютъ **внѣшнія** или **внутреннія радіальныя турбины.**

3. **Полныя и партіальныя** — въ зависимости отъ того, вступаетъ ли вода по всей окружности или только на нѣкоторой ея части.

4. **Реактивныя** (съ избыткомъ давленія) и **активныя**—въ зависимости отъ того, имѣется ли при вступленіи воды въ турбинное колесо давленіе, вліяющее на увеличеніе относительной скорости, или давленія этого нѣтъ.

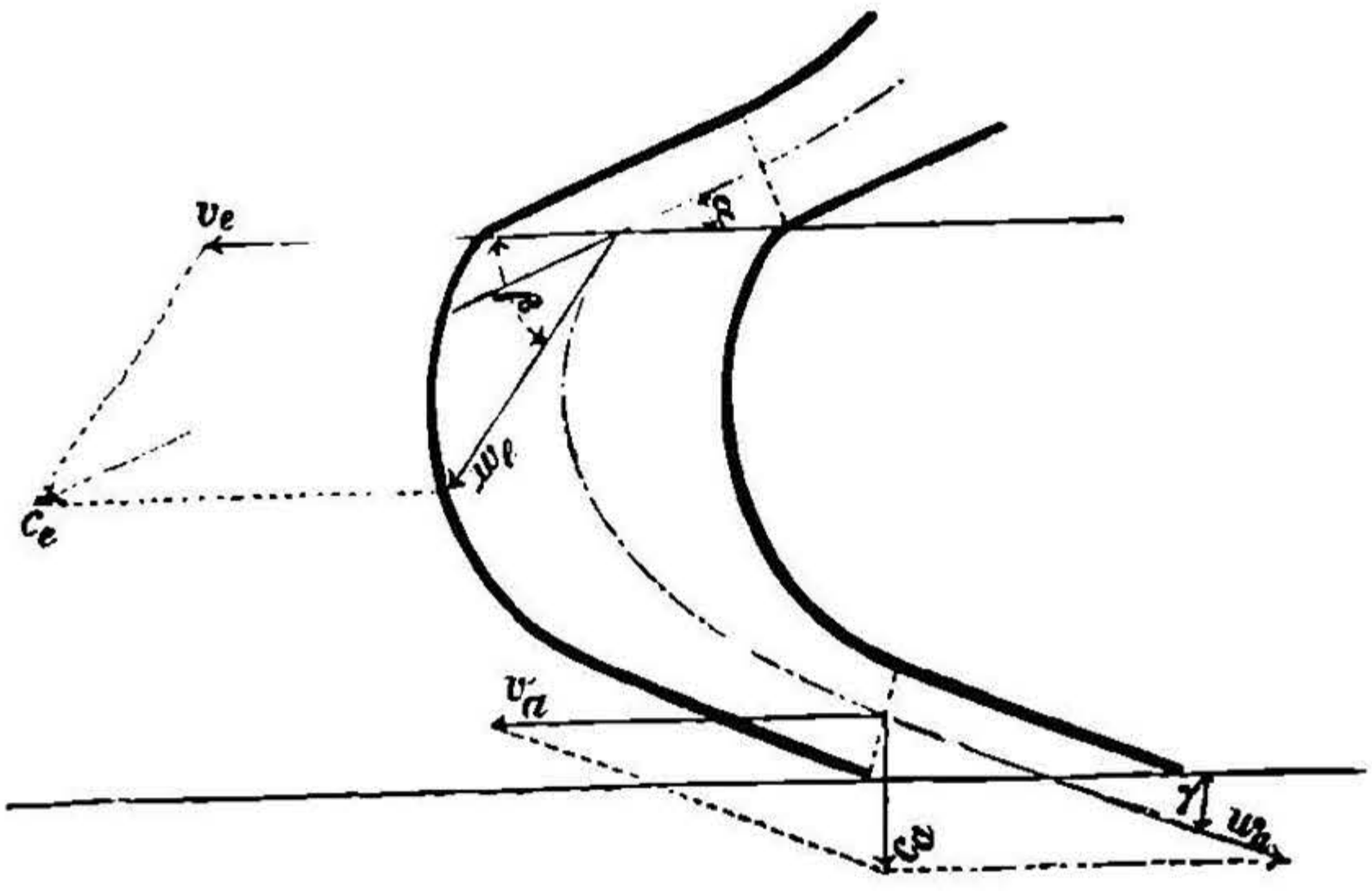
Активныя турбины распадаются на 2 группы: **предѣльныя**. т.-е. такія, въ которыхъ пространство между лопатками турбиннаго колеса совершенно тождественно съ формой вступающей массы воды (несвободная струя), и **струйныя**, въ которыхъ вступающая струя воды соприкасается только съ одной стѣнкой канала (съ полой) турбиннаго колеса, а съ другой стороны имѣетъ свободный выходъ.

a. Осевыя реактивныя турбины.

Полагая, что c_a перпендикулярна къ v_a, т.-е., что $w_a \cos\gamma = v_a$ (черт. 618), имѣемъ слѣдующее **основное уравненіе**:

$$c_c v_e \cos\alpha = g\eta_h H \qquad 1)$$

Черт. 618.



Примѣчаніе. Это уравненіе получается слѣд. образомъ. Работа $\eta_h H$, передаваемая 1 kg воды на турбинное колесо, получается вслѣдствіе:

НТБ ДНУЗТ

1) разницы живой силы въ мѣстѣ входа и выхода воды

$$= \frac{c_e^2 - c_a^2}{2g};$$

2) измѣненія давленія по причинѣ измѣненія относительной скорости воды

$$= \frac{w_a^2 - w_e^2}{2g} \text{ и}$$

3) измѣненія давленія отъ центробѣжной силы $\frac{v_e^2 - v_a^2}{2g}$; поэтому имѣемъ:

$$\eta_h H = [c_e^2 - c_a^2 + w_a^2 - w_e^2 + v_e^2 - v_a^2] : 2g \text{ или}$$

$$c_e^2 - c_a^2 + w_a^2 - w_e^2 + v_e^2 - v_a^2 = 2g\eta_h H.$$

По черт. 618 имѣемъ:

$$c_a^2 = w_a^2 - v_a^2; \qquad w_e^2 = c_e^2 + v_e^2 - 2c_e v_e \cos\alpha;$$

слѣд.: $c_e^2 - (w_a^2 - v_a^2) + w_a^2 - (c_e^2 + v_e^2 - 2c_e v_e \cos\alpha) + v_e^2 - v_a^2 = 2g\eta_h H,$

т.-е. $c_e v_e \cos\alpha = g\eta_h H.$

Присоединимъ сюда **условіе вступленія воды безъ удара** (черт. 618):

$$c_e : v_e : w_e = \sin\beta : \sin(\beta - \alpha) : \sin\alpha . \qquad 2)$$

Изъ 2): $c_e = v_e \frac{\sin\beta}{\sin(\beta - \alpha)}$, $\qquad v_e = c_e \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta}$, $\qquad 3)$

$$w_e = v_e \frac{\sin\alpha}{\sin(\beta - \alpha)};$$

вслѣдствіе чего, изъ 1) и 3):

$$c_e = \sqrt{g\eta_h H \frac{\sin\beta}{\sin(\beta - \alpha)\cos\alpha}} \qquad 4)$$

$$v_e = \sqrt{g\eta_h H \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta\cos\alpha}} = \sqrt{g\eta_h H.}\sqrt{1 - \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta}}.$$

v_e наиболѣе благопріятная для спокойнаго хода и нормальнаго выхода воды скорость на окружности турбиннаго колеса.

Для угловъ α, β, γ (черт. 618) имѣемъ соотношеніе:

$$\operatorname{ctg}\alpha = \operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\gamma.$$

Обыкновенно выбираютъ $\gamma = 20^0$ до 15^0 (большія величины при большихъ напорахъ и малыхъ количествахъ воды, меньшія величины при небольшихъ напорахъ и большихъ количествахъ воды).

Среднее значеніе угла $\beta = 90^0$; чѣмъ больше уголъ β, тѣмъ значительнѣе избытокъ давленія. Лучше всего выбрать β и γ такъ, чтобы $\alpha = 15$ до 25^0. При $\beta = 90^0$ имѣемъ:

$$\alpha = \gamma, \quad c_e = \sqrt{g\eta_h H}\frac{1}{\cos\alpha} \text{ и } v_e = \sqrt{g\eta_h H}, \qquad 5)$$

гдѣ $\eta_h = 0{,}80$ до $0{,}85$, слѣд. $\sqrt{\eta_h} \sim 0{,}90$ до $0{,}92$.

Приблизительное значеніе средняго **діаметра** колеса D (въ m) для предварительныхъ разсчетовъ:

$$D = 2\sqrt{\frac{Q}{c_e}} \text{ до } 4\sqrt{\frac{Q}{c_e}}.$$

Толщина лопатокъ s_0: желѣзныхъ или стальныхъ $s_0 = 4$ до 8 mm, чугунныхъ $s_0 = 6$ до 14 mm и больше.

НТБ ДНУЗТ

Разстояніе между **лопатками** t (въ m), измѣренное по окружности πD:

$$t = 0{,}15\sqrt{D}\,.$$

Число лопатокъ: $$Z = \frac{\pi D}{t} \sim 21\sqrt{D}.$$

Числа лопатокъ и разстоянія между ними связаны уравненіемъ:

$$Z_1 t_1 = Z_2 t_2 = \pi D.$$

Если ребро лопатокъ въ самомъ зазорѣ направлено по радіусу, то одно изъ колесъ снабжается бо́льшимъ числомъ лопатокъ, чѣмъ другое. До извѣстнаго предѣла направленіе воды тѣмъ болѣе совершенно, чѣмъ больше число лопатокъ; но, съ другой стороны, съ увеличеніемъ числа лопатокъ увеличиваются и сопротивленія движенію.

Высота колесъ предварительно можетъ быть принята равной разстоянію t между лопатками. Слѣдуетъ избѣгать сильныхъ искривленій лопатокъ.

Высота зазора должна быть по возможности меньше: 1 до 4 mm; она зависитъ отъ размѣровъ турбины и иныхъ условій.

Ширина выпускныхъ отверстій (направляющаго) колеса, разстояніе между лопатками котораго равно t_1, опредѣляется по:

$$s_1 = t_1 \sin\alpha - s_0.$$

Лопатки турбиннаго колеса производятъ **суженіе** этихъ отверстій, причемъ:

$$s_1' = s_0\left(\sin\alpha - \frac{s_0}{t_1}\right) \text{ или } s_1' \sim s_0\frac{\sin\alpha}{\sin\beta},$$

такъ что **ширина направляющаго колеса** въ мѣстѣ выхода воды:

$$b_1 = \frac{Q}{(s_1 - s_1')\,c_e\,Z_1}.$$

если коэффиціентъ сжатія $= 1$.

Ширина турбиннаго колеса въ мѣстѣ впуска и выхода воды:

$$b_2 = b_1 + 0{,}004 \text{ до } b_1 + 0{,}010 \text{ m и } b_3 \geqq b_2.$$

Давленіе при впускѣ: $$\mathfrak{h} = H - \frac{c_e^2}{2g}(1 + \zeta_1 + \zeta_2);$$

откуда:

$$h_e = \mathfrak{h} - H_e = H - H_e - (1 + \zeta_1 + \zeta_2)\frac{c_e^2}{2g};$$

$$\frac{w_a^2}{2g} = \frac{w_e^2}{2g} + \mathfrak{h} - \zeta_3\frac{w_a^2}{2g};\quad w_a = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_3}}\sqrt{w_e^2 + 2g\mathfrak{h}};$$

$$\zeta_1 = \zeta_3 = 0{,}1 \text{ до } 0{,}12; \quad \zeta_2 = 0{,}06 \text{ до } 0{,}08.$$

Требуемая **ширина s_2 выпускныхъ каналовъ** турбиннаго колеса:

$$s_2 = \frac{Q}{w_a Z_2 b_3},$$

если форма лопатокъ такова, что коэффиціентъ сжатія $= 1$. Если

НТБ ДНУЗТ

турбинное колесо уширяется книзу, то вмѣсто вышеприведенной величины b_2 слѣдуетъ вставить соотвѣтствующую бо̀льшую.

Число лопатокъ турбиннаго колеса Z_2 опредѣляется изъ:

$$\frac{Q}{w_a} = (\pi D \sin\gamma - Z_2 s_0) b_2, \quad \text{ибо} \quad \sin\gamma = \frac{s_2 + s_0}{t_2}.$$

Для того, чтобы найденныя величины были пригодны, необходимо, чтобы въ параллелограммѣ скоростей величина c_a для точки выхода была почти перпендикулярна къ v_a и была не слишкомъ велика; въ противномъ случаѣ, слѣдуетъ соотвѣтственно измѣнить сдѣланныя предположенія и повторить разсчетъ.

Если на основаніи вышеупомянутыхъ предположеній не можетъ быть достигнута удовлетворительная **форма лопатокъ**, то слѣдуетъ измѣнять высоту колеса или разстояніе между лопатками до тѣхъ поръ, пока не получится удовлетворительное направленіе воды и форма лопатокъ, соотвѣтствующая наименьшему сопротивленію при движеніи. Для выясненія закона, по которому происходитъ отклоненіе водяной струи въ пространствѣ, надо найти абсолютное движеніе воды по отпосительному, зависящему отъ формы лопатокъ.

Если лопатки искривлены по винтовой поверхности, образующая которой перпендикулярна къ оси турбины, а направляющая есть средняя профиль лопатки, то впускъ и выпускъ воды происходитъ только въ срединѣ; внутри происходитъ ударъ о лопатки, а снаружи происходитъ обратный ударъ о воду.

Потеря работы при выходѣ на 1 kg равна $c_a^2 : 2g$ только въ срединѣ и увеличивается отъ средины какъ вовнутрь, такъ и наружу. Для того, чтобы по возможности уменьшить эти потери при данной формѣ лопатокъ, ширина колеса не должна быть слишкомъ велика: b_1 принимается около 0,1 D до 0,2 D.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія η турбины получается опредѣленіемъ гидравлическихъ потерь вслѣдствіе сопротивленій, которыя могутъ быть приняты равными:

$$\frac{c_1^2}{2g} - (\zeta_1 + \zeta_2)\frac{c_e^2}{2g} + \zeta_3 \frac{w_a^2}{2g} + \frac{c_a^2}{2g} = (1 - \eta_h) H,$$

причемъ слѣдуетъ имѣть въ виду, что потеря работы отъ тренія цапфъ въ подшипникахъ, тренія колеса въ водѣ, равно какъ отъ потери воды черезъ зазоры и, вообще, вслѣдствіе иныхъ несовершенствъ устройства, не должна превосходить 5 до 10% отъ N.

$$\eta = \eta_h - 0{,}05 \quad \text{до} \quad \eta_h - 0{,}10 = 0{,}8 \text{ до } 0{,}7.$$

b. Осевыя активныя турбины.

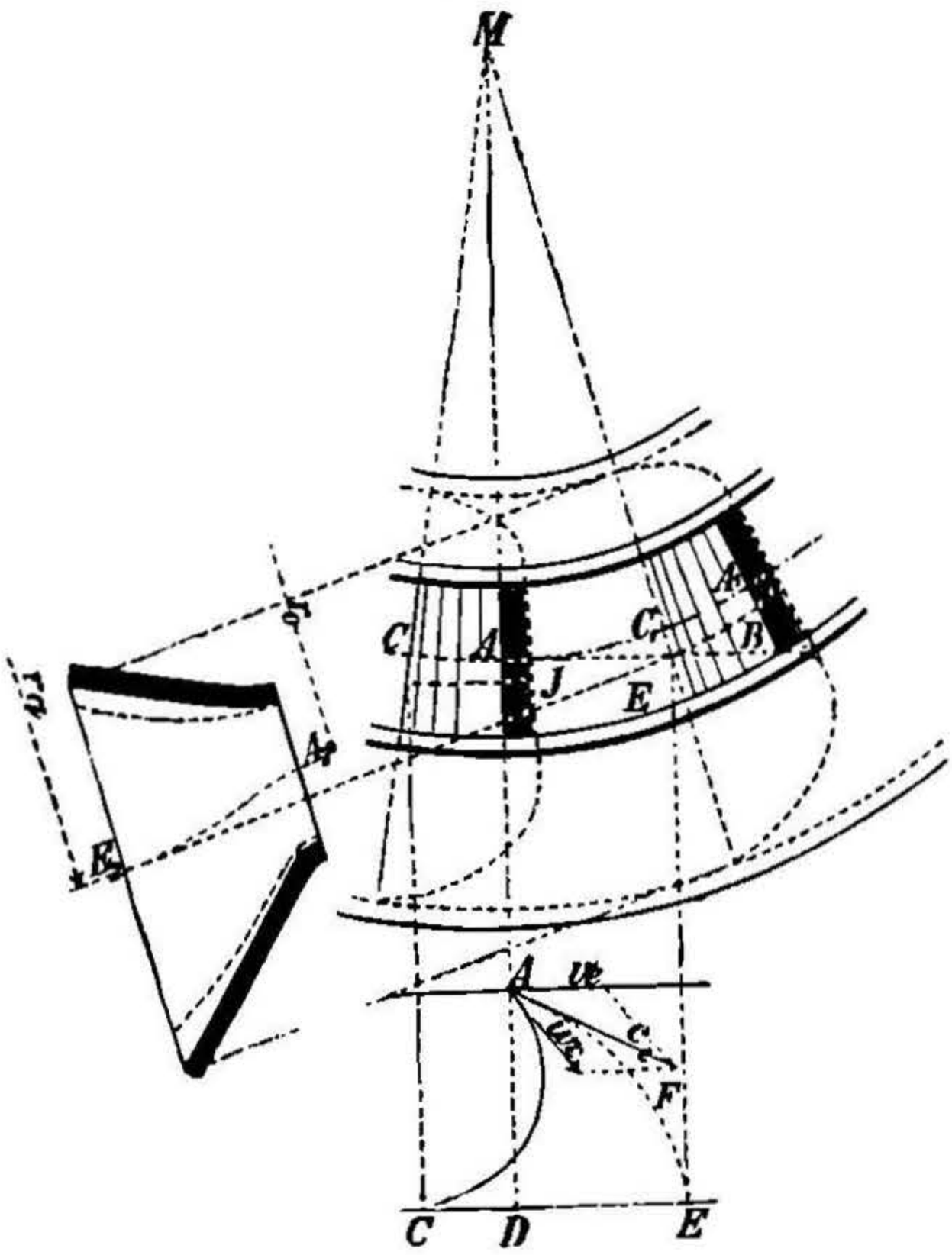
1. Струйныя активныя турбины.

Частица воды, встрѣчая въ A (черт. 619) турбинное колесо съ абсолютною скоростью c_e и относительною w_e, стремится оставаться въ касательной плоскости AB, если пренебречь вліяніемъ

НТБ ДНУЗТ

тренія между лопаткой и частицей воды, а также и тѣмъ обстоятельствомъ, что обратное давленіе лопатки на воду можетъ дать слагающую, имѣющую стремленіе оклонить частицу воды отъ плоскости AB.

Черт. 619.



Внутри колеса частица воды описываетъ абсолютный путь AFE во время t и выходитъ въ точкѣ E. Точки A и C лопатки въ это время перемѣстились соотвѣтственно въ точки A_1 и C_1, такъ что $AA_1 = CC_1 = vt \gtrsim CE$. Частица воды, вступившая у A въ разстояніи $MA = r_e$, выходитъ изъ турбиннаго колеса въ разстояніи

$$ME = MC_1 + C_1E = MA + C_1E = r_a.$$

Симметричное поперечное сѣченіе обода, какъ на черт. 620 или 621 имѣетъ слишкомъ большую ширину вовнутрь; раціональнѣе поэтому дѣлать сѣченіе обода колеса одностороннимъ, какъ на черт. 619.

Чтобы уменьшить отклоненіе C_1E, Мейснеръ*) предлагаетъ устанавливать лопатки, искривленныя по цилиндрической поверхности, косо и именно такъ, чтобы уголъ $\alpha =$ углу AEJ (черт. 619) и чтобы ребра лопатокъ были параллельны. Принято также искривлять лопатки не по цилиндрической поверхности, довольствуясь менѣе косой установкой лопатокъ, которыя тогда начинаются только ниже ребра впускного отверстія.

Колеса, расширяющіяся съ одной стороны наружу, могутъ имѣть ободъ нѣсколько уже, соотвѣтственно отклоненію C_1E (черт. 619).

Скорость вступленія воды, скорость на окружности и относительная скорость опредѣляются по:

$$c_e = 0{,}92\sqrt{2\,g\,(H - H_e)},$$

$$v_e = c_e\frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta} \quad \text{и} \quad w_e = v_e\frac{\sin\alpha}{\sin(\beta - \alpha)}.$$

*) См. К. Бахъ, Die Wasserräder, стр. 100, черт. 6.

НТБ ДНУЗТ

Уголъ α обыкновенно находится въ предѣлахъ отъ 12 до 30°; онъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше напоръ и чѣмъ меньше расходъ воды.

β для предварительныхъ разсчетовъ (впослѣдствіи β можно измѣнить) можетъ быть принято $= 2\alpha$, отчего:

$$v_e = \frac{c_e}{2\cos\alpha}; \qquad w_e = v_e; \qquad v_a = v_e \frac{r_a}{r_e}.$$

Средній діаметръ колеса полной турбины принимается:

$$D = 2{,}8\sqrt{\frac{Q}{c_e}} \text{ до } 4{,}4\sqrt{\frac{Q}{c_e}}.$$

При небольшихъ напорахъ и значительномъ количествѣ воды надо принимать величины близкія къ первому значенію D; при большихъ напорахъ и незначительномъ количествѣ воды—ко второму; въ крайнемъ случаѣ D можетъ быть принято и больше.

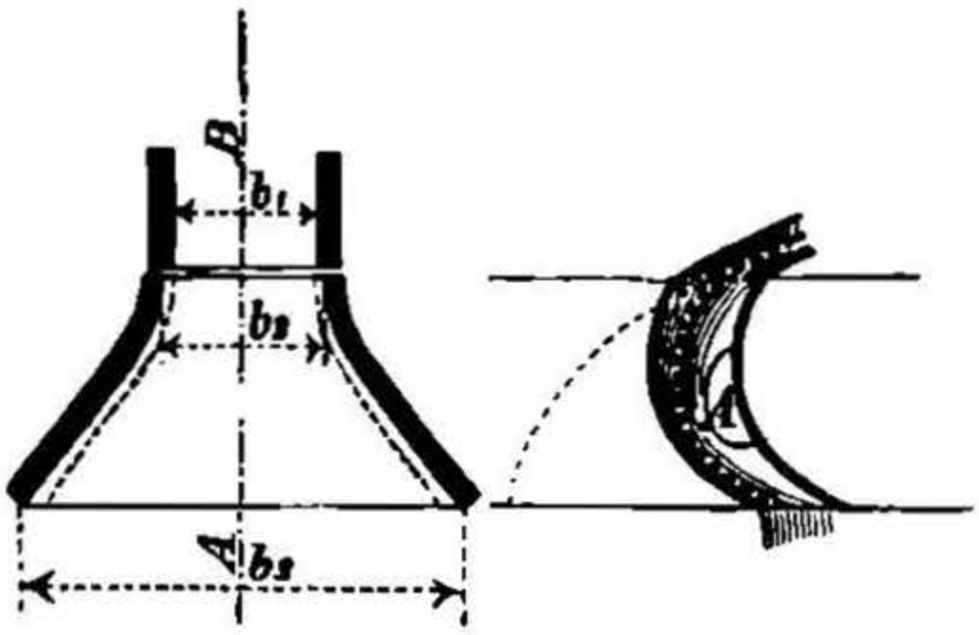
Для партіальныхъ турбинъ D принимается больше; тогда необходимо слѣдить за тѣмъ, чтобы при очень большихъ напорахъ число оборотовъ n не выходило слишкомъ большимъ.

Толщина лопатокъ s_0 та же, что и въ реактивныхъ турбинахъ (см. стр. 761). Въ партіальныхъ турбинахъ толщина лопатокъ уменьшается до 2 mm.

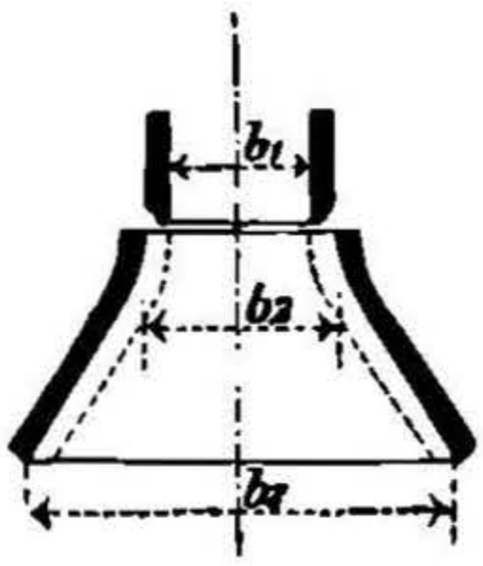
Разстояніе между лопатками: $t = {}^1/_{24}\, D$ до ${}^1/_{15}\, D$.

Въ струйныхъ партіальныхъ турбинахъ t доходитъ до 0,04 m при большихъ напорахъ.

Черт. 620.



Черт. 621.



Требуемая **высота направляющаго и турбиннаго** колесъ опредѣляется по формѣ лопатокъ; для перваго приближенія высота перваго принимается $0{,}07\, D$, а второго $0{,}1\, D$.

Ширина b_1 направляющаго колеса опредѣляется такъ же, какъ и въ реактивныхъ турбинахъ (см. стр. 762).

$b_2 = b_1 + 0{,}006$ до $b_1 + 0{,}020$ m (черт. 620);

$b_2 = 1{,}25\, b_1$ до $1{,}5\, b_1$ и больше (черт. 621).

Существующія турбины съ симметричнымъ сѣченіемъ обода (черт. 620 или 621), имѣютъ: $b_3 = 2{,}5\, b_1$ до $4\, b_1$.

Относительная скорость при выходѣ:

$$w_a = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_3}}\sqrt{w_e^2 + 2\,g\,H_r + v_a^2 - v_e^2},$$

$$\frac{1}{\sqrt{1+\zeta_3}} = 0{,}96 \text{ въ среднемъ.}$$

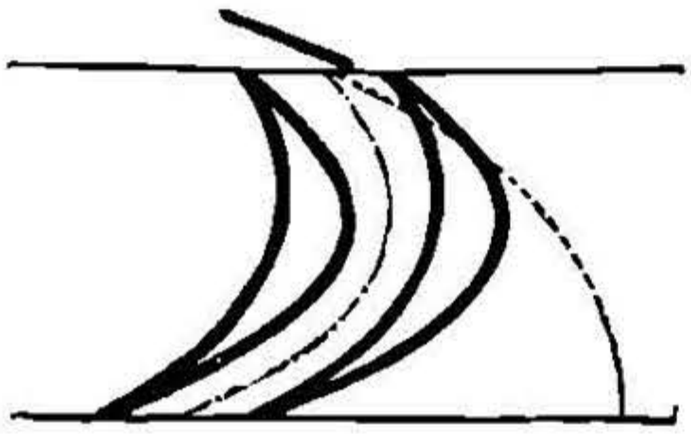
НТБ ДНУЗТ

Уголъ γ приблизительно $= \alpha$; во всякомъ случаѣ γ не должненъ быть настолько малъ, чтобы при выходѣ происходило слишкомъ сильное (вынужденное) уменьшеніе толщины и увеличеніе ширины струи.

Въ остальномъ къ этимъ турбинамъ относится все сказанное въ **a.**

2. Предѣльныя активныя турбины.

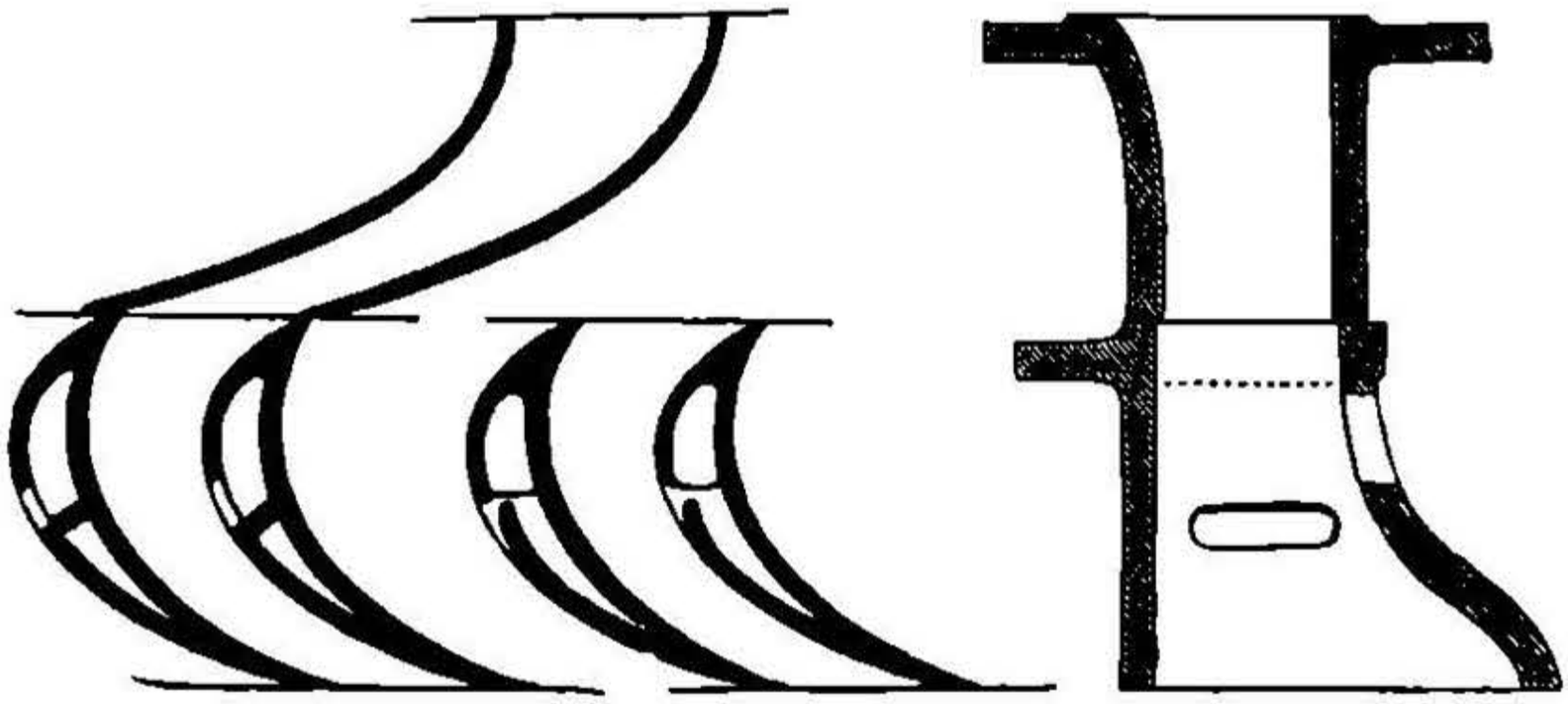
Черт. 622.



Примѣнимы при сильно колеблющемся уровнѣ низовой воды. Сѣченіе каналовъ турбиннаго колеса должно измѣняться такъ, чтобы произведеніе изъ поперечнаго сѣченія канала на относительную скорость было постоянно. Съ этой цѣлью употребляются лопатки съ перемѣнной толщиной стѣнокъ, какъ показано на черт. 622 и 623.

При разсчетѣ и конструированіи надо руководствоваться вышеприведенными указаніями (стр. 763 и слѣд.).

Черт. 623.



c. Радіальныя турбины съ притокомъ воды извнѣ.

Къ этимъ турбинамъ относятся также уравненія 1) до 5) стр. 760 и 761, причемъ можно принимать:

$$\sqrt{\eta_h} = 0{,}91 \text{ до } 0{,}93 \quad \text{и} \quad \alpha = 15^0 \text{ до } 24^0$$

Среднее значеніе $\beta = 90^0$.

Для опредѣленія угла γ служитъ уравненіе:

$$\operatorname{ctg}\gamma = \left(\frac{r_a}{r_e}\right)^2 \frac{b_3}{b_2}(\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{ctg}\beta);$$

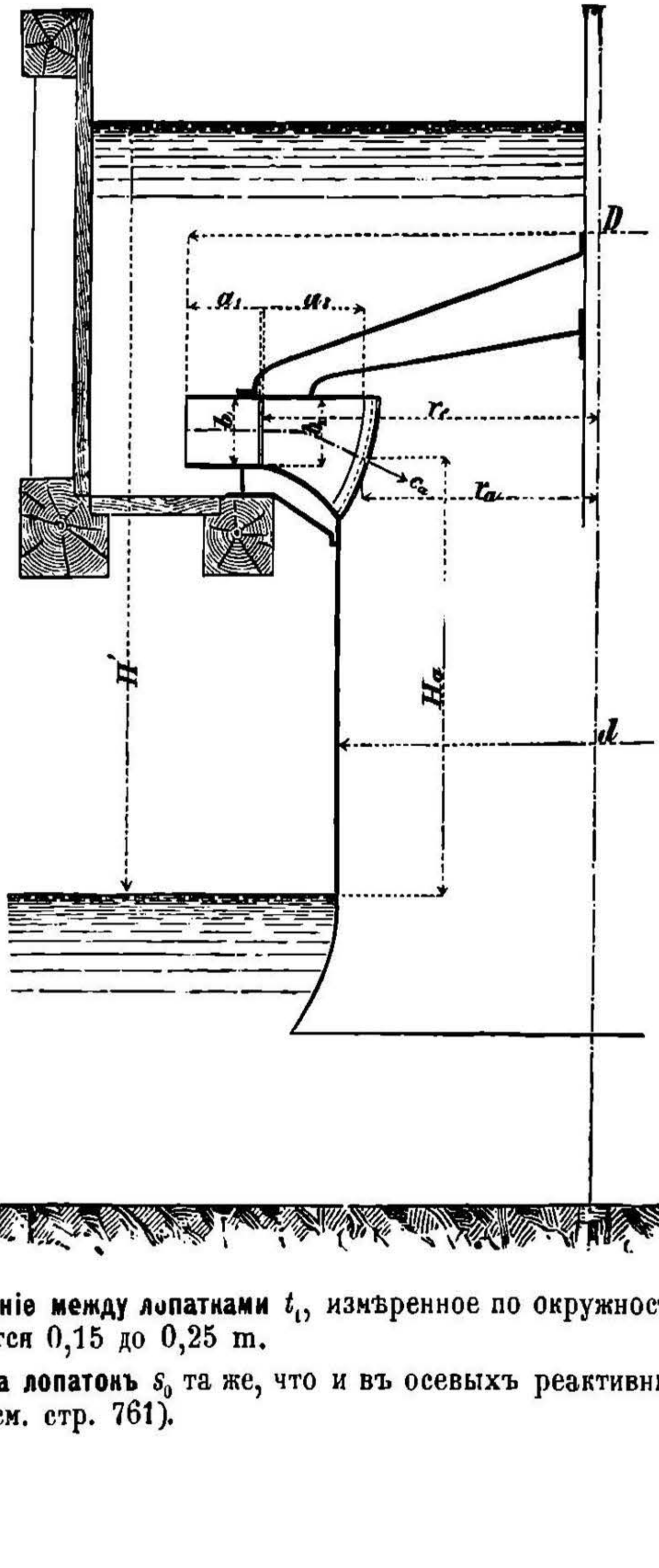
во всякомъ случаѣ $\gamma < 20^0$. Кромѣ того, уголъ γ долженъ удовлетворять условію $v_a = w_a \cos\gamma$, по крайней мѣрѣ, приблизительно.

Исходя изъ діаметра d **отводной трубы**, (черт. 624), который въ среднемъ принимается: $d = 0{,}8\sqrt{Q}$ до $1{,}1\sqrt{Q}$ (соотв. скорости

НТБ ДНУЗТ

воды ~ 2 до 1 m въ сек.), опредѣляютъ сначала приблизительно $2 r_e = 1{,}4\, d$ до $1{,}5\, d$; эти числа вводятся въ предварительный разсчетъ, а впослѣдствіи, въ случаѣ надобности, они должны быть измѣнены.

Черт. 624.



Разстояніе между лопатками t_1, измѣренное по окружности $2\pi r_e$, принимается 0,15 до 0,25 m.

Толщина лопатокъ s_0 та же, что и въ осевыхъ реактивныхъ турбинахъ (см. стр. 761).

НТБ ДНУЗТ

По ширинѣ оконъ въ направляющемъ колесѣ $s_1 = t_1 \sin\alpha - s_0$ и ихъ суженію, вслѣдствіе прохода лопатокъ турбины, равному

$$s_1' = s_0\left(\sin\alpha - \frac{s_0}{t_1}\right) \quad \text{или} \quad s_1' \backsim s_0 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta},$$

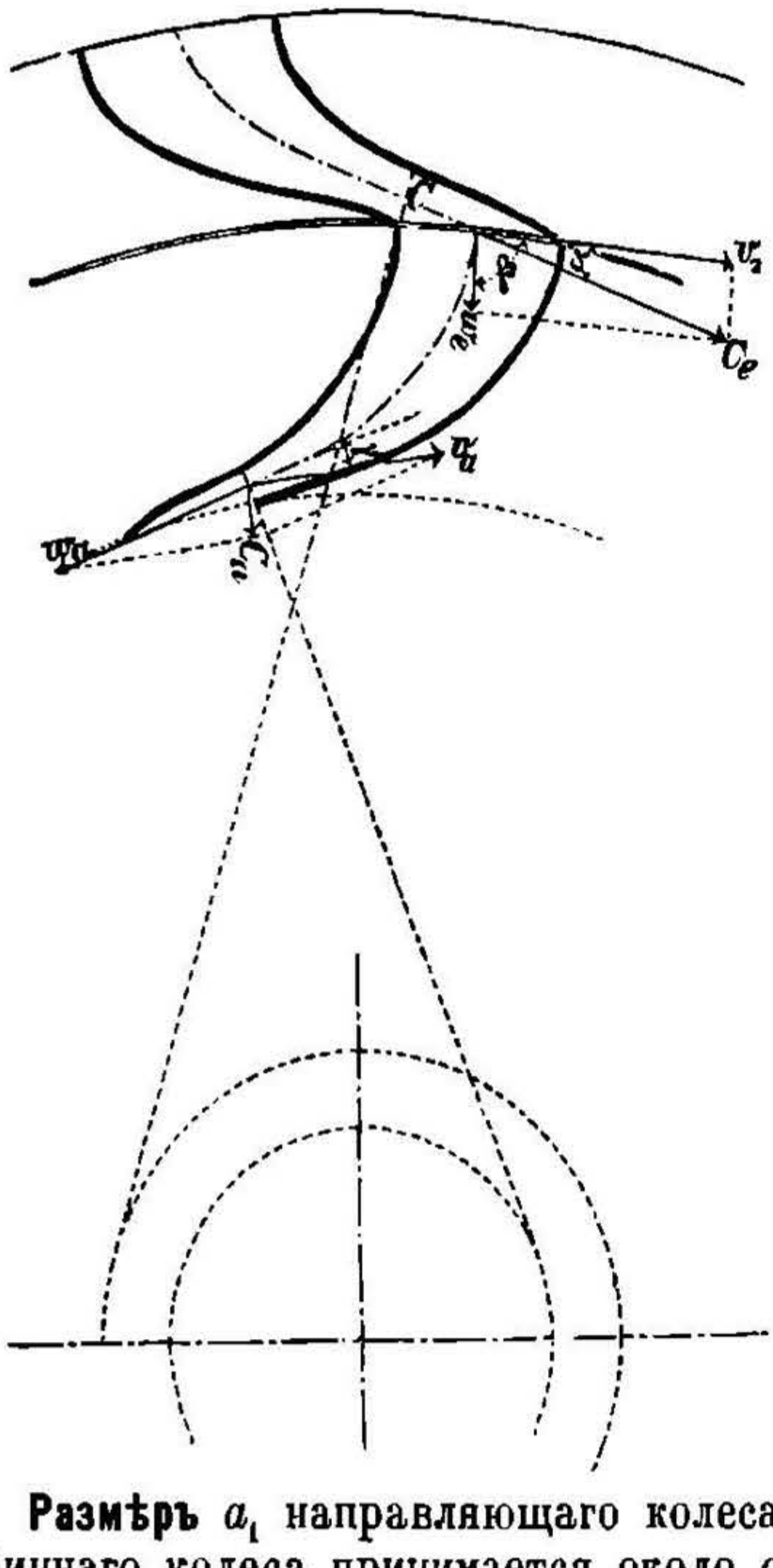
находится **ширина (высота) направляющаго колеса** b_1:

$$b_1 = \frac{Q}{(s_1 - s_1')\, c_e\, Z_1}.$$

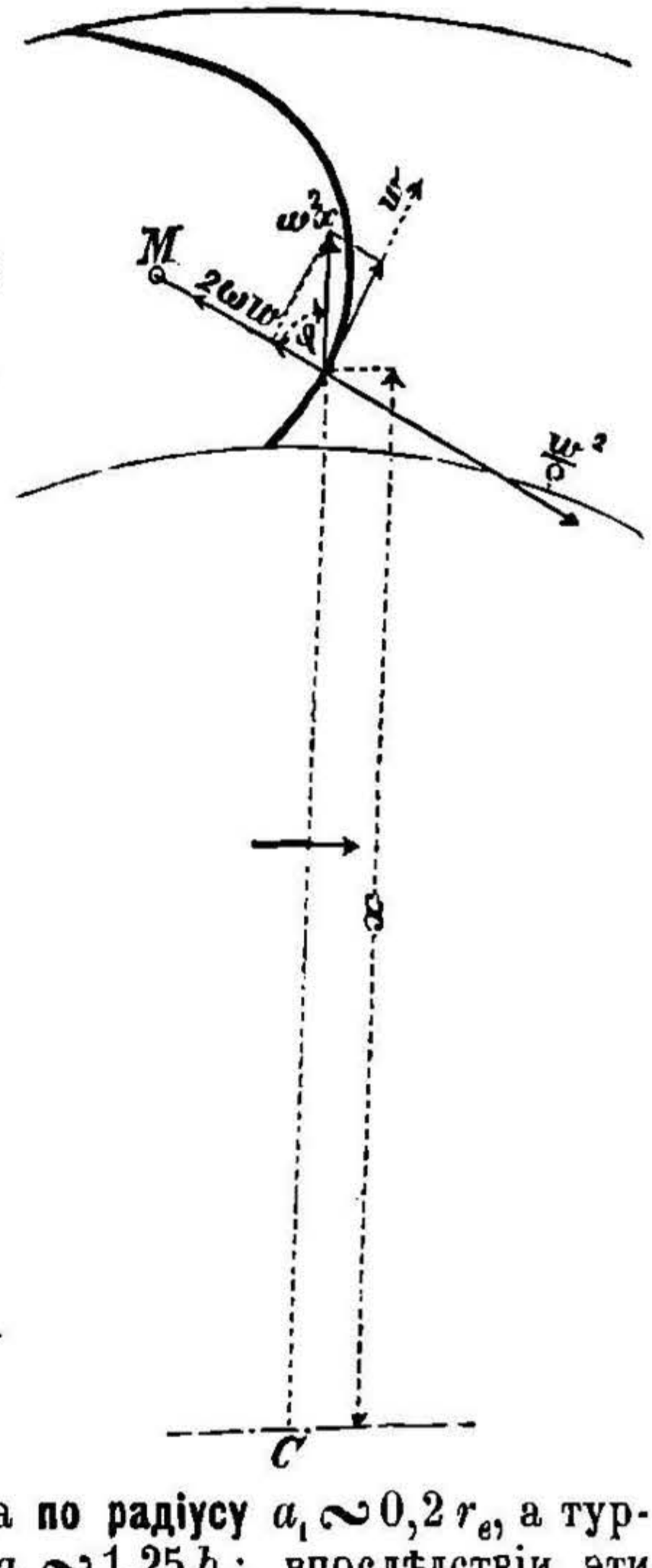
Затѣмъ **ширина (высота) турбиннаго колеса** b_2 принимается:

$$b_2 = b_1 + 0{,}004 \quad \text{до} \quad b_1 + 0{,}010 \text{ m}.$$

Черт. 625.



Черт. 626.



Размѣръ a_1 направляющаго колеса **по радіусу** $a_1 \backsim 0{,}2\, r_e$, а турбиннаго колеса принимается около $a_2 \backsim 1{,}25\, b_2$; впослѣдствіи эти размѣры могутъ быть нѣсколько измѣнены.

Послѣ того, какъ опредѣлены

$$r_a = r_e - a_2 \quad \text{и} \quad \mathfrak{h} = H - (1 + \zeta_1 + \zeta_2)\frac{c_e^2}{2g},$$

при $\zeta_1 = 0{,}10$ до $0{,}12$ и $\zeta_2 = 0{,}06$ до $0{,}08$, находимъ:

$$w_a = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_3}}\sqrt{w_e^2 + 2g\mathfrak{h} + v_a^2 - v_e^2}, \quad \text{причемъ } \zeta_3 = \zeta_1.$$

НТБ ДНУЗТ

Требуемая высота b_3 выходного поперечнаго сѣченія каналовъ турбиннаго колеса опредѣляется по:

$$b_3 = \frac{Q}{(t_2 \sin\gamma - s_0) Z_2 w_a}, \quad \text{гдѣ} \quad t_2 = \frac{2\pi r_a}{Z_2},$$

если форма лопатокъ такова, что коэффиціентъ сжатія $= 1$.

Чтобы избѣжать сжатія выходящей струи, слѣдуетъ **искривлять лопатки** по эвольвентамъ. При другой формѣ ихъ слѣдуетъ ввести въ разсчетъ соотвѣтственный коэффиціентъ сжатія.

При изображеніи лопатокъ на чертежѣ будетъ видно, надо ли сдѣлать измѣненія въ величинахъ, принятыхъ для предварительнаго разсчета, или нѣтъ.

d. Радіальныя турбины съ притокомъ воды изнутри.

Къ этимъ турбинамъ примѣнимы тѣ же основныя уравненія, что и при притокѣ воды извнѣ (см. с.), но $v_a > v_e$, $b_3 = b_2$ и $\sqrt{\eta_h}$ принимается для разсчетовъ $= 0{,}89$ до $0{,}91$. Конструкція и разсчетъ подчинены правиламъ, указаннымъ въ с.; въ нѣкоторыхъ случаяхъ надо исходить изъ діаметра приводной трубы.

Большая часть радіальныхъ турбинъ съ внутреннимъ направляющимъ колесомъ—струйныя партіальныя—строятся съ горизонтальной осью, съ цѣлью лучшей утилизаціи большого напора. **Скорость на окружности** такихъ турбинъ **высокаго давленія** *) находится въ предѣлахъ:

$$v_e = 0{,}43\sqrt{2gH} \text{ и } v_e = 0{,}47\sqrt{2gH}.$$

Разсчетъ ведется на тѣхъ же началахъ, что и въ осевыхъ турбинахъ (см. стр. 763 и слѣд.).

Форма лопатокъ въ радіальныхъ струйныхъ турбинахъ должна быть такова, чтобы струя воды не отдѣлялась отъ полой поверхности лопатокъ (черт. 626), т.-е.:

$$\frac{w^2}{\varrho} - \omega^2 x \cos\varphi - 2\omega w > 0,$$

гдѣ w относительная скорость воды, ϱ радіусъ кривизны кривой лопатокъ въ разсматриваемой точкѣ.

C. Графическое построеніе турбинъ и центробѣжныхъ насосовъ **).

a. Общія данныя.

Классификацію турбинъ см. стр. 760 Пусть:

h полный имѣющійся напоръ, въ m,

c абсолютная, w—относительная скорость воды, въ m въ сек.,

---

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1882, стр. 366 и слѣд.

**) По Г. Герману, Die graphische Theorie der Turbinen und Kreiselpumpen; Berlin 1887.

НТБ ДНУЗТ

v скорость на окружности колеса, въ m въ сек.,

r радіусъ колеса въ m.

Указатель e или a при каждой изъ величинъ c, w, v и r указываетъ на то, что величина эта относится къ впуску или выходу воды.

α, β и γ—углы, подъ которыми наклонены къ направленію движенія: концы лопатокъ направляющаго колеса (α), начала лопатокъ турбиннаго колеса (β) и концы лопатокъ послѣдняго (γ),

Q количество расходуемой воды, въ cbm въ секунду,

$F_e = Q : c_e$ площадь впускныхъ отверстій въ qm,

$F_a = Q : c_a$ площадь выходныхъ отверстій въ qm,

c_a выбирается въ предѣлахъ $\sqrt{2g.0{,}05\,h}$ и $\sqrt{2g.0{,}08\,h}$ (соотвѣтственная потеря работы отъ 5 до 8%; таблицу величинъ $\sqrt{2gh}$ см. стр. 147),

h_w дѣйствительный напоръ въ m (h менѣе имѣющагося напора на величину $z =$ сопротивленію въ каналахъ; въ среднемъ можно принимать $z = 0{,}10\,h$ до $0{,}15\,h$, откуда $h_w\,h - z = 0{,}90\,h$ до $0{,}85\,h$),

$h_\rho = h_w - \frac{c_e^2}{2g}$ напоръ, соотвѣтствующій дѣйствію реакціи,

($h_\rho = 0$ въ активныхъ турбинахъ, $h_\rho > 0$ въ реактивныхъ турбинахъ),

$c_\rho = \sqrt{2gh_\rho}$ реактивная скорость въ m въ сек.,

$h_a = \frac{c_e^2}{2g} - \frac{c_a^2}{2g}$ напоръ, соотвѣтствующій активному дѣйствію, въ m,

$c_a = \sqrt{2gh_a}$ активная скорость въ m въ сек.,

$h_n = h_a + h_\rho = h_w - \frac{c_a^2}{2g}$ полезный напоръ въ m,

$c_n = \sqrt{2gh_n} = \sqrt{c_\rho^2 + c_a^2}$ полезная скорость въ m въ сек.,

$c_w = \sqrt{2gh_w}$ дѣйствительная скорость въ m въ сек.,

$\frac{h_\rho}{h_n} = \varkappa$ отношеніе, выражающее дѣйствіе реакціи (въ активныхъ турбинахъ $\varkappa = 0$, въ реактивныхъ $0 < \varkappa < 1$).

При условіяхъ „вступленія воды въ турбину безъ удара и выхода воды перпендикулярно къ направленію движенія колеса“ получаются нижеслѣдующія построенія. (Масштабъ выбирается произвольно).

b. Осевыя турбины.

1. Если $BA = c_e$ (черт. 627) представляетъ выбранную скорость вступленія воды по средней окружности, выпрямленной въ прямую $A_1 A_2$, то проведи $BE \parallel A_1 A_2$ и $DA \perp A_1 A_2$, получимъ:

$BC = v$ скорость колеса,

$CA = w_e$ относительную скорость при входѣ воды,

$DA = c_{ne}$ вертикальную слагающую послѣдней.

НТБ ДНУЗТ

Отложивъ затѣмъ $DE = BC = v$, получимъ для колеса съ параллельными ободьями:

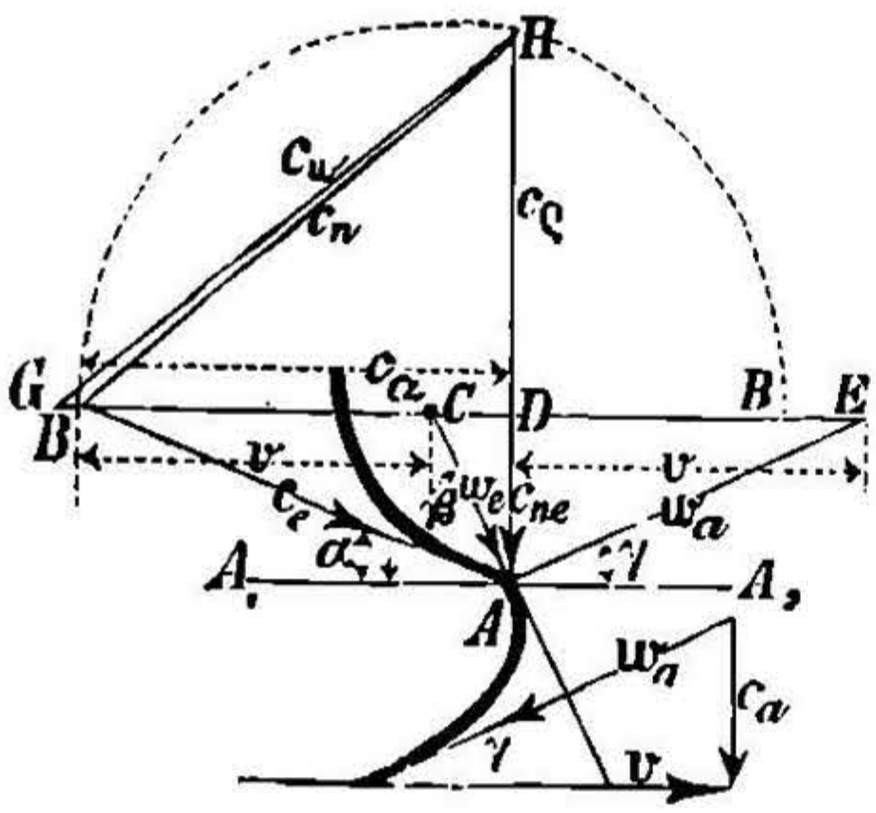
$EA = w_a$ относительную скорость при выходѣ,

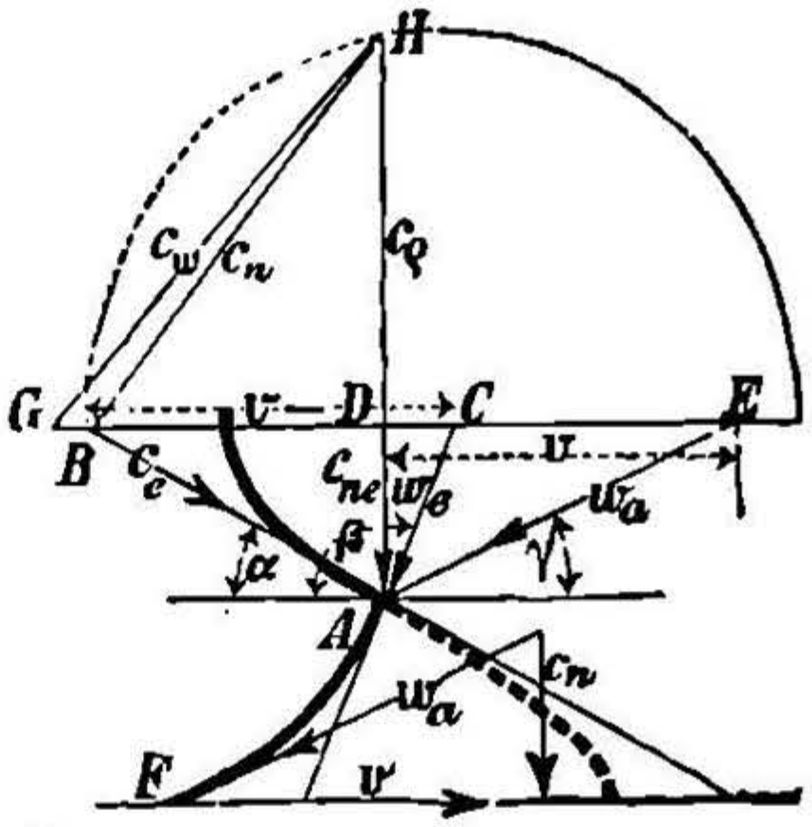
уголъ $EAA_2 = \gamma$ уголъ наклоненія послѣдняго элемента лопатокъ колеса въ точкѣ F,

$DA = c_{ne} = c_a$ абсолютную скорость при выходѣ,

$BD = c_a$ активную скорость.

Черт. 627.





Описавъ полуокружность изъ C радіусомъ $CB = v$, имѣемъ:

$DH = \sqrt{w_a^2 - w_e^2} = \sqrt{2\,g h_\varrho} = c_\varrho$ = реактивной скорости,

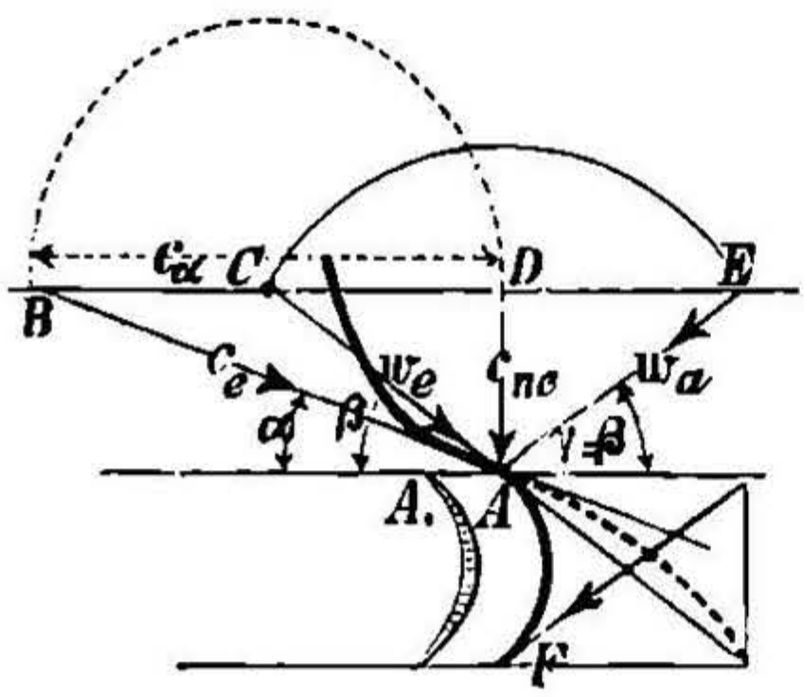
$BH = \sqrt{c_a^2 + c_\varrho^2} = c_n$ = полезной скорости.

Отложивъ затѣмъ $DG = BA = c_e$, имѣемъ:

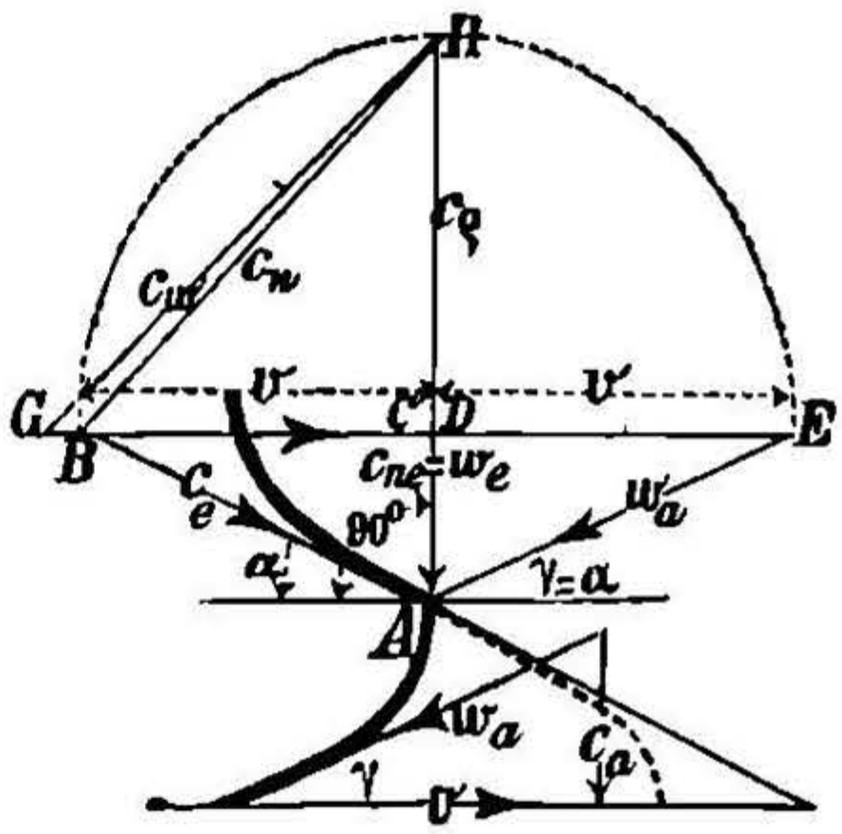
$GH = \sqrt{c_e^2 + c_\varrho^2} = c_w$ = дѣйствительной скорости.

2. Въ полной **активной турбинѣ** c_ϱ должно быть $= 0$, т.-е. B_1 и D совпадаютъ (черт. 628). C находится посрединѣ между B и D, поэтому: $\gamma = \beta$, $w_e = w_a$ и $v = 0{,}5\,c_a$.

Черт. 628,



Черт. 629.



Активныя турбины обладаютъ наименьшей скоростью на окружности при данномъ напорѣ.

3. Къ случаю $\beta = 90^0$ относится черт. 629. Здѣсь

$c_\varrho = c_a = v$, $w_e = c_a$, $c_e = w_a$, $\gamma = \alpha$.

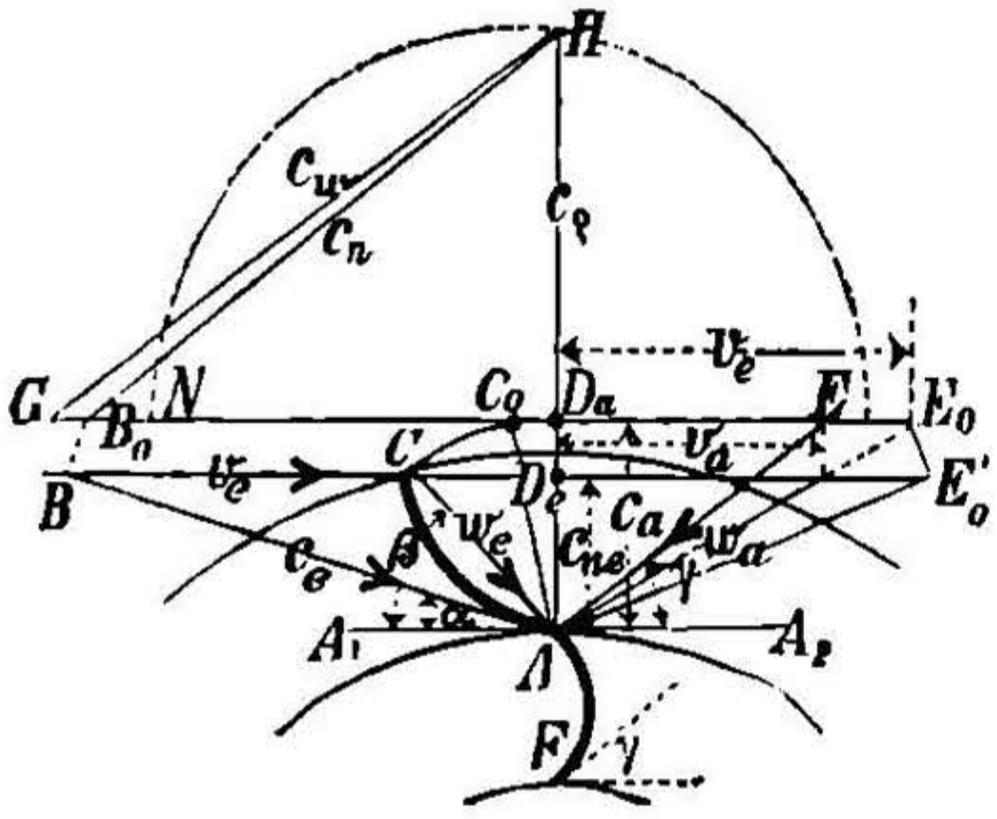
Отношеніе $x = 0{,}5$.

НТБ ДНУЗТ

c. Радіальныя турбины.

1. Обозначимъ черезъ: $\nu = v_e : v_a = r_e : r_a$;
тогда (при одинаковой высотѣ колеса во всѣхъ сѣченіяхъ):

Черт. 630.



$$F_e : F_a = r_e : r_a = \nu,$$
$$F_e c_{ne} = F_a c_{na},$$
$$c_{ne} : c_{na} = r_a : r_e = 1 : \nu.$$

Вслѣдствіе вліянія центробѣжной силы, для h_ϱ имѣемъ зависимость:

$$2gh_\varrho = w_a^2 - w_e^2 - (v_a^2 - v_e^2) = c_\varrho^2.$$

(На абсолютное количество работы центробѣжная сила не имѣетъ вліянія).

Пусть (черт. 630) снова $BA = c_e$, тогда:

$BC = v_e$ скорость колеса на окружности, по которой вступаетъ вода,

$CA = w_e$ относительная скорость вступленія воды,

$D_e A = c_{ne}$ слагающая w_e, направленная по радіусу.

Отложивъ $D_a A = \frac{r_e}{r_a} D_e A = \nu c_{ne} = c_{na} = c_a$ и

$D_a E = \frac{r_a}{r_e} BC = \frac{v_e}{\nu} = v_a$, будемъ имѣть:

$EA = w_a$ относительная скорость выхода воды,

$EAA_2 = \gamma$ уголъ наклоненія конца лопатокъ въ F къ окружности.

Отложивъ затѣмъ $D_a E_0 = BC = v_e$, $AC_0 = AC = w_e$ и описавъ изъ C_0 радіусомъ $C_0 N = v_e$ полуокружность, найдемъ:

$$D_a H = \sqrt{\overline{E_0 A^2} - \overline{CA^2}} = \sqrt{v_e^2 + c_a^2 - w_e^2} = c_\varrho = \begin{cases} \text{реактивной} \\ \text{скорости.} \end{cases}$$

Отложивъ, наконецъ, $AB_0 = AB$, найдемъ:

$$B_0 D_a = c_a = \text{активной скорости},$$

$$B_0 H = \sqrt{c_a^2 + c_\varrho^2} = c_n = \text{полезной скорости},$$

и, если $GD_a = BA = c_e$, то

$$GH = \sqrt{c_e^2 + c_\varrho^2} = c_w = \text{дѣйствительной скорости},$$

2. И въ этомъ случаѣ, при одномъ только активномъ дѣйствіи, $c_\varrho = 0$, т.-е. H совпадаетъ съ D_a, а слѣдовательно, C_0 находится въ срединѣ между N и D_a.

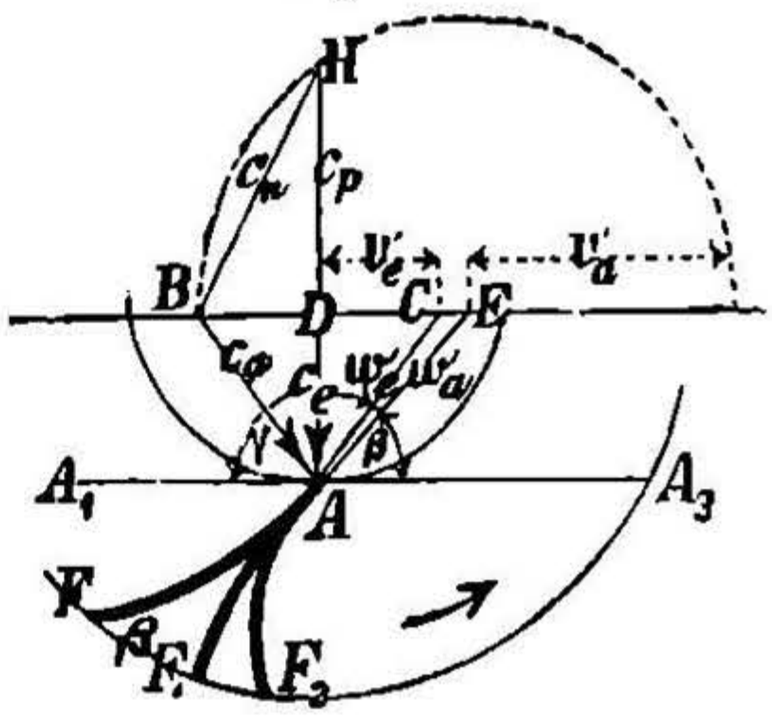
НТБ ДНУЗТ

d. Центробѣжные насосы.

(Дальнѣйшее о центробѣжныхъ насосахъ см. стр. 702 и слѣд.).

Центробѣжные насосы представляютъ не что иное, какъ обратныя радіальныя турбины съ притокомъ воды извнѣ.

Черт. 631.



Выбирается (черт. 631) скорость вступающей воды, направленная нормально къ внутренней окружности колеса, $c_e = DA$ (около 2 до 3 m въ сек.= скорости во всасывающей трубѣ).

Если AC направленіе начальнаго элемента лопатки, то, проведя черезъ D прямую, параллельную $A_1 A_2$, будемъ имѣть:

$DC = v_e =$ скорости на внутренней окружности колеса,

$CA = w_e =$ относительной скорости вступленія воды.

У колеса съ уменьшающеюся шириной обода, имѣющаго снаружи и внутри одинаковое поперечное сѣченіе, DA есть также радіальная слагающая скорости выхода воды.

Отложивъ поэтому уголъ $EAA_2 = \beta =$ углу наклоненія конца лопатки къ окружности, найдемъ:

$EA = w_a =$ относительной скорости выхода.

Отложивъ $EB = v_a = \frac{r_a}{r_e} v_e$, будемъ имѣть:

$BA = c_a =$ абсолютной скорости выходящей воды.

Описавъ изъ E радіусомъ $EB = v_a$ полуокружность, найдемъ: $HD = c_p$ скорости, соотвѣтствующей требуемому давленію внутри колеса.

Затѣмъ имѣемъ:

$BD = c_\alpha =$ слагающей c_a, полезно работающей при подъемѣ воды,

$BH = \sqrt{c_\alpha^2 + c_p^2} = c_n =$ полезной скорости.

c_p будетъ тѣмъ больше, чѣмъ болѣе искривлены лопатки назадъ, т. е. чѣмъ меньше уголъ β (при F, черт. 631). Если лопатки (по Риттингеру) оканчиваются радіально (F_1 на черт. 631), то E совпадаетъ съ D и $c_p = c_\alpha$.

При искривленныхъ напередъ лопаткахъ (F_2) можно положить $c_p = 0$, и тогда скорость на окружности будетъ min. при данной высотѣ подъема (аналогично активнымъ турбинамъ).

По даннымъ высотѣ подъема h и высотѣ, соотвѣтствующей сопротивленіямъ, z (почти $= 0{,}4\,h$ до $0{,}5\,h$), находимъ:

$$c_n = \sqrt{2\,g\,(h+z)},$$

а отсюда и необходимый для построенія масштабъ.

НТБ ДНУЗТ

D. Детали турбинъ.

Лопатки реакціонныхъ и струйныхъ турбинъ цѣлесообразно изготовлять изъ желѣзныхъ листовъ толщиною отъ 4 до 8 mm; въ предѣльныхъ турбинахъ лопатки изготовляются большею частью изъ чугуна. Лопатки желѣзныя обыкновенно заливаются въ ободья, рѣже имѣютъ загнутые края, приклепанные къ ободьямъ. Края залитыхъ въ ободья лопатокъ (па ширипѣ 10 до 16 mm) должны представлять заливаемому чугуну металлически чистую поверхность, для каковой цѣли покрываются оловомъ. Для предохраненія лопатокъ отъ ослабленія ихъ въ чугунномъ ободѣ, на краяхъ лопатокъ дѣлаются вырѣзы въ формѣ ласточкина хвоста.

Ободья изъ чугуна, предназначенные для заливаемыхъ въ пихъ лопатокъ, дѣлаются большею частью не тоньше 24 mm, а при большой толщинѣ лопатокъ — 30 mm и болѣе. Напряженія въ ободьяхъ очень часто влекутъ за собой изломъ при работѣ турбинъ; почему часто патягиваютъ на новые ободья желѣзныи кольца. Звѣздообразные диски, предназначенные для спицъ турбиныхъ колесъ, рекомепдуется изготовлять въ видѣ чугунныхъ выоуклыхъ (сводчатыхъ) дисковъ съ отверстіями. Диски отливаются отдѣльно.

Ступица обыкновенно надѣвается на особое, врѣзанное въ валъ, кольцо изъ двухъ половинъ. Для предотвращенія возможности перекашиванія колеса длина ступицы L должна быть велика; $L \sim 0{,}1\ D_s + 8$ cm, гдѣ D_s наибольшій діаметръ турбиннаго колеса.

Поддерживающая штанга, при падводной нятѣ и вертикальномъ пустотѣломъ турбинномъ валѣ, подвергается продольному изгибу пагрузкой, передаваемой на пяту поднятинка, скручиванію моментомъмгренія цанфы и часто изгибающимъ моментамъ. Если послѣднихъ пѣтъ, то, пренебрегая величиною крутящаго момента, найдемъ діаметръ штанги изъ сварочнаго желѣза въ cm:

$$d = \sqrt[4]{\frac{P l^2}{6}}$$

(случай 2. продольнаго изгиба при $\mathfrak{S} = 16$, стр. 347),
гдѣ P давленіе на пяту поднятника въ kg,
l длина поддерживающей штанги въ ш.

Если штанга должна сопротивляться значительнымъ изгибающимъ момептамъ (которыхъ, однако, при соотвѣтствующей конструкціи можно избѣжать), то разсчетъ штанги по этимъ моментамъ долженъ быть произведенъ. Слѣдуетъ, при этомъ, замѣтить, что прогибъ штанги оказываетъ сильное вліяніе на работу пятпика. Нижній конецъ штанги имѣетъ форму конуса, соотвѣтственнымъ образомъ вставленнаго въ фундаментную плиту, служащую поддержкой для штанги, или ему придается форма сферической пяты, вставляемой съ пѣкоторымъ зазоромъ въ углубленіе фундаментной плиты, въ которомъ опъ устанавливается при помощи установительныхъ винтовъ и предохраняется отъ вращенія.

НТБ ДНУЗТ

Первый способъ укрѣпленія можетъ быть примѣняемъ лишь при весьма надежномъ грунтѣ.

Валъ сплошного сѣченія изготовляется изъ желѣза или литой стали; пустотѣлый—изъ чугуна или литой стальной. Вертикальные валы, кромѣ крутящихъ моментовъ, подвергаются еще дѣйствію растягивающихъ и сжимающихъ силъ и сгибающихъ моментовъ. Послѣдніе являются вслѣдствіе нагрузки колеса водой, при неполномъ и несимметричномъ ударѣ воды въ лопатки; кромѣ того, при передачѣ работы посредствомъ цилиндрическихъ или коническихъ зубчатыхъ колесъ, изгибающій моментъ является вслѣдствіе давленія на зубцы. Въ случаѣ коническихъ колесъ не слѣдуетъ пренебрегать моментомъ составляющей (по оси) давленія на зубцы. Валъ тогда разсчитывается по сложному сопротивленію на изгибъ и скручиваніе (стр. 412, 1), причемъ для полыхъ чугунныхъ валовъ, при отсутствіи ударовъ и перемѣнной величинѣ работы, $k_b = 1{,}5\,k_z = 150$ kg/qcm (соотв. способу нагрузки III, стр. 341) и $k_d = 0{,}8\,k_z = 160$ kg/qcm (соотв. способу нагрузки II, табл. стр. 341), такъ что отношеніе

$$\alpha_0 = k_b : 1{,}3\,k_d \backsim {}^3/_4.$$

Если имѣются большія растягивающія (или сжимающія) усилія, то слѣдуетъ въ основномъ уравненіи (стр. 410, c.) положить $\sigma = \sigma_z + \sigma_b$ и затѣмъ уже опредѣлить главное нормальное напряженіе $\sigma_1 < k_b$. См. также стр. 492 и слѣд.

При установленіи размѣровъ исходятъ изъ внутренняго діаметра полаго вала, который принимаютъ для короткихъ валовъ на 15 до 20 mm и при длинныхъ на 30 mm больше діаметра поддерживающей штанги (предполагается, что при этомъ соблюденъ наименьшій размѣръ, необходимый для сердечника при отливкѣ); въ противномъ случаѣ, необходимо установить внутренній діаметръ вала, руководствуясь размѣромъ этого сердечника.

Толщина стѣнокъ вала, опредѣленная по разсчету требусмаго размѣра наружняго діаметра, сохраняется одинаковой по всей длинѣ вала (уступовъ слѣдуетъ избѣгать), за исключеніемъ мѣстъ, вращающихся въ направляющихъ, и мѣста насадки ступицы колеса. На большинствѣ заводовъ валъ дѣлается длиною до 5,5 m; въ случаѣ необходимости имѣть болѣе длинные валы, послѣдніе дѣлаются составными, соединенными на болтахъ.

Пятникъ въ большей части случаевъ устраивается надъ водой, причемъ онъ вмѣстѣ съ расположеннымъ на штангѣ подшипникомъ помѣщается въ уширенной части полаго вала, внутри послѣдняго; эта часть вала снабжается отверстіемъ, дающимъ возможность производить смазку пятника и его осмотръ. При верхнемъ пятникѣ послѣдній помѣщается (черт. 634) на концѣ вала, и (въ отличіе отъ пятника, расположеннаго на срединѣ, см. черт. 632) устраиваются обыкновенно два отверстія.

Кольцевые пятники, расположенные надъ валомъ (черт. 635), слѣдуетъ устраивать только въ случаяхъ крайней необходимости,

НТБ ДНУЗТ

когда, напр., затруднительно установить штангу при сплошной пятѣ, или когда условія грунта не допускаютъ сохраненія правильнаго положенія штанги при работѣ турбины, или когда валъ очень длиненъ и пяту приходится помѣщать высоко надъ турбиннымъ колесомъ. Кольцевыя пяты не только расходуютъ больше работы, нежели сплошныя, но, въ виду большого ихъ діаметра, могущія встрѣтиться при установкѣ невѣрности или незначительныя сдвиженія во время работы весьма вредно отзываются на правильной ихъ работѣ.

Нижніе пятники можно устраивать лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда они могутъ быть легко доступны для осмотра, напр. во внутреннихъ радіальныхъ турбинахъ съ вертикальною осью и подводомъ воды снизу.

Для трущихся частей наиболѣе удобны: сталь и бронза или плотный чугунъ и сталь, также твердый чугунъ и сталь.

Діаметръ плоской сплошной пяты опредѣляется по форм. (стр. 491):

$$d = 1{,}13 \sqrt{\frac{P}{k}}, \quad \text{если } d \geqq \frac{P n}{w},$$

Относительно давленія k на рабочую поверхность пяты и выбора значенія w (въ зависимости отъ способа отведенія теплоты) см. стр. 491.

При этомъ слѣдуетъ замѣтить, что, съ одной стороны, небольшая величина k допускаетъ хорошую смазку пяты, а съ другой, допуская малую величину k при большихъ давленіяхъ P на пяту, получимъ для послѣдней большіе размѣры, которые вслѣдствіе неизбѣжныхъ неправильностей въ установкѣ, сдвиженія при работѣ турбины, а также при изгибѣ вала или штанги вредно вліяютъ на правильную работу пяты. Въ виду этого, съ увеличеніемъ давленія P на пяту, давленіе k на единицу площади слѣдуетъ увеличить. Для вышеприведенныхъ матеріаловъ можно принимать, въ предположеніи хорошей смазки (обыкновенно имѣющей мѣсто въ турбинахъ):

$$k = 40 + 0{,}3 \sqrt{P} \text{ kg/qcm.}$$

Для встрѣчающихся у турбинъ нагрузокъ P (въ kg) эта формула даетъ $k = 50$ до 80 kg/qcm *).

Въ этихъ данныхъ принято въ разсчетъ уменьшеніе рабочей поверхности пяты смазочными канавками.

По Stribeck'у w выбирается въ предѣлахъ отъ $w = 40000$ до 100000 въ зависимости отъ исполненія, матеріала и смазки пяты.

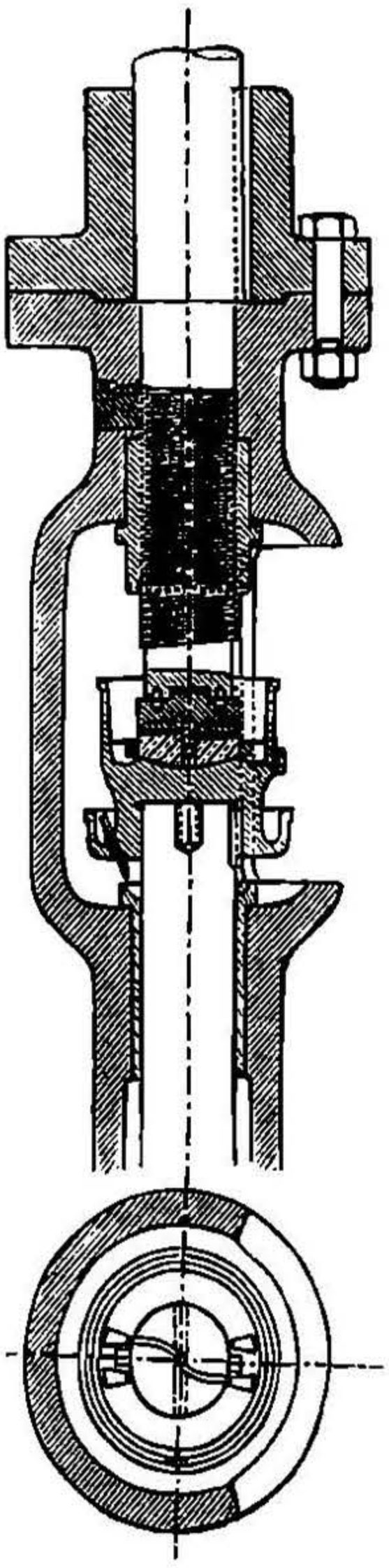
Высшій предѣлъ для w можно принимать лишь тогда, когда устранены всѣ условія, способствующія неравномѣрному прилеганію пяты, причемъ смазка должна быть вполнѣ совершенная, пята на-

*) При особенно благопріятныхъ условіяхъ и небольшомъ n можно для k принимать 90 до 120 kg/qcm.

НТБ ДНУЗТ

ходится въ масляной ваннѣ. Принимать для w величину больше 100000 можно только при охлажденіи смазки или при нагнетаніи послѣдней въ промежутокъ между трущимися поверхностями *).

Черт. 632.



Черт. 633.

Примѣры. На черт. 632—**средняя пята,** черт. 634—**верхняя пята,** черт. 635—**кольцевая пята.** Смазка протекаетъ по оси, отчего происходитъ безпрерывное движеніе смазки; помѣщеніе для отработавшей смазки и опилокъ ниже рабочихъ поверхностей пяты; крышка располагается на маслянкѣ. Установка пяты (и соотв. турбиннаго колеса) производится либо при помощи винта и гайки, либо при помощи клиньевъ. Верхняя часть цапфы должна имѣть длинное надежное направленіе; на фундаментной плитѣ должны быть

---

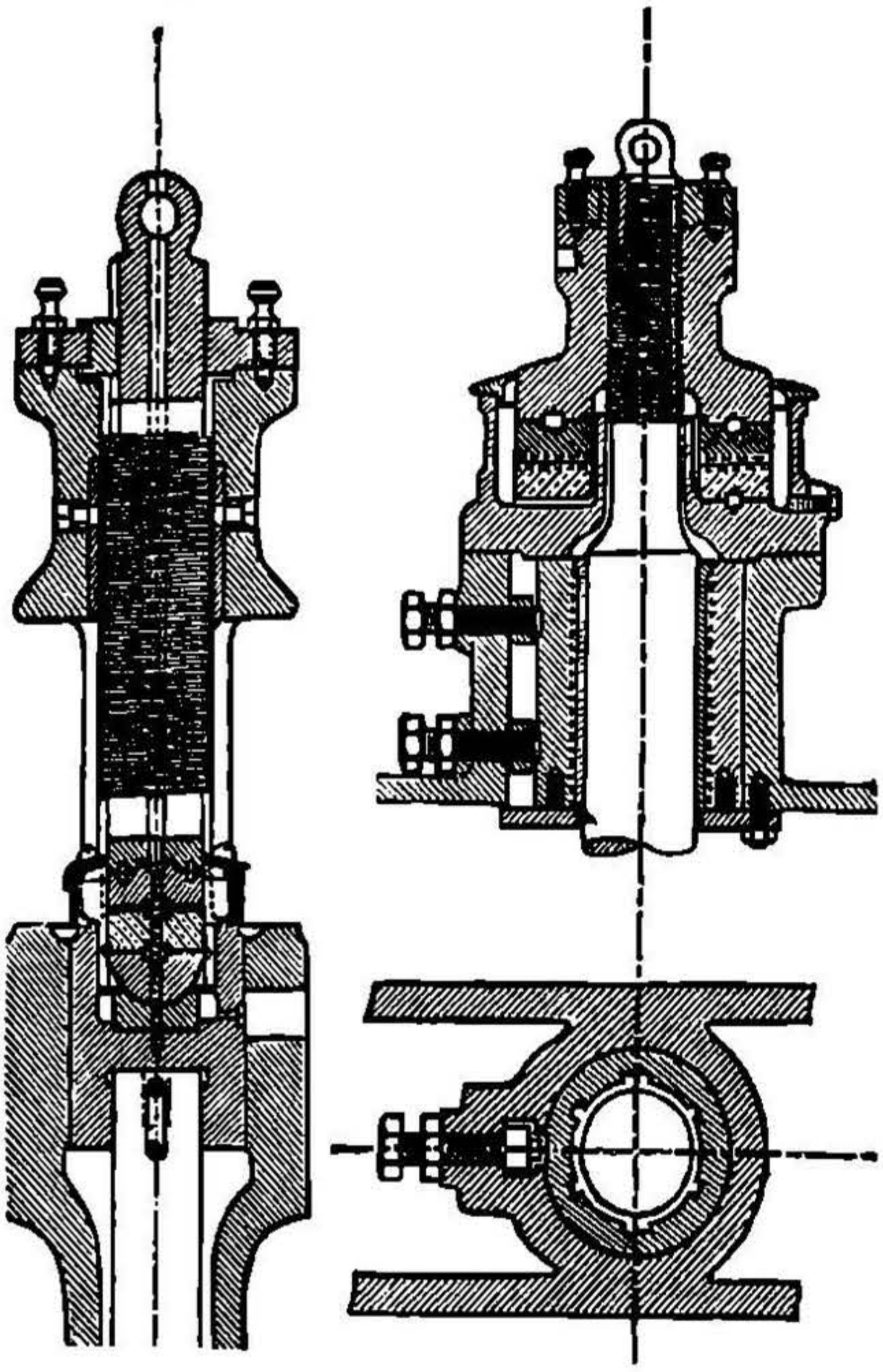
*) Объ уменьшеніи тренія пяты помощью подпятниковъ на каткахъ см. Рело, Verhandl. d. V. f. Gewerbefl. 1897, стр. 234 и слѣд.; уголъ наклона образующей коническихъ катковъ долженъ быть меньше угла тренія.—Магнитное подвѣшеніе турбинъ для динамомашинъ значительно уменьшаетъ давленіе P на опорную пяту.

НТБ ДНУЗТ

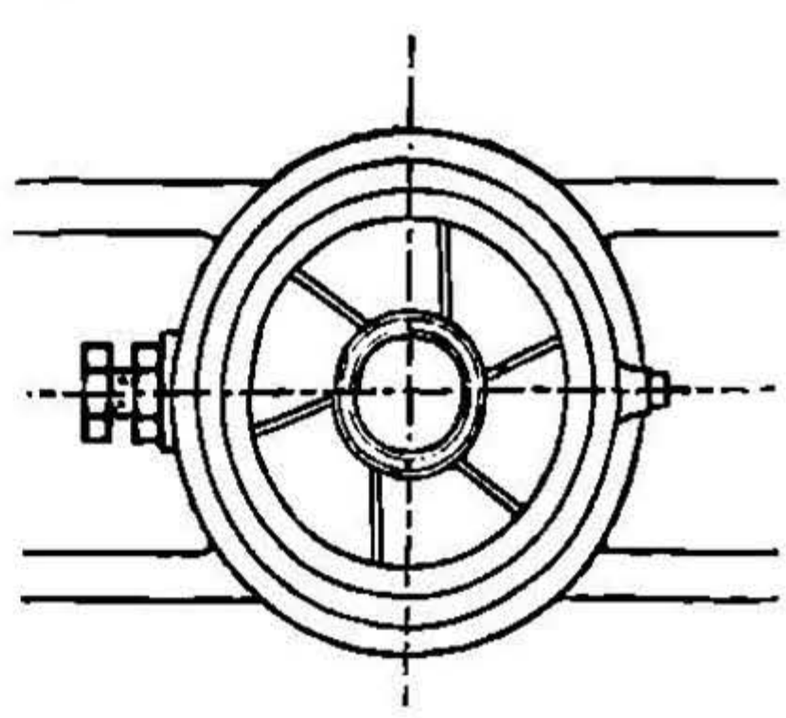
выступы, мѣшающіе вращенію плиты. На черт. 634 показанъ двойной пятникъ, причемъ одинъ изъ пятниковъ служитъ запаснымъ.

Конструкція эта не раціональна и въ послѣднее время не примѣняется, ибо при началѣ работы второй пары трущихся поверхностей легко можетъ происходить нагрѣваніе, значительно увеличивающее треніе.

Черт. 634.



Черт. 635.



Вертикальные подшипники (направляющіе) турбиннаго вала должны быть устроены такъ, чтобы ихъ можно было легко устанавливать, и чтобы износъ ихъ былъ по возможности малъ. Оба условія требуются для исправной работы пяты. Въ тѣхъ случаяхъ, когда составляющая по оси отъ давленія на зубцы зубчатой передачи и отъ односторонней нагрузки на турбинное колесо даетъ значительный моментъ, слѣдуетъ избѣгать короткихъ валовъ, такъ какъ при нихъ разстояніе между подшипниками мало, и нагрузка на нихъ получается при этомъ большая.

Подшипники подводные (черт. 633) имѣютъ направляющія изъ бакаутоваго дерева, отъ трехъ до шести колодокъ, и, смотря по мѣстнымъ условіямъ, устанавливаются сзади или сверху и вынимаются такимъ же порядкомъ. Вода для смазки должна имѣть доступъ въ промежутки между отдѣльными колодками. Если давленіе на подшипникъ незначительно, то можно устраивать подшипники безъ устанавливающихся вкладышей.

Подшипники надводные имѣютъ вкладыши бронзовые или съ заливкой бѣлымъ металломъ; также употребляются чугунныя втулки (изъ двухъ половинокъ) значительной длины. Съ цѣлью разгрузить подводный подшипникъ, помѣщаютъ верхній подшипникъ по

НТБ ДНУЗТ

возможности ближе къ зубчатому колесу. Наиболѣе цѣлесообразнымъ является также устройство, при которомъ касательная составляющая давленія на зубцы дѣйствуетъ въ средней плоскости верхняго подшипника, т.-е. нагружаетъ только этотъ подшипникъ *).

III. ПАРОВЫЯ МАШИНЫ.

A. Разсчетъ паровыхъ машинъ.

I. Аналитическій разсчетъ **).

a. Обозначенія.

Давленіе слѣдуетъ вездѣ подразумѣвать въ (повыхъ) атмосферахъ; давленіе такой атмосферы равно 1 kg/qcm.

N_i индикаторная работа машины въ лош. силахъ (у поршня);

N_n полезная работа машины въ лош. силахъ (на рабочемъ валу);

$\eta = \frac{N_n}{N_i}$ „индикаторная“ степень полезнаго дѣйствія;

p среднее абсолютное давленіе пара во время наполненія, въ kg/qcm;

p' среднее абсолютное давленіе пара во время выхода, въ kg/qcm;

f и f' коэффиціенты для давленій p и p';

$p_i = fp - f'p'$ индикаторное давленіе пара въ kg/qcm, т.-е. средняя разность давленій пара за и передъ поршнемъ (у двух- и трехцилиндровыхъ машинъ эта разность для обоихъ поршней принимается въ цилиндрѣ низкаго давленія въ томъ предположеніи, что паръ производитъ всю работу только въ этомъ большомъ цилиндрѣ);

σ давленіе пара на поршень, необходимое для преодолѣнія сопротивленій при ходѣ машины порожнемъ (со включеніемъ сопротивленій воздушнаго и водяного насосовъ у машинъ съ охлажденіемъ), въ kg/qcm,

μ коэффиціентъ добавочнаго тренія;

$p_n = \frac{1}{1+\mu}(p_i - \sigma)$ полезное давленіе пара въ kg/qcm;

d діаметръ поршня (внутренній діаметръ цилиндра) въ m;

---

*) О регулированіи турбинъ и регуляторахъ см. A. Пфарръ, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 891 и слѣд.; кромѣ того, Б. Леманъ, тамъ же, 1879, стр. 31 и слѣд.

**) См. J. Hrabák und A. Kas, Hülfsbuch für Dampfmaschinen-Techniker, 3 изд. 1897.

НТБ ДНУЗТ

F площадь поршня, подверженная давленію пара (съ принятіемъ въ разсчетъ сѣченія поршневого стержня) въ qm (у двух- и трехцилиндровыхъ машинъ та же площадь принимается для цилиндра низкаго давленія);

s ходъ поршня въ m; $r = 0{,}5\,s$ радіусъ кривошипа въ m;

s_1 путь поршня въ m, проходимый имъ до момента прекращенія впуска пара;

$s_1 : s$ степень наполненія (или степень впуска); у двух- и трехцилиндровыхъ машинъ относится къ цилиндру низкаго давленія, въ предположеніи, что паръ производитъ работу только въ большомъ цилиндрѣ (отнесенное наполненіе);

$s : s_1$ номинальная степень расширенія (у двух- и трехцилиндровыхъ машинъ общая поминальная степень расширенія);

$s_1' : s'$ наполненіе въ цилиндрѣ высок. давленія
$S_1 : S$ „ „ „ низкаго „
} у двух- и трехцилиндр. маш.;

m коэффиціентъ для вреднаго пространства, величина котораго $F s_0 = m\,F s$ (въ cbm) [s_0 см. стр. 798];

n число оборотовъ (двойныхъ ходовъ поршня) въ минуту;

c средняя скорость поршня въ m/sec.; она опредѣляется изъ

$$c = \frac{2\,s\,n}{60} \text{ и, слѣд., } n\,s = 30\,c;$$

ν у двухцилиндровыхъ машинъ представляетъ отношеніе объемовъ обоихъ цилиндровъ, т.-е. $\nu = (v : V) < 1$;

C_i' полезный расходъ пара,
C_i'' часть потери пара, зависящая главнымъ образомъ отъ охлажденія,
C_i''' часть потери пара, зависящая главнымъ образомъ отъ пропусканія (поршня, золотниковъ и т. д.),
$C_i = C_i' + C_i'' + C_i'''$ общій расходъ пара,
} на одну индикаторную лош. силу въ часъ, въ kg;

$C_n = C_i \frac{1}{\eta} = C_i \frac{N_i}{N_n}$ общій расходъ пара на 1 полезную лошадиную силу въ 1 часъ, въ kg.

Для трехцилиндровыхъ паровыхъ машинъ компаундъ см. обозначенія на стр. 796.

b. Теоретическія данныя.

Кромѣ предыдущихъ обозначеній, необходимо принимать въ разсчетъ **относительные пути поршня** $s_2 : s$, $s_3 : s$ и $s_4 : s$ въ моменты начала: предваренія выпуска, сжатія и предваренія впуска; затѣмъ вліяніе потери давленія пара вслѣдствіе прохода его черезъ узкія отверстія паровыхъ каналовъ, выражающееся величиной ϑ, такъ что при среднемъ давленіи пара p

давленіе пара въ началѣ впуска $= (1 + \vartheta)\,p$,
„ „ „ концѣ „ $= (1 - \vartheta)\,p$.

Величина **средняго индикаторнаго давленія пара** опредѣляется въ общемъ по формулѣ: $p_i = f p - f' p'$ для одноцилиндровыхъ машинъ на основаніи закона $p\,v =$ пост.

НТБ ДНУЗТ

При какомъ угодно пароспредѣленіи имѣемъ:

$$f = \frac{s_1}{s} + (1-\vartheta)\left(\frac{s_1}{s}+m\right)\ln\frac{\frac{s_2}{s}+m}{\frac{s_1}{s}+m} + {}^1/_2(1-\vartheta)\,\frac{\frac{s_1}{s}+m}{\frac{s_2}{s}+m}\left(1-\frac{s_2}{s}\right) - {}^1/_2(1+\vartheta)\left(1-\frac{s_4}{s}\right) \ldots 1)$$

$$f' = \frac{s_3}{s} + 1{,}1\left(1-\frac{s_3}{s}+m\right)\ln\frac{1-\frac{s_3}{s}+m}{1-\frac{s_4}{s}+m} + 0{,}55\,\frac{1-\frac{s_3}{s}+m}{1-\frac{s_4}{s}+m}\left(1-\frac{s_4}{s}\right) - {}^1/_2\left(1-\frac{s_2}{s}\right) \ldots\ldots 2)$$

Въ кулисныхъ пароraспредѣленіяхъ наполненіе $s_1 : s$ зависитъ отъ положенія камня въ кулисеѣ, почему и относительные пути поршня $s_2 : s$, $s_3 : s$ и $s_4 : s$ принимаютъ различныя значенія въ зависимости отъ величины отношенія $s_1 : s$.

Для опредѣленія этихъ величинъ, равно какъ и величины коэффиціентовъ f и f', принята кулисса съ постояннымъ линейнымъ предвареніемъ впуска (напр. Гуча, Финка, Джоя, Гейзингера и т. п.).

При опредѣленіи $p_i = fp - f'p'$, посредствомъ приводимыхъ ниже величинъ для f и f', необходимо имѣть въ виду, что p' увеличивается не только съ увеличеніемъ p, но мѣняется по мѣрѣ приближенія кулиссы къ ея нулевой точкѣ такъ, что, при положеніи кулиссы въ этой послѣдней точкѣ, зообще говоря, $fp = f'p'$.

Въ машинахъ съ расширительнымъ пароraспредѣленіемъ наполненіе $s_1 : s$ можетъ принимать различныя произвольныя значенія, причемъ величины $s_2 : s$, $s_3 : s$ и $s_4 : s$ одновременно съ этимъ не мѣняются; другими словами: величины эти въ приведенныхъ выраженіяхъ 1) и 2) принимаютъ постоянныя значенія; въ среднемъ $s_2 : s = 0{,}96$, $s_3 : s = 0{,}94$ и $s_4 : s = 0{,}998$. Такимъ образомъ, значеніе величины f' во 2) зависитъ исключительно отъ величины вреднаго пространства m, а именно:

для $m = 0{,}05$ $\quad f' = 1{,}013$, $\quad$ для $m = 0{,}025$ $\quad f' = 1{,}031$.

Общее выраженіе 1) для f во всѣхъ одноцилиндровыхъ машинахъ, за исключеніемъ машинъ съ кулисснымъ пароraспредѣленіемъ, получаетъ тогда видъ:

$$f = \frac{s_1}{s} + (1-\vartheta)\left(\frac{s_1}{s}+m\right)\left\{\ln\frac{0{,}96+m}{\frac{s_1}{s}+m} + \frac{0{,}02}{0{,}96+m}\right\} - 0{,}001\,(1+\vartheta)\,. \quad .\ 3)$$

Зависимость этого выраженія отъ величинъ ϑ и m показываетъ вліяніе уменьшенія давленія при прохожденіи пара черезъ узкіе каналы (подпора пара) и величины вреднаго пространства на дѣйствіе машинъ съ паровой рубашкой или безъ оной.

Чтобы пользоваться этой же формулой для паровыхъ машинъ съ рубашкой (не употребляя для этого случая закона расширенія пара), слѣдуетъ для опредѣленія (лучшаго) дѣйствія пара этихъ машинъ принимать нѣсколько большее (чѣмъ въ дѣйствительности) количество расширяющагося пара, что достигается принятіемъ нѣсколько большаго значенія для величины вреднаго пространства m и нѣсколько меньшаго суженія струи пара (ϑ) при про-

НТБ ДНУЗТ

хожденіи его черезъ паровой каналъ (подпоръ пара), нежели у машинъ безъ паровой рубашки.

Въ двухцилиндровыхъ машинахъ (компаундъ и Вульфа) среднее индикаторное давленіе p_i относится къ давленію въ большемъ цилиндрѣ, въ предположеніи, что вся работа машины производится только въ этомъ большомъ цилиндрѣ (будемъ называть это давленіе отнесеннымъ давленіемъ); оно выражается въ видѣ $p_i = fp - f'p'$; численная величина этого выраженія опредѣляется, когда извѣстно отношеніе объемовъ цилиндровъ $\nu = v : V$.

Для встрѣчающихся различныхъ отношеній $\nu = v : V$ величина идеальнаго коэффиціента давленія f различна. Кромѣ того, въ машинахъ съ ресиверомъ (нагрѣваемымъ) или безъ ресивера величина f также различна. Въ двухцилиндровыхъ машинахъ безъ ресивера (машины Вульфа) предположено, что въ большомъ цилиндрѣ происходитъ своевременная отсѣчка пара. Машины Вульфа старѣйшей конструкціи съ полнымъ наполненіемъ большого цилиндра, у которыхъ, слѣдовательно, и потеря давленія во время впуска болѣе значительна, имѣютъ меньшія значенія для f и ниже не разсматриваются.

Для трехцилиндровыхъ машинъ (тройное расширеніе) принимается въ основаніе разсчета отношеніе $v_1 : V$ (цилиндръ высокаго давленія къ цилиндру низкаго давленія — не принимая въ разсчетъ средняго цилиндра) такъ же, какъ и для двухцилиндровыхъ машинъ.

Расходъ пара паровой машины состоитъ изъ полезнаго расхода и потерь пара.

1. **Полезный расходъ** пара въ kg въ 1 часъ составлнетъ:

$$Q' = 3600\, Fc \left\{ \left(\frac{s_1}{s} + m \right) \gamma - 1{,}1 \left(1 - \frac{s_3}{s} + m \right) \gamma' \right\},$$

гдѣ γ вѣсъ 1 cbm пара, притекающаго въ цилиндръ во время впуска (наполненія), въ kg и γ' вѣсъ 1 cbm исходящаго пара. Уравненіе это, вмѣстѣ съ формулой:

$$N_i = \frac{10\,000}{75}\, p_i Fc,$$

даетъ полезный расходъ пара на 1 индикаторную силу въ часъ:

$$C_i' = \frac{Q'}{N_i} = \frac{27}{p_1} \left\{ \left(\frac{s_1}{s} + m \right) \gamma - 1{,}1 \left(1 - \frac{s_3}{s} + m \right) \gamma' \right\}.$$

При кулиссныхъ пораспредѣленіяхъ величина $s_3 : s$ мѣняется вмѣстѣ съ наполненіемъ $s_1 : s$, и отчасти мѣняется γ' въ зависимости отъ p, тогда какъ γ опредѣляется лишь въ зависимости отъ p (по Флигнеру, см. стр. 286 и 287) по таблицѣ водяныхъ паровъ.

При расширительномъ пораспредѣленіи можно принимать:

$$\frac{s_3}{s} = 0{,}94 \quad \text{и} \quad \gamma' = \begin{cases} 0{,}660 & \text{для машинъ безъ охлажденія,} \\ 0{,}137 & \text{„ \quad „ \quad съ охлажденіемъ.} \end{cases}$$

По вышеприведенному, величина C_i' для извѣстнаго рода машинъ зависитъ только отъ p и $s_1 : s$. Въ нижеслѣдующемъ приведены числовыя данныя для C_i' въ разнаго рода машинахъ; тамъ же приведены данныя для двух-и трехцилиндровыхъ машинъ.

НТБ ДНУЗТ

2. **Потеря пара** зависитъ главнымъ образомъ отъ охлажденія пара въ цилиндрѣ (внутри цилиндра и въ паровой рубашкѣ) и въ меньшей степени отъ пропусканія пара различными органами (поршнемъ, золотникомъ и т. д.), почему и слѣдуетъ различать потери отъ охлажденія C_i'' и потери отъ пропусканія пара C_i'''.

Опредѣленіе путемъ разсчета величинъ потерь пара C_i'' представляетъ наиболѣе трудную задачу теоріи паровыхъ машинъ; потери эти строго теоретически едва ли будутъ опредѣлены. Приблизительно теоретическая формула для потери на охлажденіе (C_i'' на инд. силу въ часъ), какъ главной потери, здѣсь не приводится по своей сложности. Для приблизительныхъ разсчетовъ и нормальныхъ условій можно принимать въ среднемъ эту потерю по эмпирической формулѣ $\sqrt{c}\,C_i''$, значеніе которой дается для разнаго рода машинъ (стр. 797); при раздѣленіи этой величины на $\sqrt{c}$ находимъ C_i''. Величина эта должна быть исправлена въ зависимости отъ заданнаго отношенія $s : d$ (тамъ же).

О потеряхъ на пропусканіе пара C_i''' см. стр. 797.

c. Таблицы.

Таблица I.

Умѣренныя скорости поршня c (въ m/sec.).

N лош. силъ.	Абсолютное давл. p во время впуска, въ атм.				
	3	**4**	**6**	**8**	**10**
3	0,89	0,99	1,13	1,24	1,35
6	0,97	1,07	1,23	1,35	1,47
10	1,02	1,14	1,31	1,43	1,56
20	1,13	1,24	1,42	1,55	1,67
40	1,25	1,37	1,55	1,69	1,82
70	1,42	1,52	1,68	1,82	1,95
100	1,51	1,62	1,78	1,92	2,05
200	1,70	1,84	2,05	2,18	2,31
300	1,81	1,96	2,20	2,35	2,50
400	1,90	2,06	2,31	2,47	2,63
600	2,02	2,20	2,47	2,66	2,83
1000	2,17	2,37	2,67	2,88	3,12

Коэффиціентъ для поправки величины c при ненормальныхъ отношеніяхъ $s : d$.

$s : d$	Коэффиц.
0,50	0,57
0,75	0,67
1,00	0,75
1,5	0,9
2,0	1,0
2,5	1,1
3	1,2
4	1,3
5	1,4

Примѣчаніе. Данныя эти—эмпирическія, ихъ можно округлять, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ допускаются отъ нихъ и отступленія. Этими данными пользуются въ тѣхъ случаяхъ, когда для вновь проектируемой машины, кромѣ давленія пара во время впуска p, извѣстна только сила машины N.

Когда опредѣленъ ходъ поршня s, то при обыкновенныхъ соотношеніяхъ наиболѣе подходящая скорость поршня по Храбаку:

$$c = 0{,}9\sqrt{p\,s}.$$

Скорость, опредѣленная по этой формулѣ, будучи уменьшена на 20%, даетъ вышеприведенныя въ таблицѣ умѣренныя скорости, а увеличенная на 25% даетъ большія скорости для быстроходныхъ машинъ.

НТБ ДНУЗТ

Величина скорости поршня по другимъ источникамъ.

1. По **Г. Шмидту:** $c = \alpha\,(10 + \sqrt{N})$.

Коэффиціентъ α равенъ для машинъ, вращающихся

весьма медленно,	медленно,	нормально,	быстро,	весьма быстро,
$\alpha = 0{,}05$	0,07	0,09	0,11	0,13 до 0,20.

2. По **Р. Вернеру:** $\begin{cases} c = 4{,}2\sqrt{s} & \text{для машинъ безъ охлажденія,} \\ c = 3{,}0\sqrt{s} & \text{„ „ съ охлажденіемъ.} \end{cases}$

3. По **Радингеру** *), наибольшая допускаемая скорость поршня, если $G : 10\,000\,F$ вѣсъ движущихся взадъ и впередъ массъ въ kg на 1 qcm площади поршня, опредѣляется:

для машинъ безъ охлажденія (при $G : 10\,000\ F = 0{,}28$ kg/qcm) изъ: $$s n^2 = 5350\,(p - p'),$$

для машинъ съ охлажденіемъ (при $G : 10\,000\ F = 0{,}33$ kg/qcm) изъ: $$s n^2 = 4500\,(p - p')$$

(въ предположеніи, что $\lambda = r : l = 1/5$, см. стр. 539).

Примѣчаніе. Наполненіе не должно быть меньше:

$$\frac{s_1}{s} = \frac{p'}{p} = \frac{p}{8\,(p - p')}.$$

Таблица II.

Среднія значенія для наивыгоднѣйшей степени наполненія.

Абсолютн. давленіе пара во время впуска p въ атм.	Одноцилиндровыя машины безъ охлажденія		Машины съ охлажденіемъ.		
			Одноцилиндровыя машины		Двухцилиндровыя машины.
	съ кулиснымъ распредѣленіемъ.	съ расширительнымъ пораспредѣленіемъ.	безъ паровой рубашки.	съ паровой рубашкой.	
3	0,65—0,60	0,47—0,43	0,26—0,22	0,20—0,18	0,16—0,14
4	0,53—0,46	0,39—0,33	0,20—0,17	0,15—0,13	0,12—0,11
5	0,46—0,39	0,33—0,28	0,17—0,15	0,13—0,11	0,10—0,09
6	0,40—0,31	0,28—0,22	0,15—0,13	0,11—0,09	0,09—0,08
8	0,34—0,27	0,22—0,17	0,14—0,12	0,09—0,08	0,07—0,06
10	0,29—0,23	0,18—0,13			

Примѣчаніе. Большія наполненія относятся до небольшихъ машинъ, а меньшія— напротивъ, до большихъ машинъ. При высокихъ цѣнахъ на топливо и безпрерывной работѣ машины слѣдуетъ принимать нѣсколько меньшія нормальныя наполненія; напротивъ того, при низкихъ цѣнахъ на топливо и работѣ машины съ перерывами принимаются наполненія нѣсколько большія вышеприведенныхъ нормальныхъ.

При двухцилиндровыхъ машинахъ безъ охлажденія абсолютное давленіе расширяющагося пара въ концѣ хода равно 1,7 до 1,25 атм. Для трехцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ оно равно 0,6 до 0,4 атм.

---

*) См. Radinger, Ueber Dampfmaschinen mit hoher Kolbengeschwindigkeit, 3 изд. Wien. 1892.

НТБ ДНУЗТ

Таблица III.

Значенія коэффиціентовъ давленія f и f' для опредѣленія индикаторнаго давленія $p_i = fp - f'p'$.

1. Для одноцилиндровыхъ машинъ.

Наполненіе $\frac{s_1}{s}$	Съ кулисснымъ распредѣленіемъ		Съ расширительнымъ пароraспредѣленіемъ,			
			безъ охлажден. ($p' = 1{,}13$).		съ охлажден. ($p' = 0{,}21$).	
			безъ рубашки	съ рубашкой	безъ рубашки	съ рубашкой
	f	f'	Значенія f.			
0,8	0,937	1,004	0,950	0,954		
0,7	0,893	1,024	0,919	0,925	.	.
0,6	0,839	1,055	0,875	0,883	0,867	0,883
0,5	0,773	1,095	0,816	0,827	0,807	0,827
0,4	0,693	1,146	0,740	0,753	0,731	0,753
0,333	0,629	1,185	0,678	0,692	0,668	0,692
0,30	0,593	1,206	0,643	0,658	0,633	0,658
0,25	0,535	1,239	0,584	0,600	0,575	0,600
0,20	0,468	1,270	0,517	0,535	0,508	0,535
0,15	0,391	1,275	0,440	0,460	0,432	0,460
0,125			0,397	0,418	0,390	0,418
0,10			0,351	0,373	0,344	0,373
0,07					0,283	0,314
0,05					0,239	0,270

1) при значительномъ сжатіи пара (почти до упругости свѣжевход. пара).

Абсол. давлен. пара во время впуска. p	f' для машинъ безъ охлажден. $m = 0{,}05$	f' для машинъ съ охлажден. $m = 0{,}025$
2,5		1,39
3	.	1,51
4	1,07	1,79
5	1,13	2,08
6	1,19	2,40
7	1,25	2,74
8	1,33	3,08
9	1,40	3,43
10	1,49	

2) Безъ сжатія пара спереди поршня. $f' = 1{,}024$.

2. Для двухцилиндровыхъ машинъ съ расширительнымъ пароraспредѣленіемъ и паровой рубашкой, по крайней мѣрѣ, на маломъ цилиндрѣ.

Вредное пространство большого цилиндра принято 3% (maximum).

Наполненіе $\frac{s_1}{s}$ (отнес.)	Машины безъ ресивера (прогрѣваемаго).				Машины съ ресиверомъ (и рубашкой у большого цилиндра).				
	Приблизительное отношеніе $v : V$ объемовъ цилиндровъ.								
	0,40	0,333	0,29	0,25	0,55	0,50	0,45	0,40	0,333
	Значенія величинъ f.								
0,25	0,548	0,543	0,534	0,524	0,576	0,572	0,568	0,563	0,560
0,20	0,484	0,479	0,472	0,464	0,512	0,507	0,503	0,499	0,495
0,15	0,408	0,404	0,398	0,391	0,437	0,432	0,428	0,424	0,420
0,125	0,365	0,361	0,356	0,350	0,395	0,390	0,386	0,382	0,377
0,10	0,318	0,314	0,309	0,304	0,349	0,344	0,340	0,335	0,330
0,07	0,254	0,250	0,245	0,241	0,288	0,283	0,278	0,273	0,267
0,05	0,205	0,201	0,197	0,193	0,242	0,237	0,232	0,227	0,220
0,04	0,179	0,175	0,171	0,167	0,218	0,213	0,207	0,202	0,195

НТБ ДНУЗТ

Въ одноцилиндровыхъ машинахъ безъ охлажденія съ кулиснымъ парораспредѣленіемъ можно принимать:

для p =	3	4	5	6	7	8	9	10
„ p' =	1,14	1,17	1,20	1,23	1,26	1,29	1,32	1,35

Близъ пулевой точки кулиссы величина p' уменьшается при $p < 5$ и увеличивается при $p > 6$, такъ что въ нулевой точкѣ кулиссы $fp = f'p'$.

Для двухцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ также $p' = 0{,}21$; безъ (значительнаго) сжатія $f' = 1{,}024$ и, слѣд., $f'p' = 0{,}22$. При значительномъ сжатіи, примѣрно до упругости свѣжевходящаго пара, имѣемъ, въ зависимости отъ абсолютнаго давленія пара во время наполненія, въ среднемъ:

для p =	3	4	5	6	7	8	9
„ f' =	1,34	1,47	1,60	1,72	1,82	1,91	1,96

Для двухцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія пара $p' = 1{,}13$ и безъ (значительнаго) сжатія $f' = 1{,}024$; при сжатіи до упругости свѣжевходящаго пара f' нѣсколько больше.

3. Для трехцилиндровыхъ машинъ (тройного расширенія) съ паровой рубашкой, по крайней мѣрѣ, у цилиндра высокаго давленія.

Наполненіе $\frac{s_1}{s}$ (отнес.)	Машины безъ рубашекъ на обоихъ ресиверахъ.			Машины съ рубашками на цилиндрахъ и обоихъ ресиверахъ.		
	Приблизительное отношеніе объемовъ $v_1 : V$ (цил. высокаго давленія къ цил. низкаго давленія).					
	0,17	0,135	0,11	0,17	0,135	0,11
0,15	0,369	0,361	0,352	0,401	0,395	0,389
0,125	0,330	0,323	0,316	0,361	0,354	0,348
0,10	0,287	0,281	0,275	0,316	0,310	0,303
0,08	0,250	0,244	0,237	0,278	0,271	0,264
0,07	0,230	0,224	0,218	0,257	0,250	0,243
0,06	0,208	0,203	0,197	0,235	0,228	0,221
0,05	0,185	0,179	0,173	0,212	0,204	0,197
0,04	0,161	0,155	0,149	0,188	0,180	0,172
0,035	0,148	0,142	0,135	0,175	0,166	0,159
0,03	0,135	0,128	0,122	0,161	0,153	0,144
0,025	0,121	0,114	0,107	0,148	0,139	0,130
0,02	0,106	0,099	0,092	0,134	0,125	0,115

При охлажденіи здѣсь точно также $f'p' = 0{,}22$, и при сжатіи во всѣхъ трехъ цилиндрахъ приблизительно до упругости свѣжевходящаго пара $f'p' = 0{,}28$ до $0{,}35$.

Болѣе точно и, во всякомъ случаѣ, для контроля произведенныхъ разсчетовъ можно пользоваться готовыми данными для $p_i = fp - f'p'$, приведенными въ **таблицахъ IV** (стр. 787 и 788). Эти данныя p_i представляютъ среднія величины для возможныхъ случаевъ отъ недостаточнаго до чрезмѣрнаго нагрѣванія паровыхъ цилиндровъ и ресиверовъ.

НТБ ДНУЗТ

Таблица IV A.

Среднія значенія индикаторнаго давленія p_i для машинъ безъ охлажденія.

1. Для **одноцилиндровыхъ машинъ** съ кулиснымъ парораспредѣленіемъ.

$\frac{s_1}{s}$ =	0,7	0,5	0,4	0,33	0,30	0,25	0,20	0,15
p = 4	2,37	1,81	1,43	1,13	0,96	0,71	.	
5	3,24	2,55	2,09	1,72	1,52	1,20	0,86	0,49
6	4,10	3,29	2,75	2,31	2,08	1,68	1,25	0,75
p = 7	4,96	4,03	3,40	2,91	2,63	2,17	1,64	1,02
8	5,82	4,77	4,06	3,50	3,19	2,66	2,04	1,28
9	6,69	5,51	4,72	4,10	3,75	3,15	2,43	1,54
10	7,55	6,25	5,38	4,69	4,31	3,64	2,83	1,81

Свойственное этимъ машинамъ **сжатіе** принято во вниманіе въ данныхъ для p_i величинахъ.

2. Для **одноцилиндровыхъ машинъ** съ расширительнымъ парораспредѣленіемъ.

$\frac{s_1}{s}$ =	0,7	0,5	0,4	0,33	0,30	0,25	0,20	0,15	0,125	Сжатіе Δ
p = 4	2,54	2,14	1,84	1,59	1,45	1,22	0,95	0,65		0,09
5	3,46	2,96	2,58	2,27	2,10	1,81	1,48	1,10	0,89	0,16
6	4,38	3,78	3,33	2,96	2,75	2,40	2,01	1,55	1,30	0,23
p = 7	5,30	4,60	4,07	3,64	3,40	2,99	2,53	2,00	1,70	0,32
8	6,23	5,42	4,82	4,33	4,05	3,59	3,06	2,45	2,11	0,41
9	7,15	6,24	5,57	5,01	4,70	4,18	3,58	2,90	2,52	0,51
10	8,07	7,06	6,31	5,70	5,35	4,77	4,11	3,35	2,93	0,60

3. Для **двухцилиндровыхъ машинъ** съ расширительнымъ парораспредѣленіемъ.

$\frac{s_1}{s}$ =	0,25	0,20	0,15	0,125	0,10	0,08	0,07	0,06	Сжатіе Δ
p = 9	3,77	3,21	2,54	2,17	1,76	1,39			0,15
10	4,27	3,65	2,92	2,50	2,05	1,64	1,42		0,17
11	4,77	4,10	3,29	2,83	2,34	1,89	1,65	1,40	0,19
p = 12	5,27	4,54	3,67	3,17	2,63	2,14	1,88	1,61	0,20
13	5,75	4,97	4,03	3,49	2,90	2,38	2,10	1,81	0,22
14	6,23	5,39	4,39	3,82	3,18	2,62	2,32	2,01	0,23

При сжатіи пара передъ поршнемъ до упругости свѣжевходящаго пара (въ табл. 3. въ обоихъ цилиндрахъ) слѣдуетъ табличныя данныя уменьшать на величину Δ послѣдняго столбца (если $m = 0{,}05$ для одноцилиндровыхъ машинъ и $m = 0{,}04$ для двухцилиндровыхъ машинъ).

НТБ ДНУЗТ

Таблица IV B.

Среднія значенія индикаторнаго давленія p_i для машинъ съ охлажденіемъ.

1. Для одноцилиндровыхъ машинъ.

$\frac{s_1}{s}$ =	0,5	0,4	0,33	0,30	0,25	0,20	0,15	0,125	0,10	Сжатіе Δ
p = 3	2,23	2,00	1,82	1,72	1,54	1,34	1,12	0,99	0,86	0,13
4	3,05	2,75	2,50	2,36	2,13	1,87	1,56	1,40	1,21	0,21
5	3,87	3,49	3,18	3,01	2,72	2,39	2,01	1,80	1,57	0,28
p = 6	4,68	4,23	3,86	3,65	3,31	2,91	2,46	2,20	1,93	0,37
7	5,50	4,97	4,54	4,30	3,89	3,43	2,90	2,61	2,29	0,45
8	6,32	5,71	5,22	4,94	4,48	3,95	3,35	3,01	2,65	0,54
9	7,13	6,46	5,90	5,59	5,07	4,48	3,80	3,42	3,01	

2. Для **двухцилиндровыхъ машинъ** (двойного расширенія).

$\frac{s_1}{s}$ =	0,25	0,20	0,15	0,125	0,10	0,08	0,06	0,05	Сжатіе Δ
p = 4	2,00	1,74	1,44	1,27	1,09	0,92	0,74	0,65	0,08
5	2,53	2,21	1,84	1,63	1,40	1,19	0,97	0,84	0,10
6	3,06	2,68	2,23	1,98	1,70	1,46	1,19	1,04	0,11
p = 7	3,57	3,14	2,62	2,33	2,00	1,72	1,41	1,23	0,13
8	4,09	3,59	3,01	2,67	2,30	1,98	1,62	1,43	0,15
9	4,61	4,05	3,39	3,02	2,60	2,24	1,84	1,62	0,16
10	5,12	4,51	3,78	3,36	2,90	2,50	2,05	1,81	0,17

3. Для **трехцилиндровыхъ машинъ** (тройного расширенія).

$\frac{s_1}{s}$ =	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,035	0,03	0,025	Сжатіе Δ
p = 9	2,46	2,12	1,74	1,52	1,31	1,19	1,07	0,94	0,11
10	2,73	2,35	1,93	1,69	1,45	1,32	1,18	1,04	0,12
11	3,01	2,59	2,13	1,87	1,60	1,45	1,30	1,15	0,13
p = 12	3,29	2,83	2,33	2,04	1,75	1,59	1,42	1,25	0,14
13	3,56	3,06	2,52	2,20	1,89	1,71	1,53	1,34	0,16
14	3,83	3,29	2,71	2,37	2,03	1,84	1,64	1,44	0,18

При сжатіи пара передъ поршнемъ до упругости свѣжевходящаго пара (въ табл. 2. въ обоихъ, въ табл. 3. во всѣхъ трехъ цилиндрахъ) слѣдуетъ табличныя данныя уменьшать на величины Δ послѣдняго столбца (если $m = 0{,}03$).

НТБ ДНУЗТ

Таблица V.

Коэффиціенты полезнаго дѣйствія η и величины $1 : \eta$ при нормальныхъ наполненіяхъ (для предварительныхъ разсчетовъ).

$\frac{N_n}{c}$	Машины безъ охлажденія (простыя).			Машины съ охлажденіемъ пара:					
				одноцилиндровыя.			двухцилиндровыя.		
	$\frac{N_i}{c}$	η	$\frac{1}{\eta}$	$\frac{N_i}{c}$	η	$\frac{1}{\eta}$	$\frac{N_i}{c}$	η	$\frac{1}{\eta}$
3	4,2	0,71	1,41						
4	5,6	0,72	1,40	.	.	.			
5	6,9	0,72	1,38	7,4	0,68	1,47			
6	8,2	0,73	1,37	8,7	0,69	1,46			
8	10,8	0,74	1,35	11,5	0,70	1,43			
10	13,3	0,75	1,33	14,1	0,71	1,41	14,6	0,68	1,47
12	15,7	0,76	1,32	16,6	0,72	1,39	17,3	0,69	1,44
14	18,2	0,77	1,30	19,1	0,73	1,37	20,0	0,70	1,43
16	20,6	0,78	1,29	21,6	0,74	1,35	22,6	0,71	1,41
18	23,0	0,78	1,28	24,1	0,75	1,34	25,1	0,72	1,40
20	25,5	0,79	1,27	26,6	0,75	1,33	27,7	0,72	1,38
25	31,5	0,79	1,26	32,9	0,76	1,32	34,0	0,73	1,36
30	37,5	0,80	1,25	39,1	0,77	1,30	40,4	0,74	1,35
35	43,4	0,81	1,24	45,1	0,78	1,29	46,7	0,75	1,34
40	49,1	0,81	1,23	51,1	0,78	1,28	53,0	0,76	1,32
50	60,9	0,82	1,22	63,2	0,79	1,26	65,2	0,77	1,30
60	72,5	0,83	1,21	75,2	0,80	1,26	77,3	0,78	1,29
70	84,0	0,83	1,20	87,1	0,80	1,25	89,4	0,78	1,28
80	95,5	0,84	1,20	98,9	0,81	1,24	101,6	0,79	1,27
90	106,9	0,84	1,19	110,5	0,81	1,23	113,8	0,79	1,27
100	118	0,85	1,18	122	0,82	1,22	126	0,79	1,26
120	141	0,85	1,18	146	0,82	1,22	150	0,80	1,25
140	165	0,85	1,18	169	0,83	1,21	174	0,80	1,24
160	187	0,85	1,17	193	0,83	1,20	198	0,81	1,24
180	210	0,86	1,17	216	0,83	1,20	222	0,81	1,23
200	233	0,86	1,16	239	0,84	1,20	246	0,81	1,23
300	346	0,87	1,15	354	0,85	1,18	367	0,82	1,22
400	459	0,87	1,15	469	0,85	1,17	486	0,82	1,22
500	574	0,88	1,14	583	0,86	1,17	604	0,83	1,21
600	683	0,88	1,14	696	0,86	1,16	721	0,83	1,20
800	902	0,89	1,13	922	0,87	1,15	956	0,84	1,19
1000	1125	0,89	1,13	1149	0,87	1,15	1191	0,84	1,19
1500	1674	0,90	1,12	1711	0,88	1,14	1769	0,85	1,18
2000	2220	0,90	1,11	2268	0,88	1,13	2342	0,85	1,17

Для **двухцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія** можно принимать η на 0,03 менѣе, чѣмъ у одноцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія. Для **трехцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ** η принимается на 0,02 менѣе, чѣмъ у двухцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ.

НТБ ДНУЗТ

Таблица VI.

Давленіе, необходимое для преодолѣнія сопротивленій при ходѣ машины порожнемъ σ (kg/qcm или атм.) и коэффиціентъ μ добавочнаго тренія.

Для одноцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія: $\sigma = \sigma' + \sigma''$,

гдѣ $$\sigma' = 0{,}042\sqrt{p} \quad \text{и} \quad \sigma'' = \frac{0{,}025}{d}.$$

Для одноцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ: $\sigma = \sigma_c' + \sigma_c''$,

гдѣ $$\sigma_c' = 0{,}025 + 0{,}05\sqrt{p} \quad \text{и} \quad \sigma_c'' = \frac{0{,}045}{d}.$$

Величины $0{,}042\sqrt{p}$ и $0{,}05\sqrt{p}$ опредѣляются въ зависимости отъ большей или меньшей степени прочности конструкціи машинъ.

Машины.	Легкія.		Средней прочности.			Весьма прочныя.			
При давленіи $p =$ для машинъ:	3	4	5	6	7	8	10	12	14
безъ охлажд. $\sigma' =$	0,073	0,084	0,094	0,103	0,111	0,119	0,133	0,146	0,157
съ „ $\sigma_c' =$	0,112	0,125	0,137	0,148	0,157	0,166	0,183	0,198	0,212

Діаметръ поршня. d m	Безъ охлажденія. σ''	Съ охлажденіемъ. σ_c''	Для всѣхъ машинъ. μ	Для всѣхъ машинъ. $\frac{1}{1+\mu}$	Діаметръ поршня. d m	Безъ охлажденія. σ''	Съ охлажденіемъ. σ_c''	Для всѣхъ машинъ. μ	Для всѣхъ машинъ. $\frac{1}{1+\mu}$
0,12	0,208		0,212	0,825	0,60	0,042	0,075	0,112	0,900
0,14	0,179		0,204	0,831	0,70	0,036	0,064	0,101	0,908
0,16	0,156	0,281	0,197	0,836	0,80	0,031	0,056	0,092	0,916
0,18	0,139	0,250	0,190	0,841	0,90	0,028	0,050	0,086	0,921
0,20	0,125	0,225	0,183	0,845	1,00	0,025	0,045	0,079	0,927
0,25	0,100	0,180	0,170	0,855	1,20	0,021	0,038	0,077	0,928
0,30	0,083	0,150	0,157	0,864	1,40	0,018	0,032	0,075	0,930
0,35	0,072	0,129	0,147	0,872	1,60	0,016	0,028	0,073	0,932
0,40	0,063	0,113	0,138	0,879	1,80	0,014	0,025	0,071	0,933
0,45	0,056	0,100	0,130	0,885	2,00	0,013	0,023	0,070	0,935
0,50	0,050	0,090	0,122	0,891	2,50	0,010	0,018	0,066	0,938
0,55	0,046	0,082	0,117	0,895	3,00	0,008	0,015	0,063	0,941

Для двухцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія величину σ'' необходимо увеличивать на 50%. Для двухцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ пара σ_c'' увеличивается на 25%, а для трехцилиндровыхъ съ охлажденіемъ — на 40% противъ вышеприведенныхъ данныхъ таблицы.

Примѣчаніе. Коэффиціентъ μ для хорошихъ машинъ выходитъ значительно меньше; чѣмъ больше мы примемъ величину μ, тѣмъ разсчетъ будетъ произведенъ осторожнѣе. Если принять μ на 30% больше, то $1 : (1 + \mu)$ (а слѣд. и коэффиціентъ полезнаго дѣйствія) будетъ только на 4 до 2% меньше.

НТБ ДНУЗТ

Таблица VII A.

Полезный расходъ пара C_i' на 1 индикаторную силу въ 1 часъ въ kg для одноцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія пара.

1. Съ кулисснымъ парораспредѣленіемъ.

Примѣчаніе. Для хорошо исполненныхъ машинъ величина C_i' можетъ быть принимаема на 0,8 kg менѣе.

Наполн. $\frac{s_1}{s}$ =	0,7	0,6	0,5	0,4	0,333	0,30	0,25	0,20	0,15
p = 2,5	22,6	22,0	22,3	.					
3	19,6	18,6	18,0	18,2	.				
3,5	17,7	16,8	15,9	15,4	15,5				
4	16,7	15,6	14,7	14,0	13,7	13,7			
4,5	15,9	14,8	13,9	13,0	12,6	12,4			
p = 5	15,3	14,2	13,3	12,4	11,9	11,6	11,3		
5,5	14,9	13,8	12,8	12,0	11,4	11,1	10,8		
6	14,4	13,4	12,4	11,5	10,9	10,6	10,2	9,8	
6,5	14,1	13,1	12,1	11,2	10,6	10,4	9,9	9,5	
p = 7	13,9	12,8	11,9	10,9	10,3	10,2	9,6	9,2	8,8
8	13,5	12,5	11,5	10,6	10,0	9,6	9,2	8,8	8,5
9	13,1	12,1	11,2	10,3	9,7	9,4	8,9	8,5	8,2
10	12,9	11,9	11,0	10,1	9,4	9,1	8,7	8,3	8,0

2. Съ расширительнымъ парораспредѣленіемъ.

Примѣчаніе. Для хорошо исполненныхъ и хорошо содержимыхъ машинъ величина C_i' можетъ быть принимаема въ среднемъ на 0,7 kg меньше.

Наполн. $\frac{s_1}{s}$ =	0,7	0,6	0,5	0,4	0,333	0,30	0,25	0,20	0,15	0,125	0,10
p = 2,5	21,7	20,4	19,5	19,5	20,4	21,5	.				
3	18,6	17,3	16,3	15,6	15,6	15,8	16,6	.			
3,5	16,9	15,6	14,5	13,7	13,3	13,5	14,3	17,0			
4	15,8	14,6	13,5	12,7	12,1	11,9	11,9	12,1	13,3		
4,5	15,0	13,8	12,7	11,8	11,3	11,1	10,8	10,9	11,4	12,2	.
p = 5	14,5	13,3	12,2	11,2	10,7	10,4	10,2	10,0	10,3	10,7	11,6
5,5	14,1	12,9	11,8	10,8	10,3	10,0	9,7	9,5	9,6	9,9	10,5
6	13,7	12,5	11,4	10,4	9,9	9,6	9,3	9,0	9,0	9,1	9,4
6,5	13,4	12,2	11,2	10,2	9,6	9,4	9,0	8,7	8,6	8,7	8,9
p = 7	13,1	12,0	10,9	9,9	9,4	9,1	8,7	8,4	8,2	8,2	8,4
8	12,7	11,6	10,6	9,6	9,0	8,7	8,3	8,0	7,7	7,7	8,0
9	12,4	11,3	10,3	9,3	8,7	8,5	8,1	7,7	7,4	7,3	7,3
10	12,1	11,1	10,1	9,1	8,5	8,2	7,8	7,5	7,1	7,0	6,9

Для двухцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія, съ сжатіемъ пара въ обоихъ цилиндрахъ, а также для трехцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ пара и сжатіемъ во всѣхъ трехъ цилиндрахъ до упругости свѣжевходящаго пара, принимаютъ по меньшей мѣрѣ:

$$C_i' = 27\,\gamma\,\frac{s_1}{s}\,\frac{1}{p_i};$$

(гдѣ γ вѣсъ 1 cbm пара давленіемъ p въ kg по Флигнеру, см. табл. стр. 286 и 287).

НТБ ДНУЗТ

Таблица VII B.

Полезный расходъ пара C_i' въ kg на 1 индикаторную силу въ часъ для машинъ съ охлажденіемъ пара.

1. Одноцилиндровыя машины (съ паровою рубашкой).

Для одноцилиндровыхъ машинъ безъ паровой рубашки величина C_i' принимается больше на величину, данную въ послѣдней строкѣ таблицы; для хорошо исполненныхъ паровыхъ машинъ съ рубашкой принимается, напротивъ того, меньше на ту же величину, а для такихъ же машинъ безъ рубашки принимается въ среднемъ на 0,2 до 0,4 kg менѣе.

Наполн. $\frac{s_1}{s}$ =	0,5	0,4	0,333	0,30	0,25	0,20	0,15	0,125	0,10	0,07	0,05
p = 2,5	10,6	9,6	9,0	8,7	8,2	7,8	7,3	7,2	7,1		
3	10,3	9,3	8,7	8,4	7,9	7,5	7,1	6,9	6,7	6,6	
3,5	10,1	9,1	8,5	8,2	7,8	7,3	6,9	6,7	6,5	6,3	6,3
4	10,0	9,0	8,4	8,1	7,6	7,2	6,7	6,5	6,3	6,1	6,1
4,5	9,8	8,9	8,2	7,9	7,5	7,0	6,6	6,4	6,2	6,0	5,9
p = 5	9,7	8,8	8,1	7,8	7,4	6,9	6,5	6,3	6,1	5,9	5,8
5,5	9,6	8,7	8,1	7,8	7,3	6,9	6,4	6,2	6,0	5,8	5,7
6	9,5	8,6	8,0	7,7	7,2	6,8	6,4	6,2	5,9	5,7	5,6
6,5	9,5	8,5	7,9	7,6	7,2	6,8	6,3	6,1	5,9	5,7	5,5
p = 7	9,4	8,5	7,9	7,6	7,1	6,7	6,2	6,0	5,8	5,6	5,5
8	9,3	8,4	7,8	7,5	7,0	6,6	6,2	5,9	5,7	5,5	5,4
9	9,2	8,3	7,7	7,4	6,9	6,5	6,1	5,9	5,7	5,4	5,3
10	9,1	8,2	7,6	7,3	6,9	6,5	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2
безъ рубашки плюсъ	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

2. Двухцилиндровыя машины (съ паровой рубашкой, по крайней мѣрѣ, у цилиндра высокаго давленія).

Данныя таблицы относятся до хорошихъ машинъ (безъ обогрѣваемаго ресивера, но при своевременной отсѣчкѣ пара); для безукоризненно исполненныхъ машинъ съ ресиверомъ C_i' при малыхъ наполненіяхъ можно принимать на 0,5 до 0,7 kg менѣе.

Наполн. $\frac{s_1}{s}$ = (отнес.)	0,25	0,20	0,15	0,125	0,10	0,07	0,05	0 04
p = 3	7,7	7,2	6,7	6,5	6,4	6,5	6,7	
3,5	7,5	7,0	6,5	6,3	6,1	6,1	6,3	
4	7,3	6,8	6,3	6,0	5,9	5,8	5,9	6,0
4,5	7,2	6,7	6,2	5,9	5,7	5,6	5,6	5,7
p = 5	7,1	6,6	6,0	5,8	5,6	5,4	5,4	5,4
5,5	7,1	6,5	6,0	5,7	5,5	5,3	5,2	5,3
6	7,0	6,5	5,9	5,6	5,4	5,2	5,1	5,1
6,5	7,0	6,4	5,8	5,6	5,3	5,0	4,9	5,0
p = 7	6,9	6,3	5,8	5,5	5,2	4,9	4,8	4,8
8	6,9	6,3	5,7	5,4	5,1	4,8	4,7	4,7
9	6,8	6,2	5,6	5,4	5,0	4,7	4,6	4,5
10	6,7	6,2	5,6	5,3	5,0	4,6	4,4	4,4

НТБ ДНУЗТ

d. Ходъ разсчета.

1. Предварительный разсчетъ для построенія паровой машины данной силы.

Главное уравненіе: $$N_i = \frac{10\,000}{75} p_i F c.$$

Даны: N_n и абсолютное давленіе пара въ котлѣ p_0. При разсчетахъ принимаютъ $p = 0{,}9\,p_0 - 0{,}5$, для машинъ подъемныхъ и, $p = 0{,}8\,p_0 - 0{,}5$ (относительно p см. также стр. 798, $p : p_0$ для паровозовъ см. ч. II, желѣзнодорожное дѣло). Посредствомъ табл. II, стр. 784, принимаютъ наполненіе $s_1 : s$, равно какъ и среднюю скорость поршня c изъ табл. I, стр. 783 (такимъ образомъ опредѣляется одновременно и числовая величина $ns = 30\,c$). Опредѣляемъ затѣмъ $N_n : c$, для чего изъ таблицы V, стр. 789, беремъ:

$$\frac{N_i}{c} = \frac{1}{\eta}\,\frac{N_n}{c};$$

послѣ чего посредствомъ таблицы III, стр. 785 и 786, опредѣляемъ:

$$p_i = f p - f' p'.$$

Изъ главнаго уравненія опредѣляется:

$$F = \frac{75}{10000}\,\frac{N_i}{c}\,\frac{1}{p_i}.$$

Прибавляя 1,5 до 3% для сѣченія поршневого стержня, имѣемъ:

$$^1/_4\,\pi d^2 = 1{,}015\,F \text{ до } 1{,}03\,F,$$

откуда опредѣляется (предварительно) d; изъ $ns = 30\,c$ опредѣляемъ s и n.

Примѣръ. Для одноцилиндровой машины съ охлажденіемъ и паровой рубашкой при $N_n = 50$ силъ и $p_0 = 5$ имѣемъ:

$p = 4$; $\frac{s_1}{s} = 0{,}15$ (табл. II); $c = 1{,}5$ (табл. I); $ns = 30\,c = 45$; $\frac{N_n}{c} = 33{,}3$;

$\eta = 0{,}77$ (табл. V); $\frac{1}{\eta} = 1{,}29$; $\frac{N_i}{c} = 43{,}1$ (табл. V); $N_i = 1{,}5 \cdot 43{,}1 = 64{,}7$;

$p_i = 0{,}46 \cdot 4 - 1{,}024 \cdot 0{,}21 = 1{,}62$ (табл. III); $F = \frac{75}{10000} \cdot 43{,}1 \cdot \frac{1}{1{,}62} = 0{,}1996$;

$^1/_4\,\pi d^2 = 1{,}03\,F = 0{,}2056$; отсюда $d = 0{,}512$ m; если принять $s = 1$ m, то

$$n = \frac{30\,c}{s} = 45.$$

2. Разсчетъ существующихъ машинъ или машинъ, предположенныхъ существующими.

(Одновременно и окончательное вычисленіе размѣровъ, опредѣленныхъ предварительнымъ разсчетомъ, см. 1.).

Главное уравненіе:

$$N_n = \frac{10000}{75} p_n F c = \frac{10000}{75}\,\frac{1}{1+\mu}\,(p_i - \sigma) F c,$$

$$\left(\text{или} \qquad N_i = \frac{10000}{75} p_i F c\right).$$

НТБ ДНУЗТ

Даны: d, F, s, n, c, p и $s_1 : s$.

Посредствомъ табл. III, стр. 785, опредѣляемъ $p_i = f p - f' p'$ и изъ табл. VI (стр. 790) беремъ $\sigma = \sigma' + \sigma''$ (для машинъ безъ охлажденія) или $\sigma = \sigma_c' + \sigma_c''$ (для машинъ съ охлажд.), равно какъ и $\frac{1}{1+\mu}$; тогда посредствомъ главнаго уравненія опредѣляется N_n (или N_i).

Для машины, у которой размѣры опредѣлены по предварительному разсчету, находимъ изъ главнаго уравненія, при данной величинѣ N_n, точныя величины F и d (исправленныя).

Примѣръ. Для машины съ охлажденіемъ, размѣры которой предварительно опредѣлены въ предыдущемъ примѣрѣ (стр. 793) и гдѣ $d = 0{,}512$ m, имѣемъ для этой величины d и при $p = 4$ изъ табл. VI (если машина построена легко):

$$\sigma = \sigma_c' + \sigma_c'' = 0{,}125 + 0{,}088 = 0{,}213 \quad \text{и} \quad \frac{1}{1+\mu} = 0{,}892;$$

изъ главнаго уравненія находимъ:

$$50 = \frac{10\,000}{75} \cdot 0{,}892\,(1{,}62 - 0{,}213)\,F \cdot 1{,}5,$$

откуда имѣемъ:

$F = 0{,}1992$; слѣд.: $^1/_4 \pi d^2 = 1{,}03\,F = 0{,}2052$ и $d = 0{,}511$ m

(величина, весьма мало отличающаяся отъ найденной предварительнымъ разсчетомъ). Чтобы опредѣлить работу этой машины (предполагаемой существующею, при $d = 0{,}512$, $F = 0{,}200$, $c = 1{,}5$ и $p = 4$) для наполненія $^1/_3$ (т.-е. $s_1 \quad s = 0{,}333$), мы имѣемъ изъ табл. III $p_i = 0{,}692 \cdot 4 - 1{,}024 \cdot 0{,}21 = 2{,}553$, а изъ главнаго уравненія:

$$N_i = 101{,}7 \text{ лош. силъ} \quad \text{и} \quad N_n = 83{,}5 \text{ лош. силъ.}$$

e. Особыя данныя для машинъ компаундъ.

1. Двухцилиндровыя машины съ охлажденіемъ.

Отношеніе объемовъ $v : V$ обоихъ цилиндровъ у вновь проектируемыхъ машинъ опредѣляется на основаніи отнесеннаго (къ большому цилиндру) наполненія $s_1 : s$ (соотвѣтственно давленію p въ періодъ наполненія) слѣдующимъ образомъ.

а) У паровыхъ **машинъ компаундъ** (съ кривошипами подъ угломъ 90°), если объемъ ресивера принятъ больше, нежели v (объемъ малаго цилиндра), и въ случаяхъ:

α) если желательно, чтобы работа была распредѣлена поровну на оба цилиндра,

β) если желательно, чтобы работа была распредѣлена поровну на 4 квадранта,

γ) если работа должна быть распредѣлена по α) и β) въ одинаковой степени; тогда для вышеприведенныхъ случаевъ α), β), γ), если паръ въ концѣ періода расширенія (общаго) имѣетъ упругость:

	въ 0,6 атм.:					въ 0,5 атм.:				
	$p =$	5	6	8	10	$p =$	5	6	8	10
	$s_1 : s =$	0,12	0,10	0,075	0,06	$s_1 : s =$	0,10	0,083	0,063	0,05
α)	$v : V =$	0,60	0,54	0,47	0,42	$v : V =$	0,52	0,48	0,41	0,36
β)	$v : V =$	0,48	0,44	0,38	0,34	$v : V =$	0,42	0,39	0,34	0,30
γ)	$v : V =$	0,54	0,49	0,43	0,38	$v : V =$	0,47	0,43	0,37	0,33

НТБ ДНУЗТ

Наполненіе въ маломъ цилиндрѣ $s_1' : s' = (s_1 : s) : (v : V)$; наполненіе въ большомъ цилиндрѣ $S_1 : S = v : V$ (до тѣхъ поръ, пока $\nu < 0{,}5$).

b) У хорошо исполненныхъ паровыхъ **машинъ Вульфа** (съ поршнями, движущимися по одному и тому же или по направленіямъ противоположнымъ, при возможно меньшей потерѣ давленія, маломъ ресиверѣ, представляющемъ соединительную трубу), для приблизительно равнаго распредѣленія работы между обоими цилиндрами, если паръ въ концѣ періода расширенія (общаго) имѣетъ упругость:

въ 0,6 атм.:					въ 0,5 атм.:				
$p =$	5	6	8	10	$p =$	5	6	8	10
$s_1 : s =$	0,12	0,10	0,075	0,06	$s_1 : s =$	0,10	0,083	0,063	0,05
$v : V =$	0,40	0,35	0,30	0,27	$v : V =$	0,35	0,31	0,26	0,23.

Наполненіе въ маломъ цилиндрѣ здѣсь такъ же, какъ въ a).

Наполненіе въ большомъ цилиндрѣ $S_1 : S$, для возможно меньшей потери давленія, зависитъ, кромѣ величины $v : V$, еще отъ (относительной) величины объема, соединяющаго оба цилиндра (ресивера); если ресиверъ представляетъ обыкновенную соединительную трубу объемомъ около $0{,}2\,V$, то:

для $v : V =$	0,4	0,333	0,3	0,25
$S_1 : S =$	0,65	0,55	0,49	0,41.

2. Двухцилиндровыя машины безъ охлажденія *).

(Съ расширительнымъ пораспредѣленіемъ).

a) Для паровыхъ **машинъ компаундъ** (съ кривошипами подъ угломъ 90°), гдѣ паръ расширяется (общее расширеніе) до давленія около 1,5 атм., и если требуется распредѣленіе работы, какъ указано выше для машинъ съ охлажденіемъ, по α, β или γ, то необходимо (въ предположеніи, что объемъ ресивера равенъ объему V большого цилиндра):

	$p =$	8	9	10	12	$\beta)$	$v : V =$	0,47	0,44	0,40	0,37
	$s_1 : s =$	0,20	0,17	0,15	0,125	$\gamma)$	$v : V =$	0,51	0,48	0,44	0,41
$\alpha)$	$v : V =$	0,56	0,53	0,49	0,46						

b) Для хорошо исполненныхъ паровыхъ **машинъ Вульфа** (съ объемомъ ресивера, равнымъ объему v малаго цилиндра), при распредѣленіи всей работы поровну между обоими цилиндрами и при упругости пара въ концѣ періода (общаго) расширенія въ 1,5 атм., имѣемъ:

$p =$	8	9	10	12	$v : V =$	0,44	0,40	0,36	0,33
$s_1 : s =$	0,20	0,17	0,15	0,125	$S_1 : S =$	0,61	0,57	0,53	0,49

*) Данныя взяты изъ статьи „Ueber Compound-Maschinen mit hohem Dampfdrucke“ профессора A. Kas, см. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1888, № 11 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

3. Трехцилиндровыя машины съ охлажденіемъ и тройнымъ расширеніемъ пара *).

(Съ расширительнымъ пароraспредѣленіемъ). **)

v_1 объемъ и $s'_1 : s'$ наполненіе въ цилиндрѣ высокаго давленія,
v_2 „ „ $s''_1 : s''$ „ „ „ средняго „ ,
V „ „ $S_1 : S$ „ „ „ низкаго „ ,
$s_1 : s$ наполненіе, соотвѣтствующее общему расширенію (отнесенное).

r_1 объемъ перваго ресивера (между v_1 и v_2);
r_2 „ второго „ („ v_2 „ V).

a) **Машины съ тремя кривошипами,** насаж. подъ угл. 120^0.

α) При распредѣленіи работы поровну между всѣми тремя цилиндрами и въ предположеніи: $r_1 \sim v_1$, $r_2 \sim v_2$,
для упругости пара въ концѣ расширенія (общаго) въ 0,5 атм.

1. Кривошипъ средняго цилиндра опережаетъ кривошипъ цилиндра высокаго давленія:

$p =$	9	10	12	14 атм.	$v_1 : v_2 =$	0,27	0,26	0,25	0,245
$s_1 : s =$	0,056	0,050	0,042	0,036	$s_1' : s' =$	0,31	0,30	0,28	0,26
$v_1 : V =$	0,18	0,17	0,15	0,14	$s_1'' : s'' =$	0,32	0,31	0,30	0,29
$v_2 : V =$	0,67	0,65	0,60	0,57	$S_1 : S =$	0,67	0,66	0,61	0,59.

2. Кривошипъ цилиндра высокаго давленія опережаетъ кривошипъ цилиндра средняго давленія:

$p =$	9	10	12	14 атм.	$v_1 : v_2 =$	0,36	0,35	0,33	0,32
$s_1 : s =$	0,056	0,050	0,042	0,036	$s_1' : s' =$	0,27	0,26	0,24	0,22
$v_1 : V =$	0,21	0,19	0,18	0,16	$s_1'' : s'' =$	0,42	0,40	0,38	0,35
$v_2 : V =$	0,57	0,55	0,53	0,51	$S_1 : S =$	0,71	0,68	0,65	0,63.

β) Въ случаѣ одинаковаго распредѣленія работы въ отдѣльныхъ секстантахъ, при очень большихъ ресиверахъ и при давленіи въ концѣ расширенія 0,5 атм., при какомъ угодно расположеніи кривошиповъ:

$p =$	9	10	12	14 атм.	$v_1 : v_2 =$	0,38	0,37	0,35	0,33
$s_1 : s =$	0,056	0,050	0,042	0,036	$s_1' : s' =$	0,38	0,37	0,35	0,33
$v_1 : V =$	0,146	0,135	0,120	0,108	$s_1'' : s'' =$	0,38	0,37	0,35	0,33
$v_2 : V =$	0,38	0,37	0,35	0,33	$S_1 : S =$	0,38	0,37	0,35	0,33,

т.-е. наполненіе распредѣляется равномѣрно на всѣ три цилиндра.

Соотношенія, приведенныя въ α), нѣсколько велики, а въ β) — нѣсколько малы, почему правильнѣе принимать среднія значенія между α и β. (однако ближе къ β).

b) **Машины о двухъ кривошипахъ,** насаженныхъ подъ угломъ 90^0. (Цилиндры высокаго давленія и средняго давленія имѣютъ одинъ общій кривошипъ).

Распредѣленіе работы: работа въ цилиндрѣ высокаго давленія равна работѣ въ цилиндрѣ средняго давленія; сумма работъ въ

---

*) См. выноску на стр. 795.

**) Для трехцилиндровыхъ машинъ съ двойнымъ расширеніемъ (одинъ цилиндръ высокаго давленія и два цилиндра низкаго давленія) имѣются подробныя указанія въ той же статьѣ A. Kas.

НТБ ДНУЗТ

цилиндрѣ высокаго и средняго давленія = работѣ въ цилиндрѣ низкаго давленія.

Предполагаемъ: $r_1 \sim v_1$, $r_2 \sim v_2$; при упругости пара въ концѣ періода (общаго) расширенія въ 0,5 атм.:

$p =$	8	9	10	12	14 атм.
$s_1 : s =$	0,063	0,056	0,050	0,042	0,036
$v_1 : V =$	0,12	0,11	0,10	0,086	0,076
$v_2 : V =$	0,43	0,40	0,38	0,34	0,31
$v_1 : v_2 =$	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25
$s_1' : s' =$	0,53	0,52	0,50	0,49	0,47
$s_1'' : s'' =$	0,43	0,42	0,41	0,40	0,40
$S_1 : S =$	0,43	0,41	0,39	0,35	0,32.

f. Опредѣленіе расхода пара въ часъ C_i.

1) C_i' расходъ пара (полезный) берется непосредственно по табл. VII (стр. 791 и 792).

2) C_i'' (потеря на охлажденіе) получается, при $s \sim 2d$, для наиболѣе употребительныхъ наполненій на основаніи нижеслѣдующихъ величинъ произведеній $\sqrt{c}\,C_i''$ (черезъ раздѣленіе на $\sqrt{c}$).

Имѣемъ величины $C_i'' \sqrt{c}$:

для машинъ съ кулисснымъ распредѣленіемъ .		= 7,0 до 6,5	
„ машинъ безъ охлажден. съ расшир. парораспред.		= 6,0 „ 5,0	
„ одноцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ	безъ рубашки .	= 5,5 „ 5,0	
	съ рубашкой .	= 4,5 „ 4,2	
двухцилиндровыхъ машинъ	съ охлажденіемъ	= 4,0 „ 3,5	
трехцилиндровыхъ „	„ „	= 3,2 „ 3,0	
„ двухцилиндровыхъ „	безъ охлажденія	= 4,2 „ 4,0.	

(Меньшія числа относятся до болѣе совершенныхъ машинъ).

Въ двух- и трехцилиндровыхъ машинахъ предполагается паровая рубашка, по крайней мѣрѣ, у цилиндра высокаго давленія.

Если отношеніе $s : d$ значительно отличается отъ 2, то C_i'' исправляется помощью умноженія на слѣдующіе коэффиціенты:

При $s : d =$	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
Коэффиц. =	0,82	0,87	0,91	1	1,08	1,15	1,29	1,41.

3) C_i''' (потеря на пропусканіе пара) опредѣляется при нормальномъ состояніи машины по формулѣ:

$$C_i''' = \frac{8{,}8}{\sqrt{N_i c}} + \frac{1}{2c}$$ для одноцилиндровыхъ машинъ.

Для двухцилиндровыхъ машинъ передъ формулой ставится коэффиціентъ 0,8, а для трехцилиндровыхъ — 0,64.

Для хорошо содержимыхъ машинъ величина C_i''' можетъ быть уменьшена на половину (и даже больше), а для машинъ, видимо, пропускающихъ паръ, — увеличивается вдвое (или еще болѣе).

Потеря пара въ трубопроводѣ и отъ воды, увлекаемой паромъ

НТБ ДНУЗТ

изъ котла, можетъ быть принята въ 4 до 10% общаго расхода пара $C_i = C_i' + C_i'' + C_i'''$.

Примѣръ. Для паровой машины, съ охлажденіемъ пара и рубашкой, разсчетъ которой приведенъ на стр. 793, $N_n = 50$, $N_i = 64{,}7$, при $s_1 : s = 0{,}15$, $p = 4$, $p_i = 1{,}62$, $c = 1{,}5$, имѣемъ по таблицѣ VII B: $C_i' = 6{,}7$ (для хорош. маш. $C_i' = 6{,}7 - 0{,}5 = 6{,}2$); далѣе по предыдущему $\sqrt{c}\, C_i'' = 4{,}5$ (для хорош. маш. 4,2). Изъ $\sqrt{c} = 1{,}225$ слѣдуетъ $C_i'' = 3{,}7$ (для хорош. маш. 3,4). Для обыкновенной машины будемъ имѣть полный расходъ пара на индикаторную силу въ часъ: $C_i = C_i' + C_i'' + C_i''' = 6{,}7 + 3{,}7 + 1{,}2 = 11{,}6$ kg; для хорошей машины $C_i = 6{,}2 + 3{,}4 + 0{,}6 = 10{,}2$ kg; слѣд. расходъ пара въ часъ въ первомъ случаѣ $64{,}7 . 11{,}6 = 750{,}5$ kg, во второмъ случаѣ только $64{,}7 . 10{,}2 = 659{,}9$ kg.

При давленіи пара, большемъ 4 атм. (абсолютныхъ), расходъ пара будетъ соотвѣтственно менѣе.

II. Разсчетъ паровыхъ машинъ на основаніи діаграммы упругости пара.

Обозначенія см. на стр. 779 и 780. Отступленіе отъ этихъ обозначеній: конечное давленіе p_1 (вмѣсто p'). Кромѣ того, величина вреднаго пространства $s_0 = ms$ выражена въ частяхъ хода поршня.

a. Одноцилиндровыя машины.

Для обыкновенныхъ одноцилиндровыхъ паровыхъ шинъ двойного дѣйствія имѣемъ вообще:

$$N_i = \frac{10000}{75} p_i F c, \qquad \text{или}$$

$$N_n = \eta \frac{10000}{75} p_i F c = \eta \frac{10000}{75} p_i F \frac{s n}{30} = 4{,}44 \eta p_i F s n.$$

Отсюда имѣемъ **сѣченіе цилиндра** (или точнѣе полезную площадь поршня) въ qm:

$$F = \frac{0{,}225 N_n}{\eta p_i s n} = \frac{9}{40} \frac{N_n}{\eta p_i s n}.$$

Вмѣсто вычисленія величины p_i — средняго индикаторнаго давленія — можно опредѣлять величину этого давленія посредствомъ **построенія діаграммы давленія пара** (откладывая по оси абсциссъ пути поршня, а по оси ординатъ—давленіе пара).

При этомъ построеніи должно быть принято въ разсчетъ нижеслѣдующее (см. черт. 636).

Давленіе пара въ цилиндрѣ во время впуска p принимается, въ зависимости отъ потери давленія при прохожденіи по паропроводнымъ трубамъ, нѣсколько меньше давленія пара въ котлѣ p_0 (при короткихъ паропроводахъ большого діаметра и при большомъ объемѣ парового и водяного пространствъ въ котлѣ—менѣе на 0,25 атм.; обыкновенно принимаютъ уменьшеніе этого

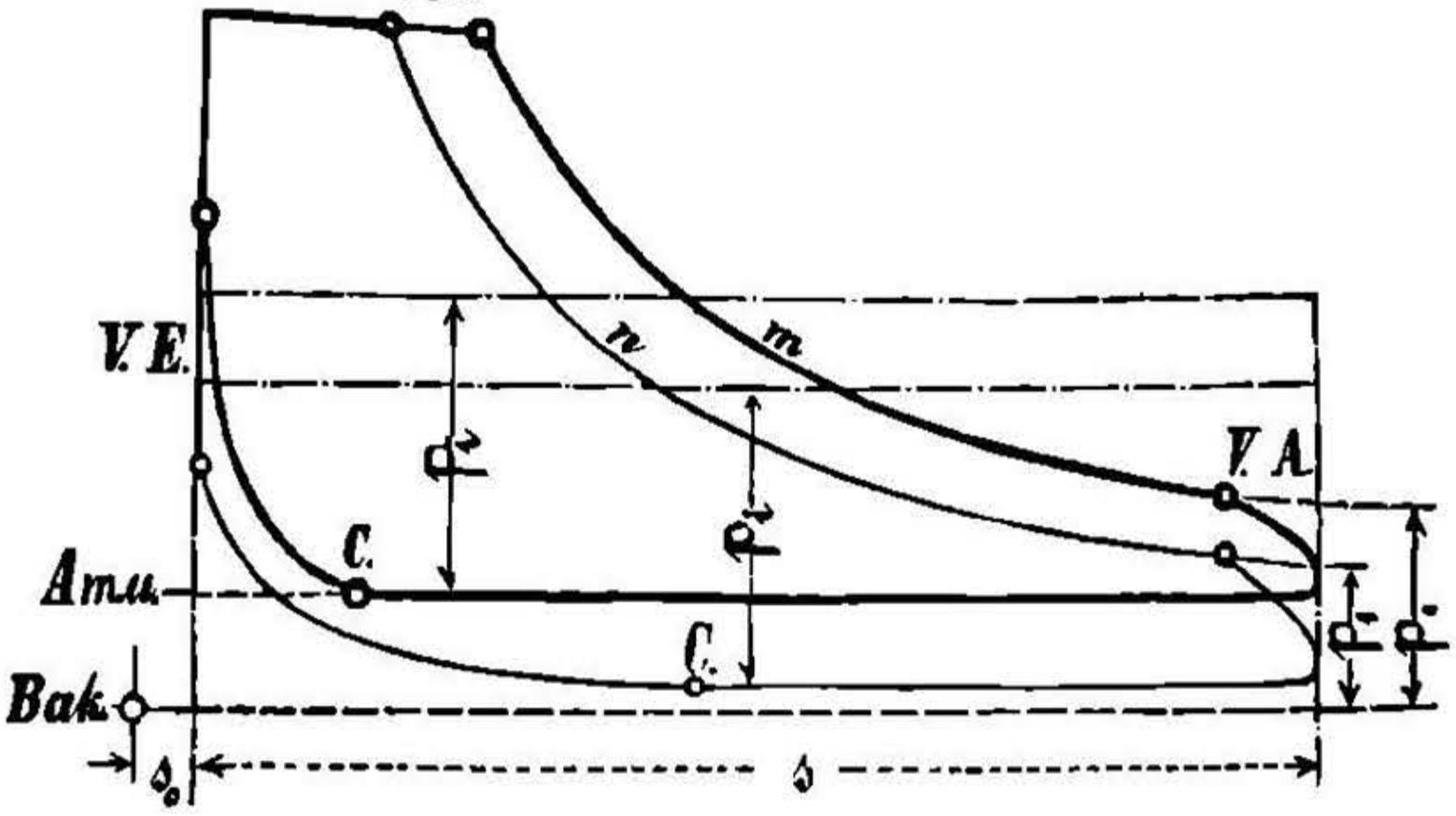
НТБ ДНУЗТ

давленія на 0,5 до 1 атм. противъ давленія въ котлѣ, смотря по обстоятельствамъ); см. также стр. 793.

Линія наполненія въ цилиндрѣ (до *Ex.*, черт 636) строится, смотря по скорости пара въ паровыхъ окнахъ, съ большимъ или меньшимъ уклономъ къ оси абсциссъ.

Линія расширенія пара (*Ex.* до *V.A.*), равно какъ и кри-

Черт. 636.



вая сжатія пара (*C.* до *V.E*), строятся на основаніи закона $pv =$ пост., какъ равнобокія гиперболы (построеніе см. черт. 637, стр. 800). Причемъ слѣдуетъ принимать во вниманіе величину вреднаго пространства $s_0 = m s$ (при плоскихъ коробчатыхъ золотникахъ и клапанныхъ пораспредѣленіяхъ $m = 0{,}07$, при золотникахъ круглыхъ $m = 0{,}02$ до $0{,}03$, для поршневыхъ золотниковъ m до $0{,}10$).

Кривая предваренія выпуска (отъ *V.A.*) наносится приблизительно (равно какъ и кривая предваренія впуска отъ *V.E.*). При точныхъ построеніяхъ можно эти кривыя построить на основаніи вычисленія скоростей пара въ паровыхъ каналахъ, соотвѣтствующихъ данному положенію поршня.

Противодавленіе исходящаго пара можетъ быть принято постояннымъ; у машинъ безъ охлажденія пара съ большими каналами для исходящаго пара и большимъ діаметромъ пароотводящей трубы давленіе это совпадаетъ съ атмосфернымъ, а у машинъ съ охлажденіемъ пара—съ давленіемъ въ холодильникѣ. При узкихъ каналахъ для исходящаго пара противодавленіе его больше, и опредѣляется на основаніи сопротивленія и скоростей пара въ этихъ каналахъ. Для предварительныхъ разсчетовъ можно принимать давленіе пара въ холодильникѣ въ 0,2 атм. (абсолют.) при нормальной температурѣ воды.

Начало расширенія *Ex.* опредѣляется для машинъ съ наименьшимъ расходомъ пара по наивыгоднѣйшей степени наполненія цилиндра (см. стр. 784), для остальныхъ машинъ—по общей степени расширенія, соображаясь съ условіями ея работы, равно и

НТБ ДНУЗТ

расходами на пріобрѣтеніе машины и ея содержаніе. Давленіе пара въ концѣ періода расширенія p_1 не должно быть меньше средняго индикаторнаго давленія при ходѣ машины порожнемъ. Начало расширенія опредѣляется (при выбранномъ p_1) посредствомъ обратнаго построенія кривой расширенія отъ точки p_1.

Начало сжатія пара *C*. опредѣляется обратнымъ построеніемъ кривой сжатія отъ *V.E*. Передъ концомъ хода поршня давленіе сжатаго пара должно быть меньше, нежели давленіе пара во время впуска; въ зависимости отъ скорости поршня и величины массъ движущаго механизма давленіе это должно давать достаточную работу сжатія. При перемѣнномъ давленіи во время выхода пара (цилиндръ высокаго давленія машинъ компаундъ съ перемѣннымъ наполненіемъ, равно какъ и машины, работающія то съ охлажденіемъ, то безъ охлажденія) давленіе въ періодъ сжатія должно быть провѣрено для различныхъ давленій, могущихъ имѣть мѣсто во время выхода пара.

Начало предваренія выпуска *V.A*. выбирается съ такимъ разсчетомъ, чтобы давленіе выходящаго рабочаго пара къ моменту перемѣны хода поршня могло упасть до давленія исходящаго пара, и происходитъ поэтому тѣмъ раньше, чѣмъ больше число оборотовъ машины.

Начало предваренія впуска пара *V.E*. опредѣляется съ такимъ разсчетомъ, чтобы къ моменту перемѣны хода поршня давленіе пара во вредномъ пространствѣ могло возрасти до упругости свѣжевходящаго пара. Начало предваренія должно происходить тѣмъ раньше, чѣмъ больше вредныя пространства и чѣмъ меньше сжатъ паръ, наполняющій эти вредныя пространства.

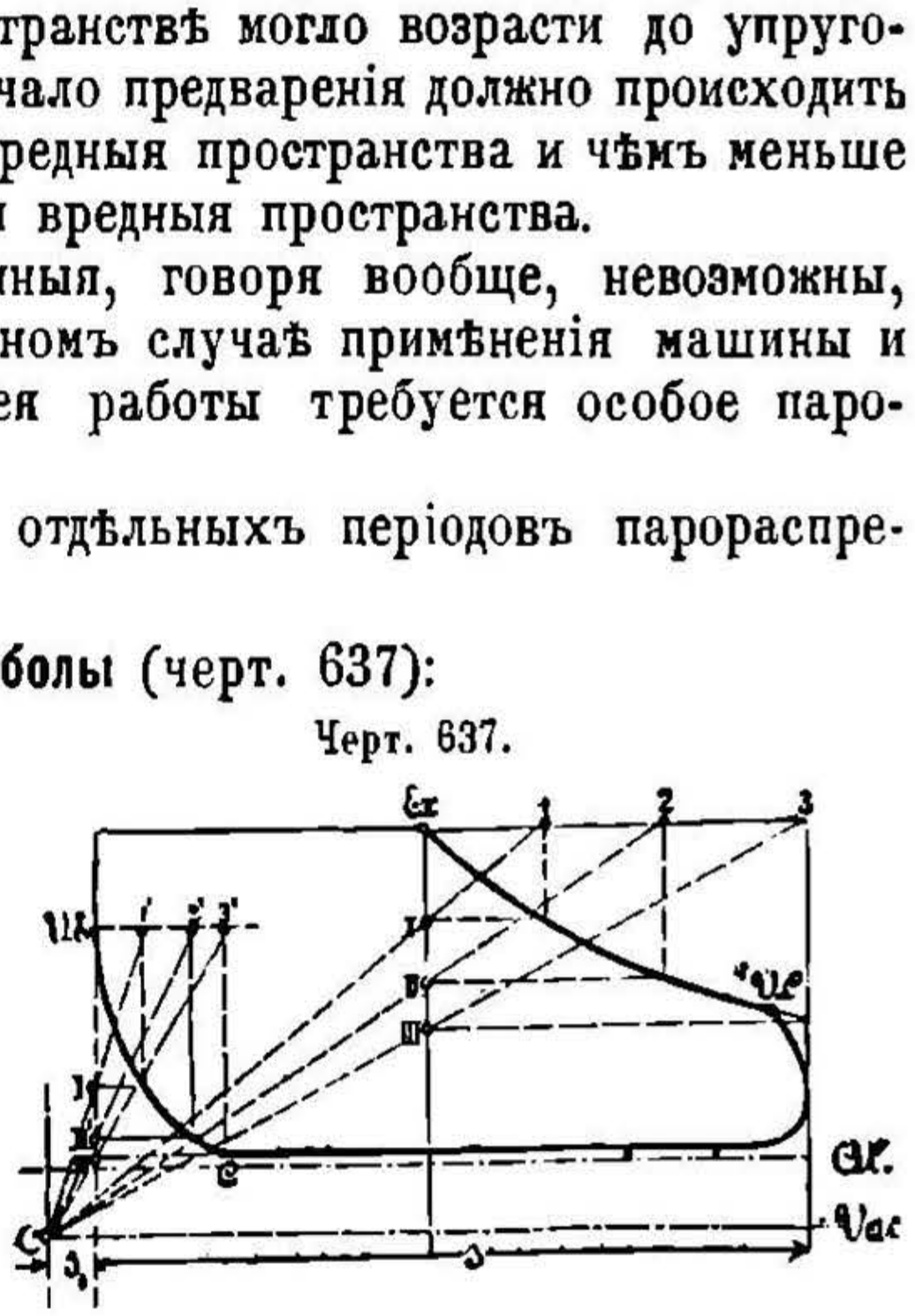
Опредѣленныя цифровыя данныя, говоря вообще, невозможны, такъ какъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ примѣненія машины и при различныхъ условіяхъ ея работы требуется особое парораспредѣленіе.

Взаимное соотношеніе отдѣльныхъ періодовъ парораспредѣленія см. стр. 813.

Построеніе равнобокой гиперболы (черт. 637):

а) для кривой расширенія: изъ точки *O*, положеніе которой опредѣляется откладываніемъ вреднаго пространства s_0, проводимъ прямыя 1, 2, 3; пересѣченія вертикальныхъ прямыхъ изъ 1, 2, 3 съ горизонтальными изъ I, II, III даютъ точки гиперболы;

Черт. 637.



b) для кривой сжатія: изъ *O* проводимъ прямыя 1′, 2′, 3′; въ пересѣченіи вертикальныхъ прямыхъ изъ 1′, 2′, 3′ съ горизонтальными изъ I′, II′, III′ получаемъ точки гиперболы.

НТБ ДНУЗТ

Въ обоихъ случаяхъ O представляетъ центръ гиперболы. Горизонтальная и вертикальная прямыя черезъ O представляютъ асимптоты равнобокой гиперболы (см. стр. 105 и слѣд.).

Примѣръ діаграммы для машины безъ охлажденія—кривая m, для машины съ охлажденіемъ—кривая n (черт. 636).

Изъ построенной такимъ образомъ діаграммы находимъ среднюю высоту посредствомъ одной изъ формулъ стр. 133, 6., или посредствомъ планиметра, какъ высоту прямоугольника, имѣющаго основаніемъ то же основаніе, что и построенная діаграмма, и равную послѣдней площадь; или какъ среднее ариеметическое всѣхъ среднихъ линій у 10 или 20 трапецій, которыя получаются раздѣленіемъ всей діаграммы рядомъ параллельныхъ, одинаково отстоящихъ, прямыхъ на 10 или 20 равныхъ частей; суммированіе производится циркулемъ.

По этой средней высотѣ теоретической діаграммы находимъ **среднее индикаторное давленіе** p_i, умноженіемъ этой высоты на нѣкоторый коэффиціентъ полноты < 1, выражающій потери при вычисленіи величины площади діаграммы. Этотъ коэффиціентъ можетъ быть принимаемъ для одно- (и двух-) цилиндровыхъ машинъ въ среднемъ равнымъ 0,9.

b. Двухъ-и многоцилиндровыя машины.

1. Подобнымъ же образомъ опредѣляются размѣры цилиндровъ сдвоенныхъ и строенныхъ машинъ, **машинъ Вульфа** (двойного расширенія, безъ ресивера), **машинъ компаундъ** (двухцилиндровыхъ двойного расширенія, съ ресиверомъ) и **многоцилиндровыхъ машинъ компаундъ** (съ послѣдовательнымъ расширеніемъ въ нѣсколькихъ цилиндрахъ) изъ діаграммъ для каждаго изъ цилиндровъ въ отдѣльности, причемъ сумма работъ пара во всѣхъ цилиндрахъ должна быть равна заданной работѣ N_i.

Для машинъ двойного или тройного расширенія **размѣры наибольшаго цилиндра** (низкаго давленія) опредѣляются по общей площади отдѣльныхъ діаграммъ, которыя должны быть изображены такъ, чтобы длины ихъ относились между собою, какъ объемы цилиндровъ (см. черт. 640 до 642). Среднее давленіе по общей діаграммѣ, составленной изъ отдѣльныхъ (для каждаго цилиндра), опредѣляется раздѣленіемъ площади общей діаграммы на длину діаграммы наибольшаго цилиндра (низкаго давленія). По этому среднему давленію опредѣляется площадь одного цилиндра съ такимъ разсчетомъ, чтобы вся требуемая работа могла развиваться въ этомъ одномъ цилиндрѣ. Діаметръ этого цилиндра долженъ быть принятъ за діаметръ цилиндра низкаго давленія. Коэффиціентъ полноты здѣсь принимается для машинъ двойного расширенія 0,8, для машинъ тройного расширенія 0,7

2. Для разсчета такой машины цѣлесообразно **предварительное построеніе** общей діаграммы въ предположеніи, что ресиверъ имѣетъ безконечно большой объемъ. Тогда діаграммы при любомъ

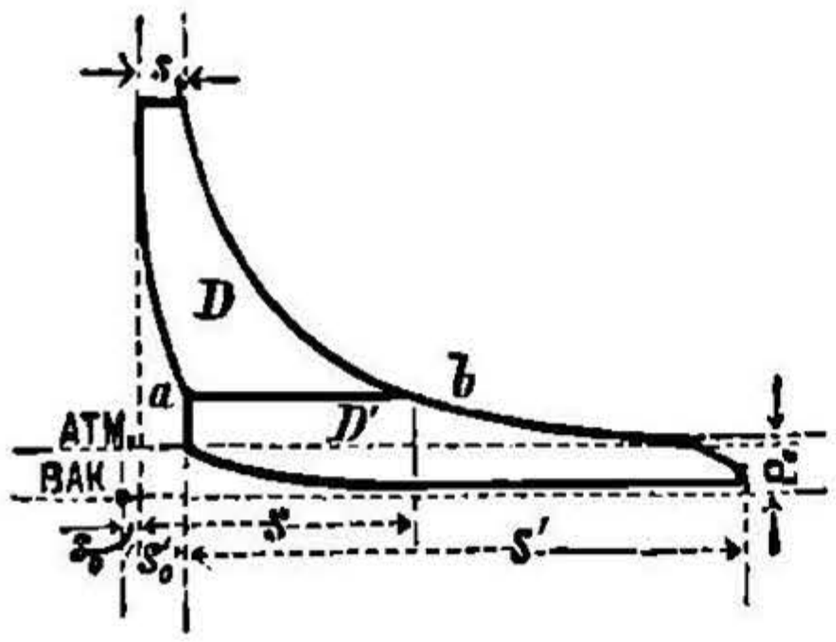
НТБ ДНУЗТ

относительномъ расположеніи кривошиповъ (напр., черт. 640 и 641) не отличаются другъ отъ друга, и раздѣляющія линіи отдѣльныхъ діаграммъ представляютъ горизонтальныя прямыя.

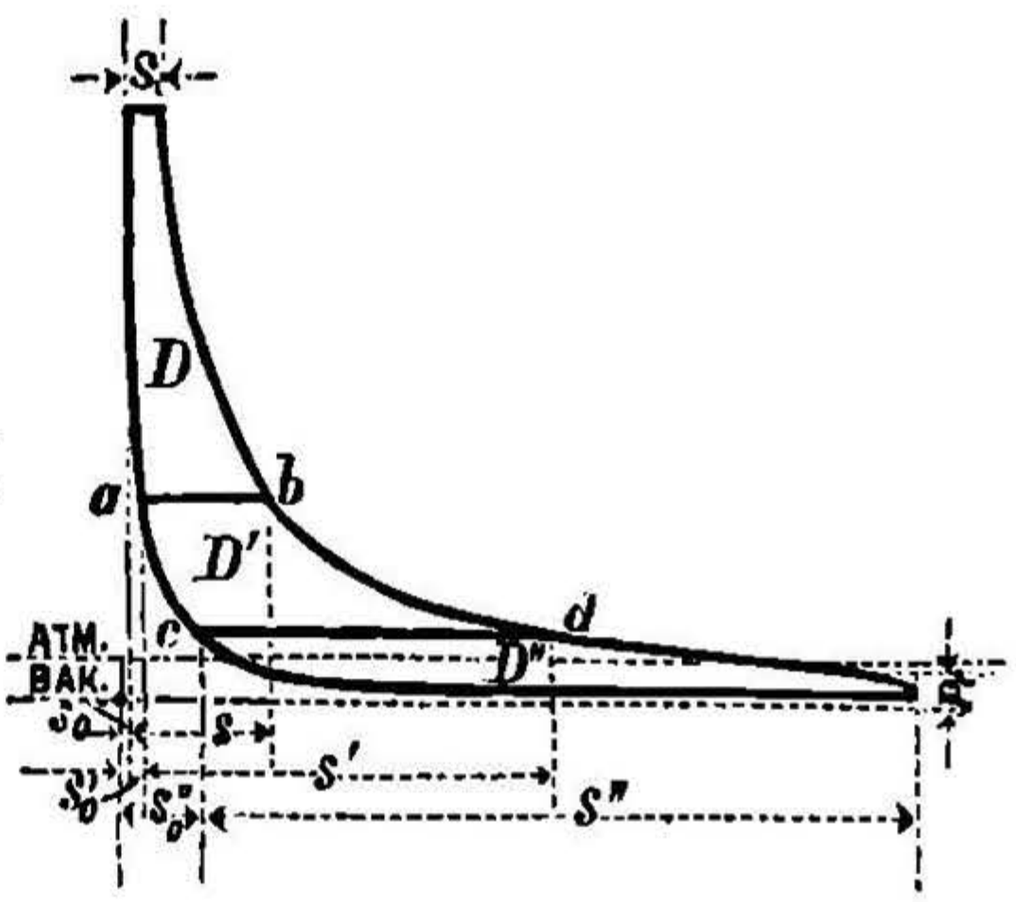
При построеніи необходимо принимать, что весь объемъ исходящаго пара изъ одного цилиндра дѣлается равнымъ объему пара, входящаго въ другой цилиндръ (при этомъ обыкновенно, для простоты, пренебрегаютъ объемомъ пара, необходимымъ для заполненія вреднаго пространства).

Приблизительную діаграмму для машины двойного расширенія см. черт. 638, для машины тройного расширенія черт. 639. Общее наполненіе $s_1 : s'$ (соотвѣт. $s_1 : s''$ на черт. 639) опредѣляется по конечному давленію p_e путемъ обратнаго построенія общей кривой расширенія, причемъ вредное пространство s_0 цилиндра высокаго давленія (объемъ котораго равенъ s) откладывается отъ вер-

Черт. 638.



Черт. 639.



тикальной прямой, проходящей черезъ начало діаграммы. Затѣмъ наносятся кривыя сжатія, горизонтальныя раздѣляющія прямыя ab (и cd) по приблизительному разсчету (см. ниже), а также изъ точекъ a и b (и c и d) вертикальныя прямыя, ограничивающія отдѣльныя діаграммы цилиндра (средняго и) низкаго давленія.

Тогда D, D' (и D'') представляютъ приблизительно діаграммы отдѣльныхъ цилиндровъ, по которымъ предварительно могутъ быть опредѣлены величины работъ, силы, дѣйствующія на поршень, и размѣры главныхъ частей пароораспредѣлительнаго механизма для каждаго изъ цилиндровъ въ отдѣльности. Длины отдѣльныхъ діаграммъ s, s' (и s'') относятся между собою какъ объемы соотвѣтствующихъ цилиндровъ.

Положеніе горизонтальныхъ раздѣляющихъ прямыхъ выбирается всего лучше съ такимъ разсчетомъ, чтобы получающіяся при этомъ дѣленіи величины работъ (равныя площадямъ діаграммъ), равно какъ и наибольшія силы, дѣйствующія на поршень, для различныхъ цилиндровъ по возможности мало отличались другъ отъ друга. Въ тѣхъ случаяхъ, когда наполненія мѣняются въ широкихъ предѣлахъ, необходимо повторить вышеприведенное построеніе для предѣльныхъ наполненій.

НТБ ДНУЗТ

Вертикальныя, ограничивающія діаграммы, прямыя получаютъ при этомъ такое положеніе, что опредѣляемая ими величина s_0' (и s_0''), отнесенная къ s' (и s''), весьма близко подходитъ къ необходимой для приблизительныхъ соображеній величинѣ вреднаго пространства. Въ противномъ случаѣ, пришлось бы строить кривую расширенія и кривую сжатія для различныхъ цилиндровъ изъ различныхъ точекъ линіи вакуума.

Для машинъ двойного расширенія отношеніе объемовъ цилиндровъ $V : V' = 1 : 2$ до $1 : 3$. Для машинъ тройного расширенія $V : V' \; V'' = 1 : (2{,}5$ до $3) : (6$ до $7)$. Получаемое при этомъ распредѣленіе работъ между цилиндрами почти равномѣрное. (См. также II ч., отдѣлъ XII, судовыя машины).

Объемъ R ресивера выбирается въ большой части случаевъ такъ, чтобы

$$V \leqq R \leqq V'.$$

3. Для **болѣе точнаго построенія діаграммъ** двух- или многоцилиндровыхъ машинъ необходимо построить **діаграмму объемовъ**. Это достигается посредствомъ построенія кривыхъ хода поршня такимъ образомъ, что время (пропорціональное пути пальца кривошипа) откладывается по оси абсциссъ, а пути поршня, соотвѣтствующіе этимъ положеніямъ пальца кривошипа (стр. 540),— по оси ординатъ (черт. 640 до 642). Объемы цилиндровъ V, V' (и V''), ихъ вредныя пространства s_0, s_0' (и s_0'') и объемы ресиверовъ R (и R') откладываются, какъ показано на чертежахъ *).

Изъ построенной діаграммы объемовъ легко опредѣлить для даннаго положенія кривошипа тотъ объемъ пара, который въ данный моментъ производитъ работу. Проведя для заданнаго положенія кривошипа горизонтальную прямую и взявъ отрѣзокъ этой прямой въ предѣлахъ заштрихованной площади, находимъ искомый объемъ пара.

Если построить діаграммы давленія пара D, D' (и D'') въ одномъ и томъ же масштабѣ для давленій пара на линіяхъ V, V' (и V'') какъ на основаніяхъ, то для опредѣленія работы, выраженной этими двумя (или тремя) діаграммами, будетъ служить одинъ и тотъ же масштабъ работы.

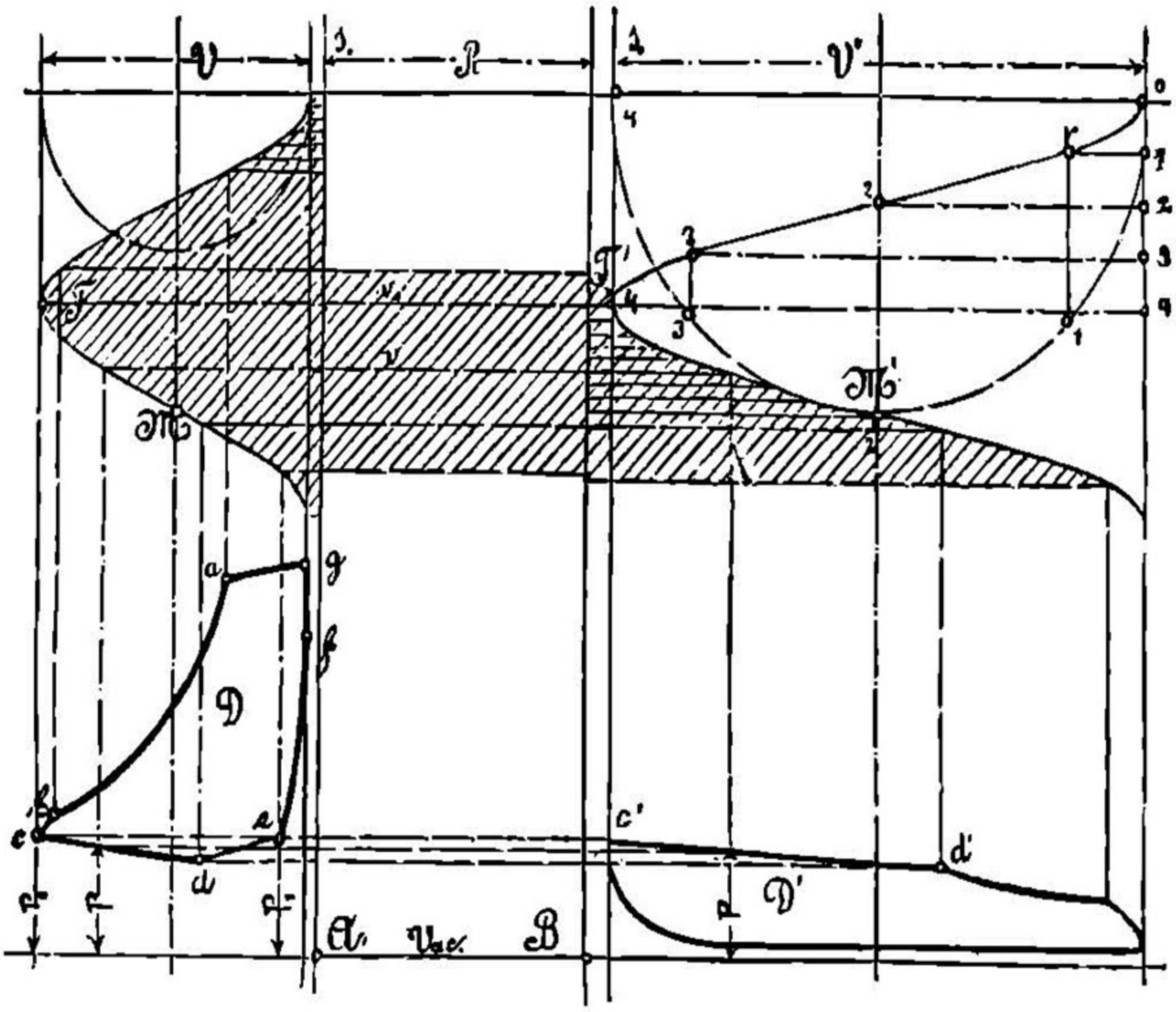
1. **Сопряженная діаграмма для кривошиповъ подъ угломъ 0^0 или 180^0** построена на черт. 640 въ предположеніи охлажденія пара (конденсаціи). Линіи, выражающія пути поршней, должны быть такъ расположены, чтобы точки T и T', соотвѣтствующія мертвому положенію, находились на одинаковой высотѣ. Степень наполненія малаго цилиндра опредѣляется по предварительной діа-

*) Другой способъ построенія **діаграммы объемовъ** см. Proell, Ueber Indikatordiagramme und graphische Bezielungen zwischen Druck, Volumen und Temperatur, Z. d. V. d. Ing. 1891, стр. 988 и слѣд.; далѣе E. Mönch, Konstruktion der Diagramme von Mehrcylinder-Dampfmaschinen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1890, стр. 553; J. Weck, Die graphische Berechnung mehrcylindriger Dampfmaschinen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1899, стр. 14.

НТБ ДНУЗТ

граммѣ ($s_1 : s$, см. черт. 638). Кривая расширенія пара ab. Выходъ пара изъ цилиндра высокаго давленія въ ресиверъ (кривая bc) выгодно дѣлать съ возможно малою потерею давленія. Отъ c происходитъ расширеніе пара въ уменьшающемся объемѣ малаго цилиндра, въ ресиверѣ (со включеніемъ объемовъ вредныхъ пространствъ) и увеличивающемся объемѣ большого цилиндра (см. заштрихованную площадь въ діаграммѣ объемовъ). Кривая cd опредѣляется вычисленіемъ p для каждаго v изъ уравненія $pv = p_1 v_1$ (см. черт. 640, гдѣ величины v берутся изъ діаграммы объемовъ).

Черт. 640.



Въ d (опредѣленіе точки d см. ниже) отсѣчка пара въ цилиндрѣ низкаго давленія, этотъ цилиндръ отдѣляется отъ ресивера, и начинается сжатіе пара въ ресиверѣ и цилиндрѣ высокаго давленія до точки c. Въ точкѣ e отдѣляется цилиндръ высокаго давленія отъ ресивера, въ первомъ происходитъ сжатіе (ef) и предвареніе впуска пара (fg). Точки e и c (если незначительное паденіе давленія отъ b къ c не принимается въ разсчетъ) должны находиться на одной высотѣ съ тѣмъ, чтобы выходящій изъ цилиндра высокаго давленія паръ (точка c) снова встрѣчалъ въ ресиверѣ давленіе p_1 *).

*) Точнѣе точка e, если принять во вниманіе паденіе давленія на bc, лежитъ нѣсколько ниже точки c, соотвѣтственно давленію смѣси соединяющихся массъ пара (въ объемѣ цилиндра высокаго давленія и его вредномъ пространствѣ, въ ресиверѣ и во вредномъ пространствѣ цилиндра низкаго давленія).—Равнымъ образомъ, на черт. 641, вслѣдствіе паденія давленія на bc, точка h' должна быть нѣсколько ниже точки c.

НТБ ДНУЗТ

Послѣ построенія кривой cd строимъ сначала ef отъ выбранной конечной точки f обратно, до пересѣченія ея въ точкѣ e съ горизонтальной прямой, проходящей черезъ c, и затѣмъ кривую de строимъ назадъ отъ точки e, какъ равнобокую гиперболу, относительно точки B. Пересѣченіе кривыхъ cd и de дастъ точку d. Линію cd измѣненій, имѣющихъ мѣсто въ то время, когда оба цилиндра между собой соединены, переносимъ на діаграмму цилиндра низкаго давленія ($c'd'$), для чего опредѣляются при помощи линій, выражающихъ движеніе поршней, для каждаго даннаго момента соотвѣтственныя положенія поршней въ обоихъ цилиндрахъ.

Въ виду нѣкоторой потери давленія при переходѣ пара изъ ресивера въ большой цилиндръ, слѣдовало бы ординаты между точками c' и d' наносить на діаграмму цилиндра низкаго давленія нѣсколькими меньшими, чѣмъ въ соотвѣтственныхъ точкахъ цилиндра высокаго давленія. Въ остальныхъ частяхъ діаграмму для большого цилиндра строятъ совершенно такъ же, какъ это дѣлаютъ при построеніи діаграммы для обыкновенной одноцилиндровой машины (стр. 798 и слѣд.).

2. **Діаграмма машины Вульфа** (безъ особаго пароораспредѣленія въ большомъ цилиндрѣ) отличается отъ вышеприведенной (черт. 640) лишь тѣмъ, что линія cd представляетъ расширеніе лишь въ маломъ и большомъ цилиндрѣ (ибо ресивера нѣтъ); линія cd распространяется на весь ходъ поршня въ томъ случаѣ, когда въ большомъ цилиндрѣ расширенія нѣтъ). Потеря давленія при проходѣ пара въ большой цилиндръ у машинъ Вульфа значительно больше, чѣмъ у машинъ съ ресиверомъ.

3. **Сопряженная діаграмма для кривошиповъ подъ угломъ 90^0** (черт. 641). Кривыя, изображающія пути поршней, строятся такъ, чтобы T' и M находились на одной высотѣ. Часть діаграммы пара $gabc$ цилиндра высокаго давленія строится по предыдущему (въ 1). Отъ c имѣетъ мѣсто сжатіе въ цилиндрѣ высокаго давленія (и его вредномъ пространствѣ) и въ ресиверѣ; слѣд., cd должна быть построена какъ равнобокая гипербола относит. точки B.

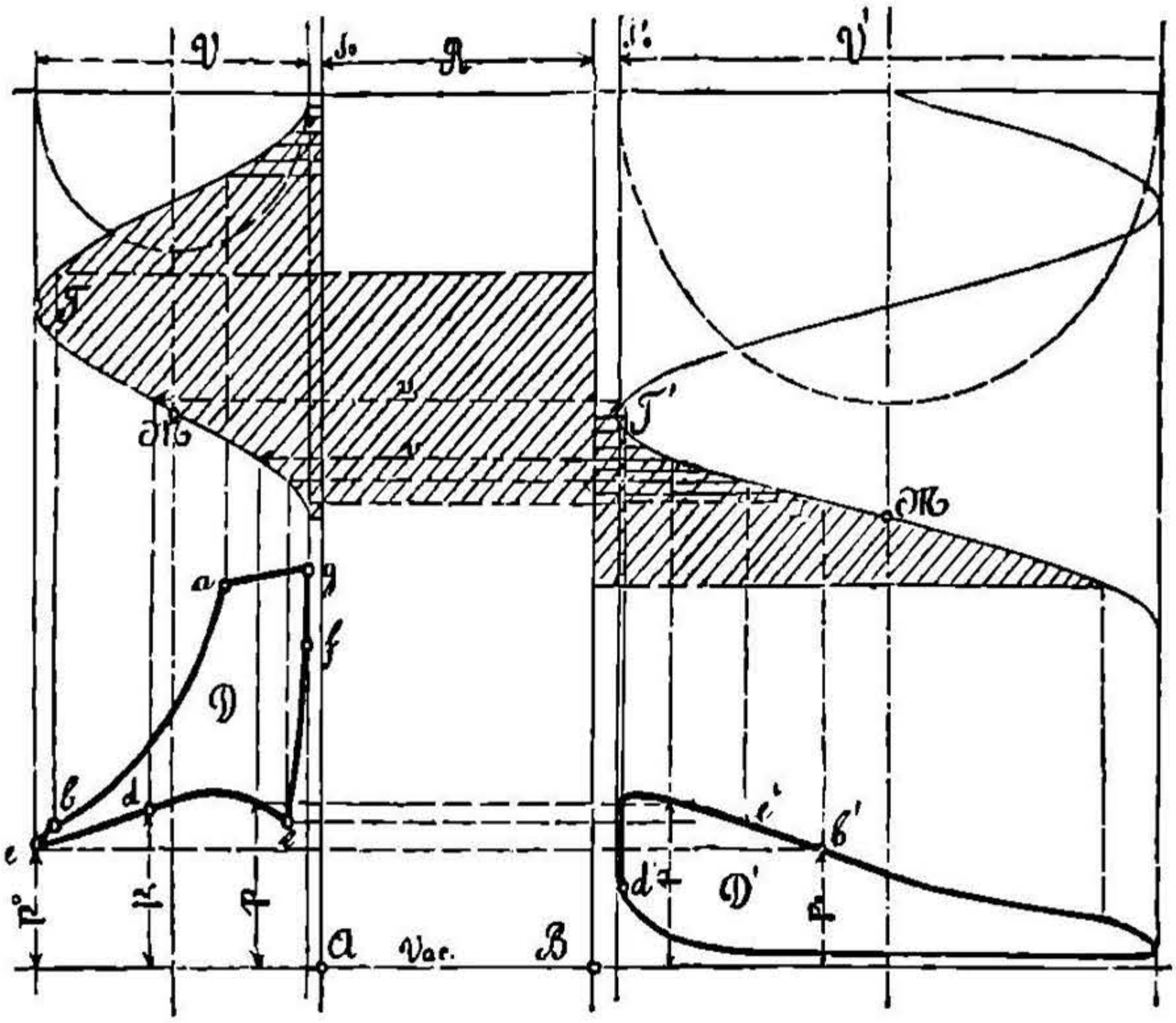
Въ d начинается впускъ въ цилиндръ низкаго давленія. Отъ d до e общее измѣненіе пара въ обоихъ цилиндрахъ и въ ресиверѣ. Построеніе кривой de производится по предыдущему вычисленіемъ ($pv = p_1 v_1$). Кривая ef строится обратнымъ порядкомъ отъ точки f, и въ пересѣченіи ef и de находимъ точку e, гдѣ сообщеніе цилиндра высокаго давленія съ ресиверомъ прекращается.

Общую кривую для обоихъ цилиндровъ de переносимъ въ $d'e'$ на діаграмму цилиндра низкаго давленія при помощи линій движенія поршней. Отъ точки e' происходитъ расширеніе пара лишь въ ресиверѣ и цилиндрѣ низкаго давленія, почему линія $e'h'$ строится какъ равнобокая гипербола относительно точки A. Впускъ

НТБ ДНУЗТ

пара въ цилиндръ низкаго давленія долженъ быть прекращенъ тогда, когда упругость пара въ ресиверѣ будетъ p_0; поэтому точка h' должна находиться на одной высотѣ съ точкой c и опредѣляется соотвѣтственнымъ проектированіемъ (см. выноску на стр. 804). Остальныя линіи на діаграммѣ цилиндра низкаго давленія опредѣляются какъ при построеніи діаграммы обыкновенныхъ одноцилиндровыхъ машинъ (см. стр. 798 и слѣд.).

Черт. 641.



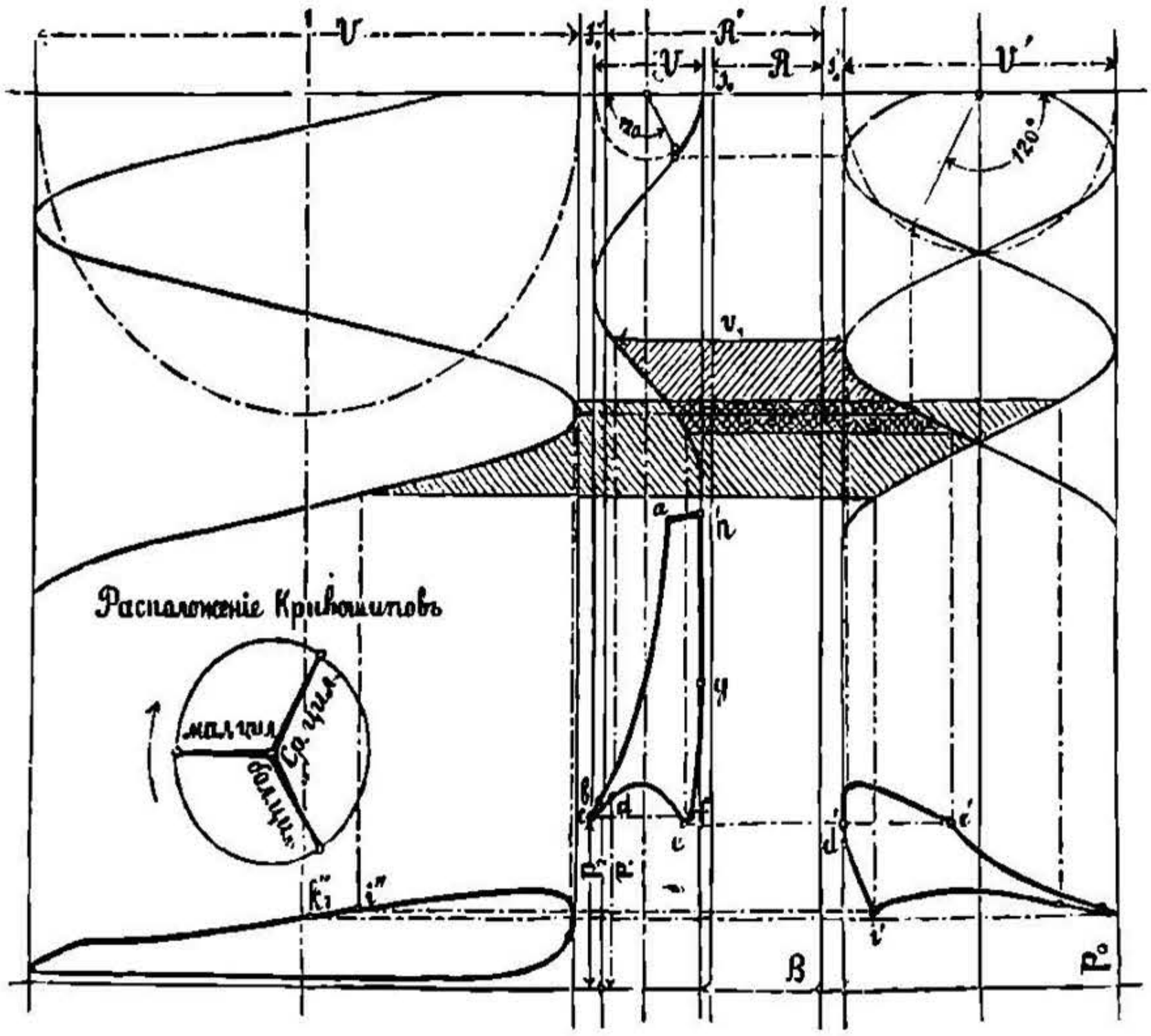
4. Для **многоцилиндровыхъ машинъ** точныя діаграммы при относительномъ расположеніи кривошиповъ подъ угломъ 90^0 строятся по 3, а при 0^0 или 180^0 строятся по изложенному въ 1.

5. Примѣръ построенія діаграммы для **машинъ тройного расширенія съ относительнымъ расположеніемъ кривошиповъ подъ углами въ 120^0** показанъ на черт. 642. Линіи движенія поршней располагаются другъ относительно друга въ зависимости отъ относительнаго расположенія кривошиповъ. $a\,b\,c$ расширеніе и предвареніе выпуска въ маломъ цилиндрѣ, $c\,d$ сжатіе въ маломъ цилиндрѣ и первомъ ресиверѣ (равнобокая гипербола относительно точки B). $d\,e$ и $d'\,e'$ общее измѣненіе пара въ маломъ и среднемъ цилиндрѣ (вычисляется по $p\,v = p_1\,v_1$). $e\,f$ сжатіе въ маломъ цилиндрѣ и первомъ ресиверѣ. $f\,g\,h$ сжатіе и предвареніе впуска въ маломъ цилиндрѣ. Отъ e' расширеніе въ одномъ среднемъ цилиндрѣ. Построеніе обратнымъ порядкомъ линій $f\,g$ (f на одной высотѣ съ c, давленіе p_2) и $e\,f$ (относительно B) для опредѣленія точки e, какъ пересѣченія $e\,f$ съ $d\,e$.

НТБ ДНУЗТ

То же повторяется для средняго и большого цилиндра. Въ приведенномъ примѣрѣ (черт. 642) средній цилиндръ отдѣляется отъ второго ресивера (въ i') раньше, чѣмъ отъ того же ресивера отдѣляется большой цилиндръ (въ k''); расширеніе $i''k''$ въ большомъ цилиндрѣ и второмъ ресиверѣ (равнобокая гипербола относительно точки B) происходитъ до давленія p_3.

Черт. 642.



6. **Регулированіе хода машинъ компаундъ** измѣненіемъ лишь впуска пара въ цилиндръ высокого давленія возможно только въ тѣсныхъ предѣлахъ, такъ какъ въ противномъ случаѣ распредѣленіе работъ между обоими цилиндрами слишкомъ неравномѣрно и силы, дѣйствующія на поршень, неодинаковы. При увеличеніи наполненія въ маломъ цилиндрѣ машины двойного расширенія упругость пара въ ресиверѣ увеличивается. Вслѣдствіе этого, главнымъ образомъ, увеличивается работа въ цилиндрѣ низкаго давленія; работа же въ цилиндрѣ высокаго давленія сначала увеличивается незначительно, а затѣмъ снова уменьшается. Весьма цѣлесообразно поэтому регулировать впускъ пара въ цилиндрѣ высокаго и низкаго давленіи *).

B. Пораспредѣленіе **).

I. Пораспредѣлительные каналы.

Сѣченіе паровыхъ каналовъ и площадь, на которую они открываются, должны быть опредѣляемы съ такимъ разсчетомъ, чтобы

*) См. Lynen, Die Mittel zur Erzielung des gewünschten Diagrammverlaufes bei Verbundmaschinen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1899, стр. 488.

**) По А. Ридлеру.

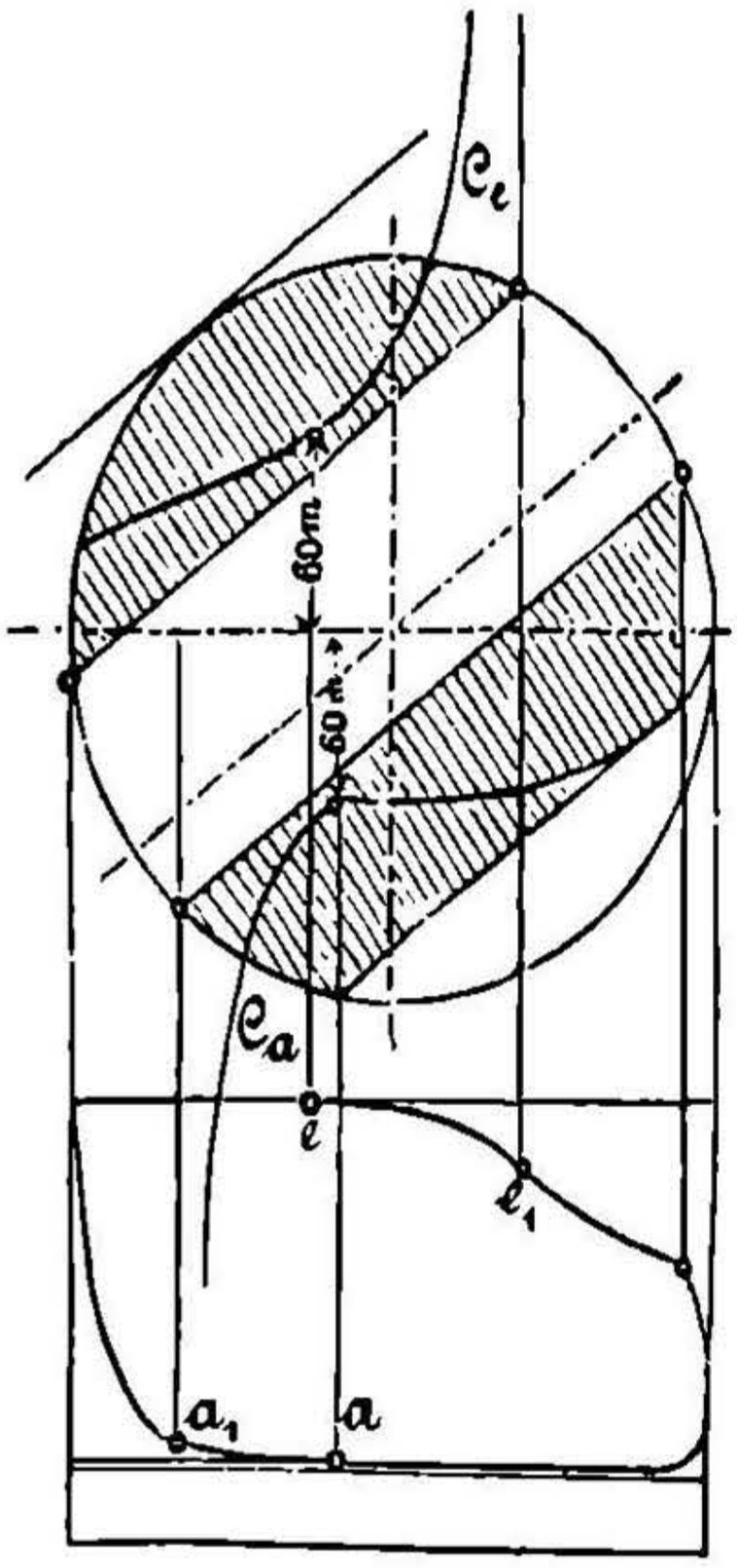
НТБ ДНУЗТ

паръ, проходя черезъ каналъ, не могъ пріобрѣсти такую скорость, которая влечетъ за собою потерю упругости пара. По даннымъ индикаторныхъ діаграммъ, замѣтное уменьшеніе упругости пара въ періодъ наполненія имѣетъ мѣсто при среднихъ скоростяхъ пара $w' = 50$ до 60 m въ сек., а въ періодъ выхода пара при скоростяхъ 80 до 100 m въ сек., въ зависимости отъ того, имѣетъ ли паръ атмосферное или конденсаторное давленіе. Подъ объемомъ исходящаго пара здѣсь подразумѣвается объемъ цилиндра, увеличенный въ отношеніи упругости пара въ концѣ періода расширенія къ давленію его во время выхода.

Сѣченіе каналовъ f разсчитывается по скорости пара $w_{max} = 30$ до 40 m въ сек., при наибольшей скорости поршня c_{max} (см. стр. 541). Если F сѣченіе поршня въ qm, то сѣченіе канала (въ qm):

$$f = F \frac{c_{max}}{w_{max}}.$$

Черт. 643.



Въ этомъ случаѣ, при нормальныхъ условіяхъ, получаются размѣры каналовъ такіе, при которыхъ для даннаго w_{max} въ моментъ отсѣчки вышеприведенныя предѣльныя скорости не будутъ преждевременно превзойдены, чѣмъ предотвращается возможность преждевременнаго уменьшенія упругости пара (вслѣдствіе подпора). Для скорости пара имѣемъ выраженіе:

$$w = \frac{F}{f'} c,$$

гдѣ f' перемѣнное сѣченіе канала, c перемѣнная скорость поршня; поэтому построеніемъ послѣдняго выраженія могутъ быть въ точности изслѣдованы выбранные размѣры. На черт. 643 (основанномъ на построеніи **діаграммы движенія золотника Рело**, см. ниже) ординаты обѣихъ кривыхъ C_e и C_a, отсчитываемыя отъ горизонтальнаго діаметра вверхъ и внизъ, представляютъ теоретическія скорости пара w въ періодъ наполненія и выхода пара, абсциссы выражаютъ соотвѣтственные пути поршня. Въ e и a скорость пара превосходитъ 60 m въ сек., а въ e_1 и a_1 происходитъ закрытіе канала.

При золотниковыхъ распредѣленіяхъ прямоугольныя отверстія въ золотниковомъ зеркалѣ, вообще, должны быть по возможности выше (каналы длинные), ибо тогда ширина канала a,

НТБ ДНУЗТ

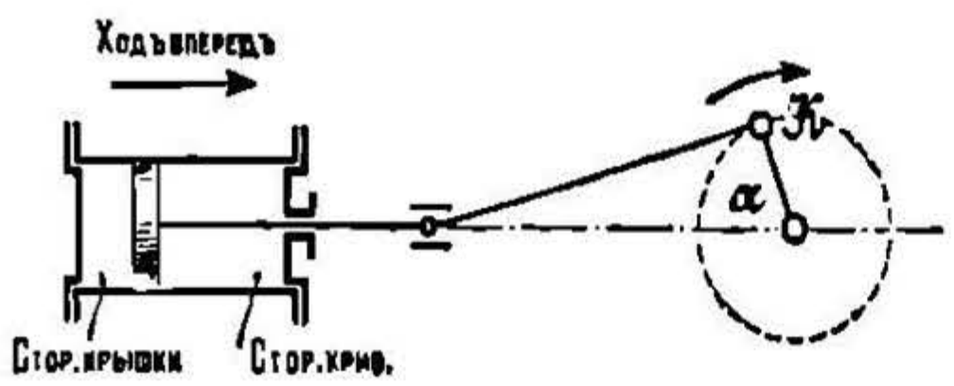
которая служитъ данностью для проектированія всѣхъ органовъ парораспредѣленія, выходитъ малой; съ другой стороны, при слишкомъ малой ширинѣ канала получаются потери отъ сжатія пара, который проходитъ тогда сквозь узкій каналъ. Отношеніе ширины впускного канала къ его длинѣ составляетъ приблизительно $^1/_4$ въ небольшихъ машинахъ, $^1/_6$ въ среднихъ и $^1/_6$ до $^1/_{10}$ въ большихъ. Обыкновенно среднему каналу для исходящаго пара придаютъ, при одинаковой длинѣ, нѣсколько большую ширину, чтобы при суженіи отверстія исходящаго канала золотникомъ, въ крайнемъ его положеніи, все-таки еще оставалась достаточная ширина окна для прохода пара $= a$ до $^4/_3\ a$.

II. Распредѣленіе простымъ золотникомъ.

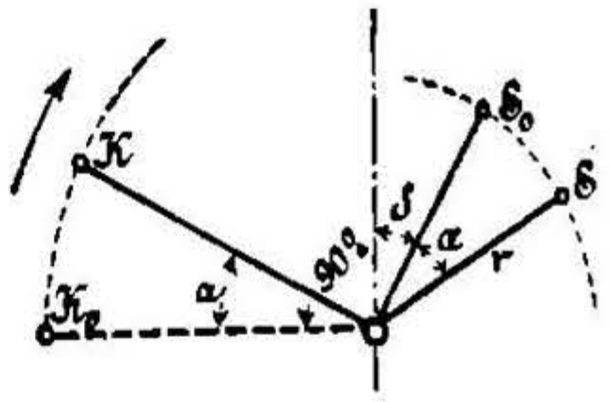
a. Объясненія и обозначенія.

Въ послѣдующемъ постоянно принимается, что кривошипъ вращается направо и лежитъ вправо отъ цилиндра; тогда (см. черт. 644 до 646):

Черт. 644.



Черт. 645.



Сторона крышки = пространство для пара слѣва отъ поршня со стороны, противоположной кривошипу.

Сторона кривошипа = пространство для пара справа отъ поршня, по направленію къ кривошипу.

Ходъ поршня впередъ = движеніе поршня направо (по направленію къ кривошипу).

Ходъ поршня назадъ = движеніе поршня налѣво (по направленію отъ кривошипа).

α = уголъ кривошипа (= углу $K_0 O K$, см. черт. 647 до 650),

x = путь поршня для хода впередъ, считая отъ лѣвой мертвой точки направо,

x' = путь поршня для хода назадъ, считая отъ правой мертвой точки налѣво (опредѣленіе пути поршня x см. стр. 540),

$2R$ = полный ходъ поршня,

ξ = путь золотника, отсчитываемый отъ средняго положенія золотника, причемъ,

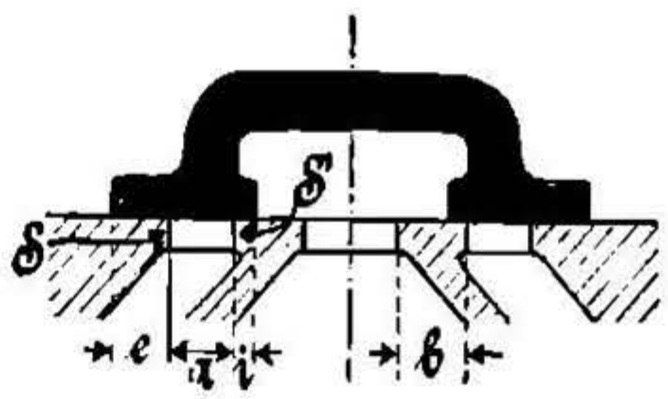
ξ = отклоненіе золотника отъ средины направо (для лѣвыхъ отсѣкающихъ реберъ канала),

ξ' = отклоненіе золотника отъ средины налѣво (для правыхъ отсѣкающихъ реберъ канала),

НТБ ДНУЗТ

e = перекрышка впуска, внѣшняя (разстояніе ребра золотника, въ его среднемъ положеніи, отъ ребра закрываемаго канала, для впуска пара),

Черт. 646.



i = перекрышка выпуска, внутренняя перекрышка (то же, для выпуска пара),

o = открытіе канала золотникомъ:

для впуска $o = \xi - e$,
для выпуска $o' = \xi' - i$;

если для извѣстнаго угла кривошипа α должно произойти открытіе или закрытіе канала, то должно быть:

для впуска $o = \xi - e = 0$, т.-е. $\xi = e$,
для выпуска $o' = \xi' - i = 0$, т.-е. $\xi' = i'$,

v = линейное предвареніе = открытіе золотника для мертваго положенія кривошипа ($\alpha = 0$),

для впуска (наружнее линейное предвареніе) $v = \xi_0 - e$,
для выпуска (внутрен. линейное предварен.) $v' = \xi_0' - i$,

a = ширина канала,

r = эксцентриситетъ, слѣд., $2r$ = полный ходъ золотника,

δ = уголъ предваренія (эксцентрикъ опережаетъ кривошипъ на уголъ $90^0 + \delta$,

b = толщина простѣнка (приблизительно = толщинѣ стѣнки цилиндра, или $b = 0{,}5a + 10$ mm).

b. Геометрическое изображеніе пути золотника.

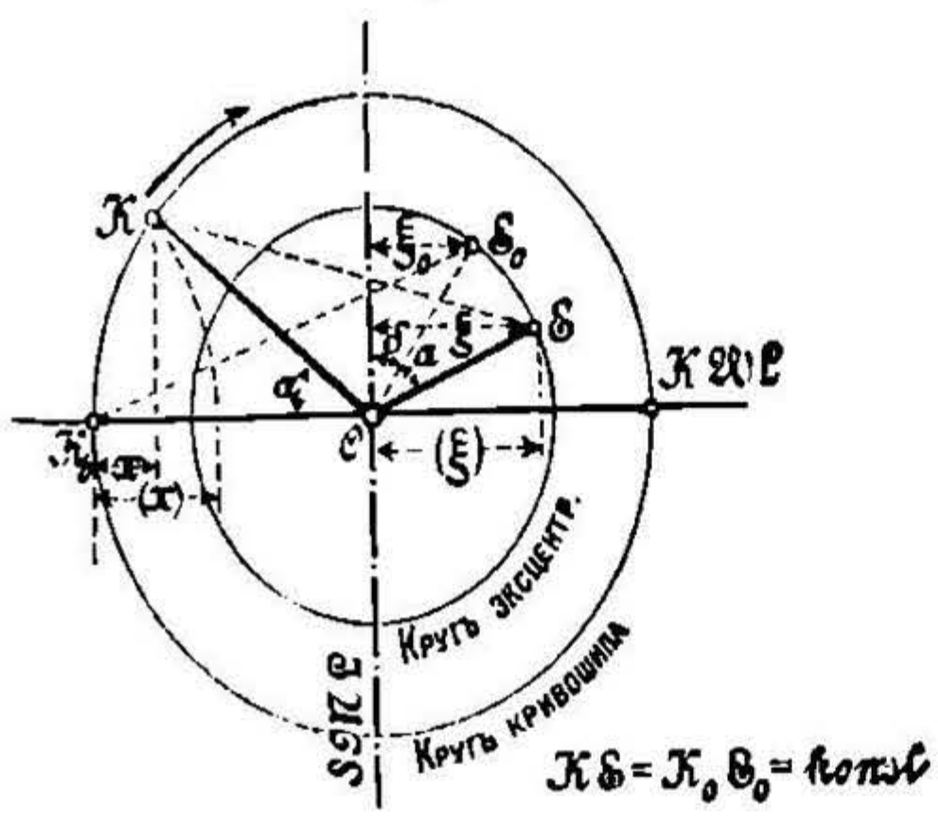
(Золотниковыя діаграммы).

На черт. 647 до 673 линія KWL представляетъ линію движенія поршня, по которой измѣряются пути поршня x, и SML среднее положеніе золотника, отъ котораго измѣряются пути золотника ξ.

1. Діаграмма Фалькенберга (черт. 647). Кривошипъ и эксцентрикъ въ ихъ естественномъ положеніи. Соотвѣтствующія точки K круга кривошипа и E круга эксцентрика или золотника расположены такъ, что уголъ между R и r равенъ $90^0 + \delta$, и слѣд. разстояніе

$$KE = K_0E_0 = \text{постоян.}$$

Черт. 647.



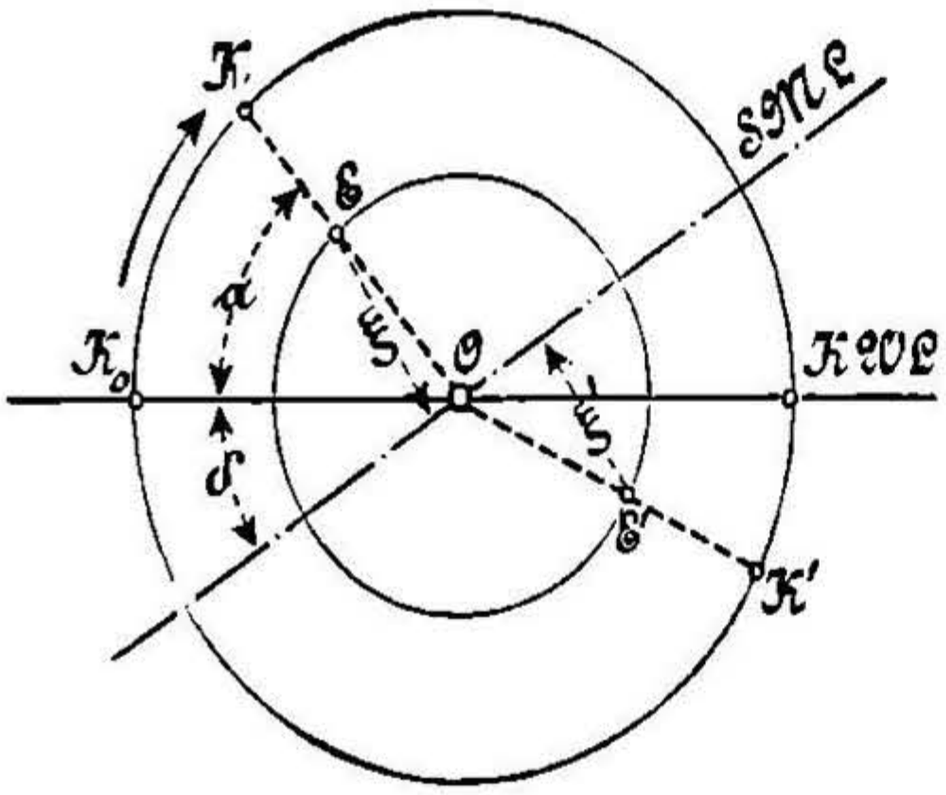
Помощью перпендикулярной проекціи точекъ K на линію пути поршня KWL (или, при конечной длинѣ шатуна L, помощью дуги радіуса L) находятся пути поршня x и соотв. (x); помощью измѣренія (перпендикуляровъ) разстояній то-

НТБ ДНУЗТ

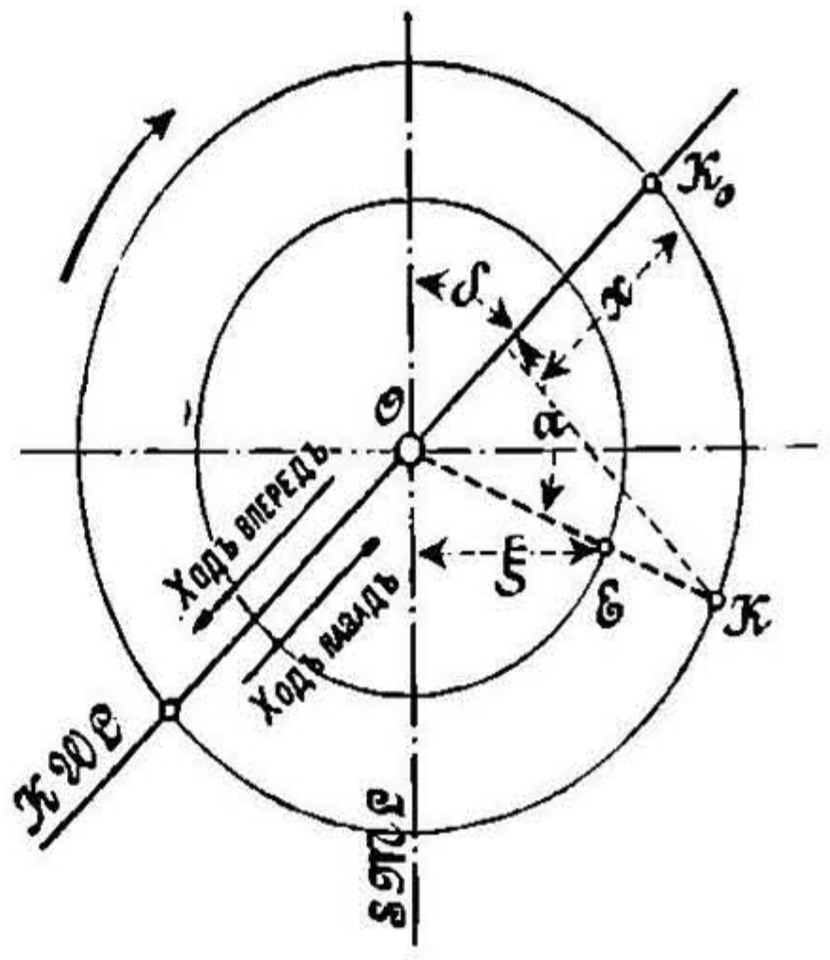
чекъ E отъ линіи средняго положенія золотника SML (или, при конечной длинѣ l тяги эксцентрика, помощью дуговой проекціи радіусомъ l на линію движенія золотника) получаются пути золотника ξ и соотв. (ξ).

2. Діаграмма Рело (чер. 648). Линія движенія поршня KWL сохраняетъ свое естественное положеніе. Линія средняго положенія золотника SML повернута на уголъ $90^0 + \delta$ по направленію, противоположному вращенію кривошипа и, слѣдовательно, наклонена къ линіи мертвыхъ точекъ кривошипа подъ угломъ δ; соотвѣтственныя точки K круга кривошипа и E круга золотника лежатъ на одномъ радіусѣ, проходящемъ черезъ O. Пути поршня находятся, какъ въ предыдущей діаграммѣ (см. **1.**); равнымъ образомъ пути золотника ξ находятся какъ (перпендикуляры) разстоянія точекъ E отъ SML. (Для конечной длины шатуна и тяги эксцентрика поступаютъ, какъ въ **1.**).

Черт. 648.



Черт. 649.



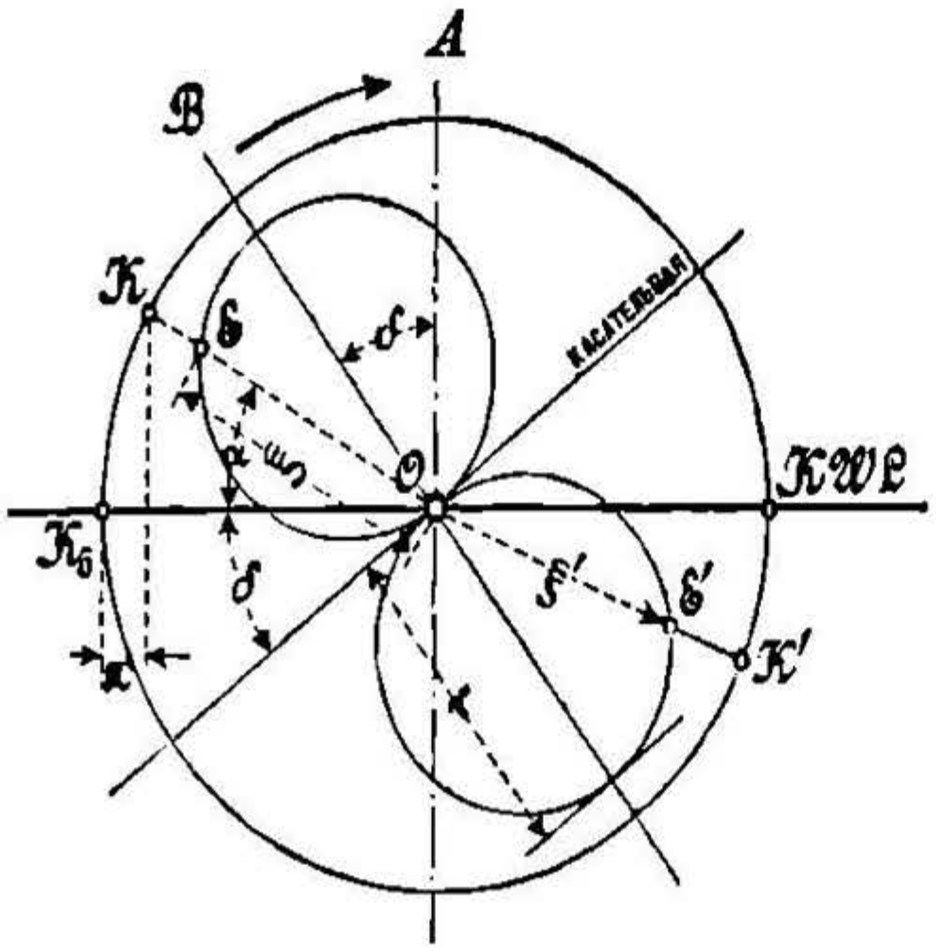
3. Діаграмма Мюллера (черт. 649). Средняя линія золотника SML сохраняетъ свое естественное положеніе. Линія путей поршня KWL повернута на $90^0 + \delta$ по направленію вращенія кривошипа и образуетъ, слѣд., со средней линіей золотника уголъ δ. Соотвѣтственныя точки K круга кривошипа и E круга золотника лежатъ на одномъ радіусѣ, проходящемъ черезъ O. Пути поршня измѣряются по наклонной линіи KWL, пути золотника получаются какъ (перпендикуляры) разстоянія точекъ E отъ линіи SML. (Для конечной длины шатуна и тяги эксцентрика поступаютъ, какъ въ **1.**).

4. Діаграмма Цейнера (черт. 650). Линія путей поршня сохраняетъ свое естественное положеніе. Пути ξ откладываются на соотв. положеніи кривошипа отъ центра O. При безконечно длинной тягѣ эксцентрика, концы путей ξ находятся на окружностяхъ двухъ круговъ діаметра $r =$ эксцентриситету, которые касаются другъ друга въ точкѣ O и общая касательная которыхъ въ точкѣ O

НТБ ДНУЗТ

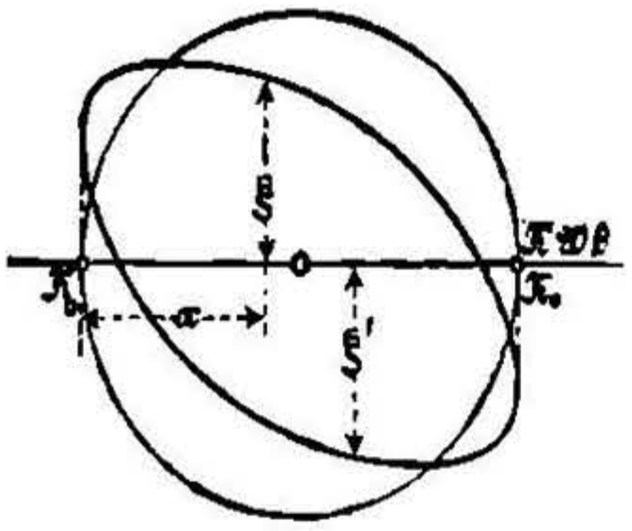
образуетъ съ линіей путей поршня уголъ δ. Поэтому, для построенія діаграммы, откладываютъ отъ перпендикуляра OA къ KWL въ точкѣ O уголъ предваренія δ по направленію, противоположному вращенію кривошипа, на сторонѣ его OB откладываютъ въ обѣ стороны отъ O эксцентриситетъ r и описываютъ на r, какъ на діаметрѣ, оба круга эксцентрика или золотника E и E'. Пути золотника опредѣляются какъ длины хордъ золотниковаго круга, совпадающихъ съ даннымъ положеніемъ кривошипа. Верхній кругъ служитъ для отклоненій золотника вправо, нижній — для отклоненій золотника влѣво. (При этомъ способѣ рѣшеніе вопроса для конечной длины тяги эксцентрика въ простой формѣ невозможно).

Черт. 650.



5. Эллипсъ движенія золотника (черт. 651). Линія путей поршня сохраняетъ свое положеніе. Отдѣльные пути поршня x откладываются какъ абсциссы, пути же золотника ξ какъ ординаты, и притомъ отклоненія ξ вправо отъ средняго положенія золотника кверху отъ линіи KWL, отклоненія же ξ влѣво отъ средняго положенія золотника — книзу. При безконечной тягѣ эксцентрика концы отрѣзковъ ξ находятся на эллипсѣ, при конечной же тягѣ—на несимметричной кривой, похожей на эллипсъ.

Черт. 651.



c. Золотниковая діаграмма для простого коробчатаго золотника.

1. Общія данныя и обозначенія.

Если въ приведенныхъ выше діаграммахъ путей золотника наносить для всѣхъ его положеній перекрышки золотника e и i такъ, что онѣ будутъ вычитаться изъ соотвѣтствующей путей золотника, то полученные остатки $\xi - e$ и $\xi' - i$ представятъ открытія каналовъ o и o'; для этой цѣли на черт. 647, 648 и 649 надо провести параллели къ средней линіи золотника въ разстояніяхъ e и i, на черт. 651 параллели къ линіи путей поршня въ разстояніяхъ e и i и на черт. 650 описать изъ O круги радіусовъ e и i.

НТБ ДНУЗТ

Точки пересѣченія этихъ линій съ золотниковыми кругами и соотв. эллипсами даютъ положенія кривошипа и золотника, при которыхъ каналы начинаютъ открываться или закрытіе канала золотникомъ закончено. Въ нижеслѣдующихъ діаграммахъ (черт. 652 до 673) приняты обозначенія:

VE начало открытія впускного канала, начало предваренія впуска, $\xi = e$,

Ex впускной каналъ закрытъ совершенно. начало расширенія, $\xi = e$,

VA начало открытія выпускного канала, начало предваренія выпуска, $\xi' = i$,

C выпускной каналъ закрытъ совершенно, начало сжатія, $\xi' = i$.

Отдѣльные **періоды движенія золотника** въ діаграммахъ обозначаются слѣд. образомъ:

Въ E_1: начало открытія впускного канала,

E_1 до E_2: открытіе канала o постепенно увеличивается,

E_2 до E_3: каналъ открытъ совершенно (на величину a), если $r > e + a$ (если $r = e + a$, то точки E_2 и E_3 совпадаютъ),

E_3: пускной каналъ начинаетъ закрываться,

E_3 до E_4: открытіе канала o постепенно уменьшается,

E_4: начало расширенія,

E_5: начало открытія выпускного канала,

E_5 до E_6: открытіе выпускного канала постепенно o' увеличивается,

E_6 до E_7: выпускной каналъ совершенно (на величину a) открытъ,

E_7: выпускной каналъ начинаетъ закрываться,

E_7 до E_8: открытіе выпускного канала постепенно уменьшается,

E_8: выпускной каналъ закрытъ, начало сжатія.

2. Построеніе золотниковой діаграммы для заданнаго парораспредѣленія.

1. Требуется опредѣлить a, e, i, r и δ. Ширина канала a находится по стр. 807 и слѣд. Эксцентриситетъ:

$$r = e + a \quad \text{или} \quad r = e + a + m,$$

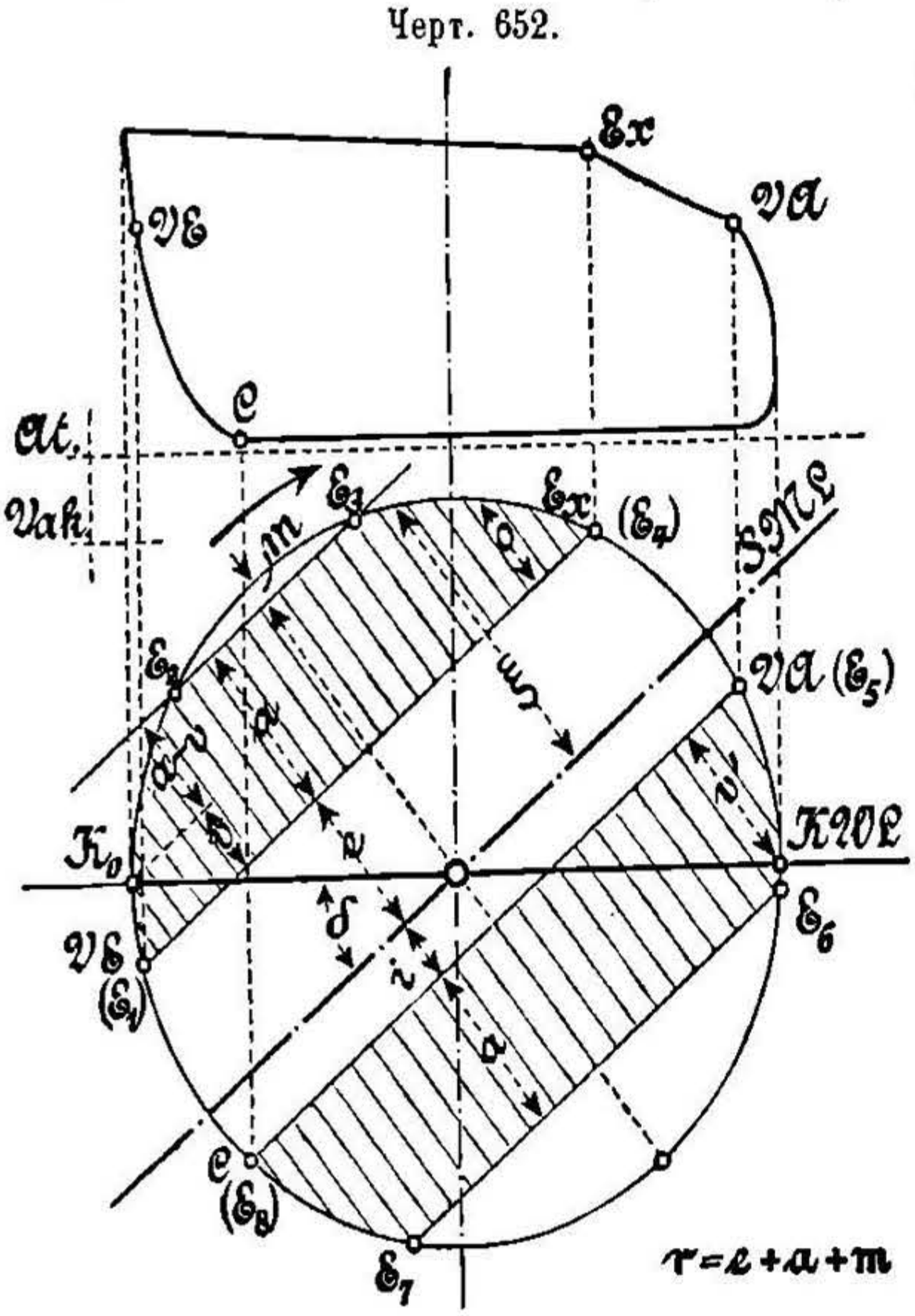
гдѣ величина m, избытокъ (эксцентриситета), можетъ быть принята какъ небольшая часть a. Чѣмъ больше избытокъ m сравнительно съ a, тѣмъ быстрѣе золотникъ открываетъ и закрываетъ, но тѣмъ больше, при данной величинѣ ширины канала a, эксцентриситетъ r и перекрышки e и i; эти величины увеличиваются въ отношеніи $(a + m) : a$. Такимъ образомъ, остается опредѣлить только три независимыя величины; изъ четырехъ точекъ діаграммы VE, Ex, VA и C надо установить заранѣе только три, четвертая же опредѣляется діаграммой. Обыкновенно выбираютъ необходимыя для извѣстной цѣли предвареніе впуска и предвареніе

НТБ ДНУЗТ

выпуска (см. стр. 799), большею частью также начало сжатія, обусловленное давленіемъ въ концѣ сжатія (въ машинахъ съ охлажденіемъ желательное большое давленіе въ концѣ сжатія потребовало-бы очень ранняго начала сжатія, котораго нельзя достигнуть хорошей золотниковой діаграммой). Поэтому простымъ золотникомъ можно достичь лишь такой степени расширенія, какая возможна, принимая во вниманіе три остальныя заданныя точки діаграммы.

Раннее начало расширенія имѣетъ слѣдствіемъ большой уголъ предваренія δ, а потому большое предвареніе выпуска и большое сжатіе, а поэтому, при данной ширинѣ канала, значительныя e и r. Слѣдовательно, помощью простого коробчатаго золотника нельзя достигнуть значительнаго расширенія при хорошемъ вообще пораспредѣленіи. Пути поршня, послѣ которыхъ должны начинаться предвареніе выпуска и сжатіе, выбираютъ соотвѣтственно діаграммѣ давленій пара, въ отношеніи ко всему ходу поршня; этимъ устанавливаются соотвѣтствующія положенія кривошипа OE_5 и OE_8. Предвареніе впуска также или принимается какъ извѣстная часть хода поршня (напр., 0,5 до $1^0/_0$) и, такимъ образомъ, устанавливается положеніе кривошипа OE_1, или же принимается извѣстное линейное предвареніе въ доляхъ отъ a, напр.: $v = 0{,}2\,a$ до $0{,}3\,a$.

Черт. 652.



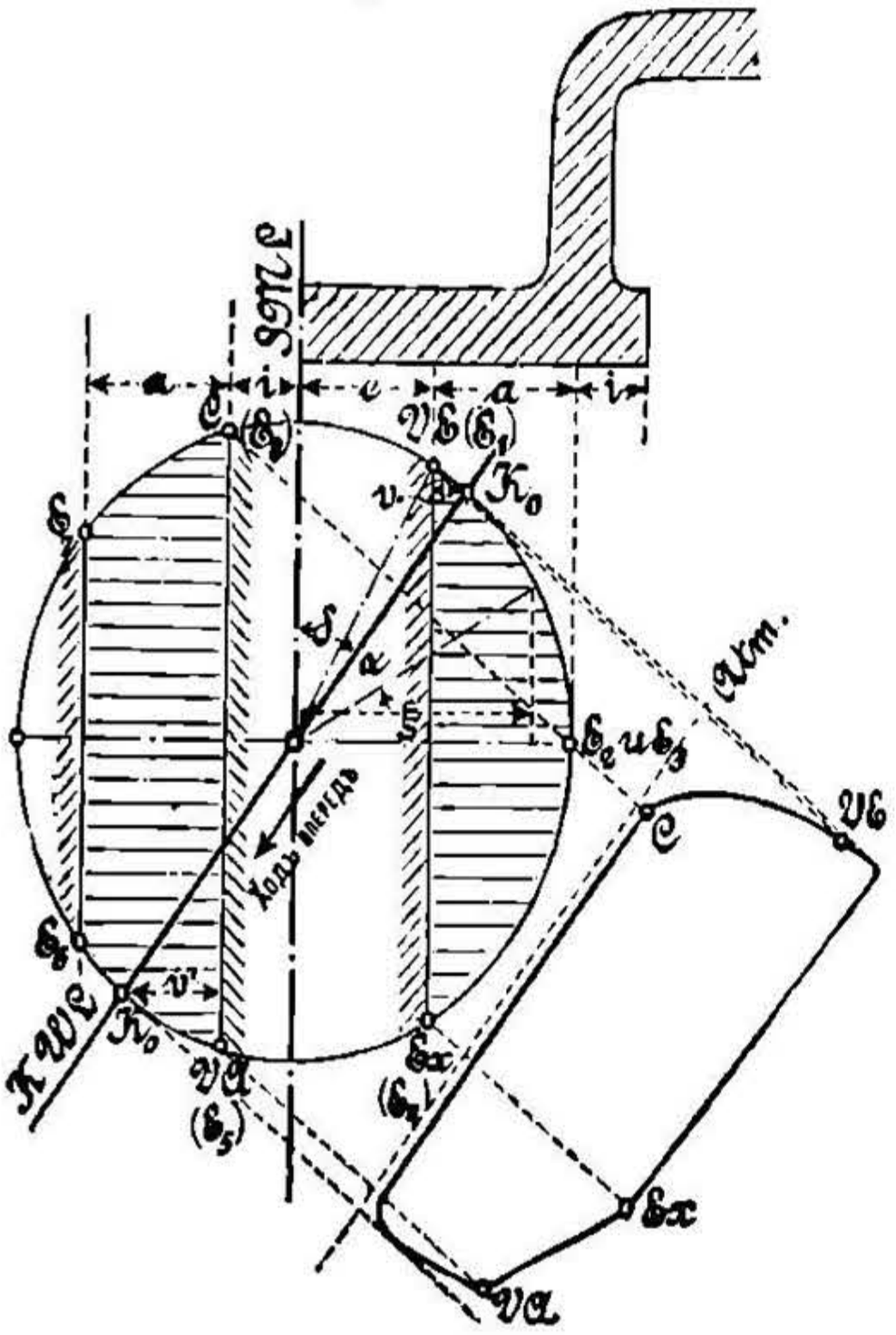
Въ послѣднемъ случаѣ E_1, находится только послѣ опредѣленія масштаба для золотниковой діаграммы (см. ниже 2.). Примѣняются въ особенности слѣдующіе способы:

2. **Золотниковая діаграмма Рело** (черт. 652). наиболѣе цѣлесообразна для рѣшенія предыдущей задачи (т.-е. опредѣленіе e, i, r и δ при заданномъ пораспредѣленіи).

Проще всего принимать круги кривошипа и золотника одинаковой величины, т.-е. совпадающими. Тогда точки E_1 (если предвареніе впуска принято какъ нѣкоторая часть хода поршня), E_5 и E (если принято предвареніе выпуска и начало

сжатія) устанавливаются помощью VE, VA и C; соединительная линія $E_5 E_8$ даетъ уголъ предваренія δ и перекрышку выпуска (внутреннюю) i; прямая, проведенная черезъ E_1 параллельно къ SML, даетъ перекрышку впуска e и пересѣкаетъ общій кругъ кривошипа и золотника въ Ex, чѣмъ опредѣляется начало расширенія. Чтобы опредѣлить абсолютныя значенія e, i, и r изъ золотниковой діаграммы, начерченной въ произвольномъ масштабѣ, слѣдуетъ сравнить размѣръ a изъ діаграммы съ данной шириной канала a и отсюда опредѣлить масштабъ, согласно которому надо брать отдѣльныя величины діаграммы.

Черт. 653.



Если, кромѣ VA и C, выбрано и линейное предваренiе v, то слѣдуетъ провести черезъ K_0 параллель къ SML, задаться величиной m (въ отношеніи къ a) и взять изъ діаграммы размѣръ $a - v$; изъ сравненія этого размѣра съ дѣйствительной величиной $a - v$ опять получается масштабъ діаграммы.

3. **Золотниковая діаграмма Мюллера** (черт. 653) примѣняется больше для изслѣдованія уже имѣющагося золотниковаго парораспредѣленія; нанеся помощью δ, i, e и a золотниковую діаграмму, слѣдуетъ начертить перпендикулярно къ линіи путей поршня діаграмму давленій пара и, затѣмъ, изслѣдовать пароraспредѣленіе для даннаго случая.

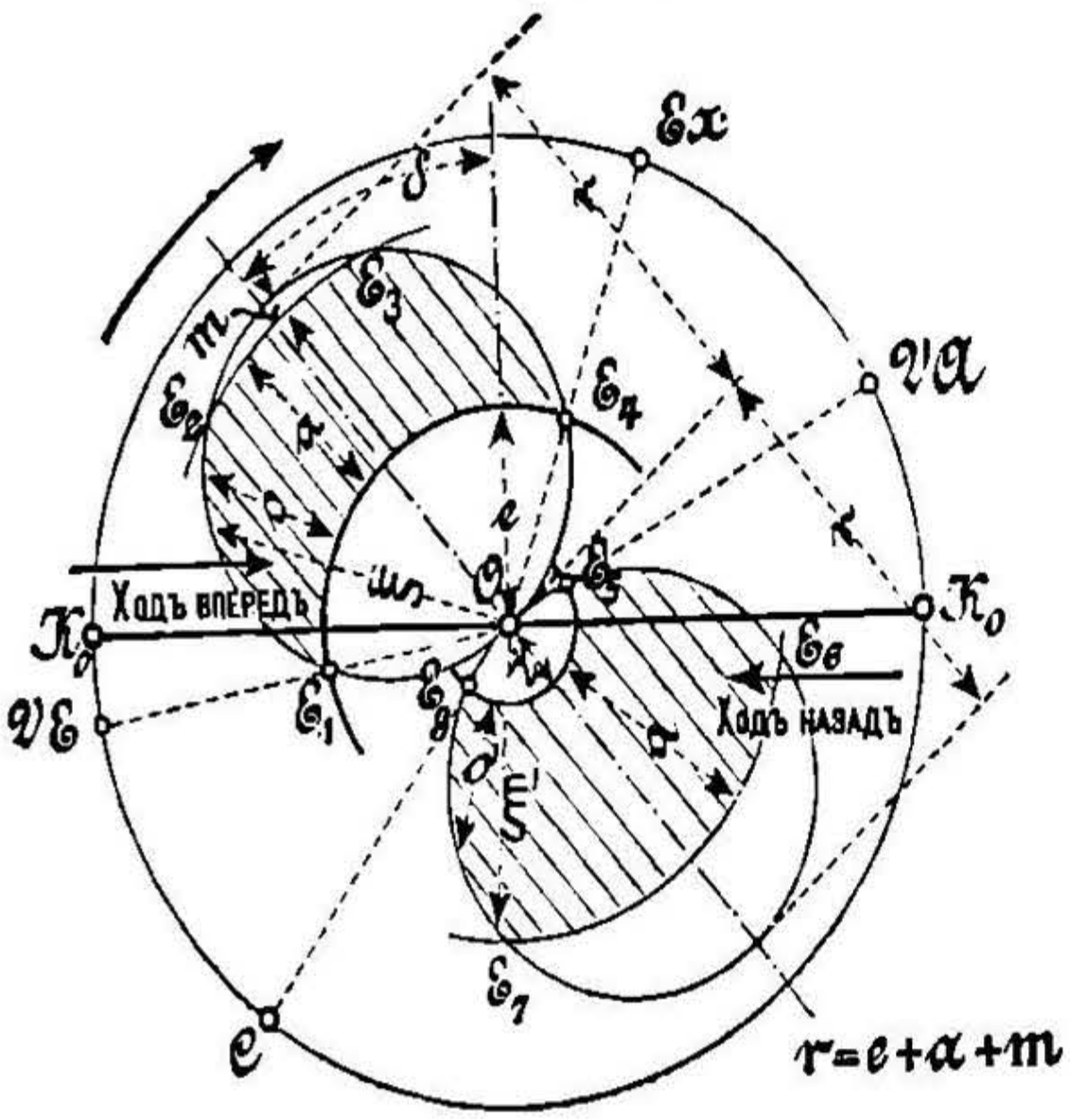
4. **Золотниковая діаграмма Цейнера** (черт. 654, стр. 816) удобно примѣняется, главнымъ образомъ, въ тѣхъ случаяхъ, когда перекрышки e и i остаются неизмѣнными, а уголъ предваренія δ и радіусъ эксцентрика r, напротивъ, измѣняются внѣшними механизмами (кулисное распредѣленіе, дѣйствіе плоскаго регулятора); въ этихъ случаяхъ слѣдуетъ, сохраняя круги, описанные изъ O радіусами e и i, каждый разъ наносить соотвѣтственные круги эксцентрика.

Если VE, VA и C даны, то проходящіе черезъ O діаметры круговъ эксцентрика находятся какъ линія, дѣлящая пополамъ уголъ $(VA)\,OC$; этимъ опредѣляется уголъ предваренія δ. Если затѣмъ описать произвольнымъ діаметромъ r круги эксцентрика, опредѣлить точки пересѣченія E_1, E_4, E_5 и E_8 этихъ круговъ съ положеніями кривошипа $O\,(VE)$, $O\,(VA)$ и OC, описать изъ O

НТБ ДНУЗТ

круги черезъ E_1, а также черезъ E_5 и E_8 и, въ заключеніе (принявъ небольшую величину m), описать изъ O круги E_2E_3 и E_6E_7 въ разстояніи a отъ послѣднихъ, то изъ сравненія величины a изъ діаграммы съ дѣйствительной шириной канала a можно опредѣлить масштабъ золотниковой діаграммы и взять по этому масштабу e, i, m и r.

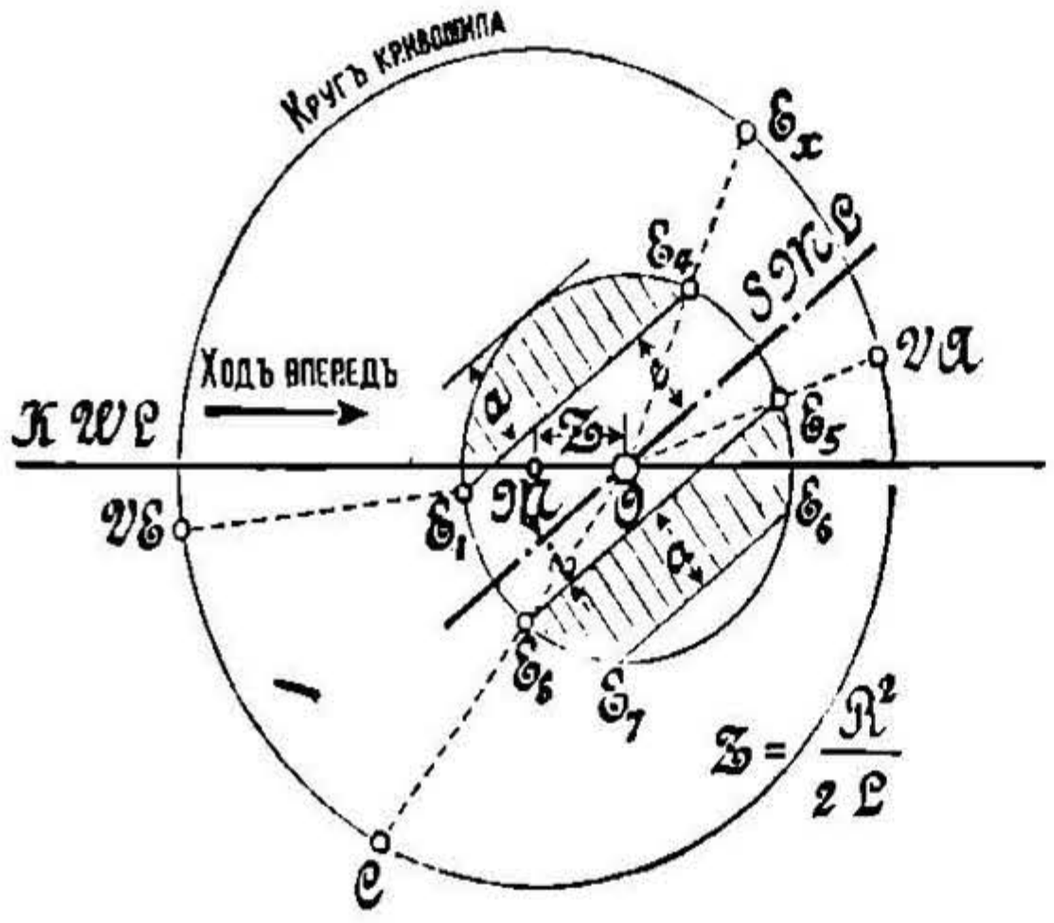
Черт. 654.



d. Вліяніе конечной длины шатуна и тяги эксцентрика.

1. Вліяніе конечной длины шатуна. Пусть R радіусъ кривошипа и L длина шатуна. Во всѣхъ вышеприведенныхъ діаграммахъ вліяніе конечной величины L можетъ быть выражено тѣмъ, что, вмѣсто перпендикулярнаго проектированія точекъ K круга кривошипа на линіи путей поршня, положеніе поршня опредѣляется проектированіемъ посредствомъ дугъ круга радіуса L. Графически болѣе удобно приблизительное построеніе Брикса (см. стр. 540): положенія поршня получаются посредствомъ перпендикулярныхъ проекцій точекъ окружности кривошипа на линію путей поршня, но кругъ кривошипа описывается не изъ точки O, общей вершины всѣхъ угловъ кривошипа, а изъ точки M, сдвинутой относительно O въ направленіи задняго хода поршня, на длину $Z = R^2 : 2L$. Въ діаграммахъ Рело и Мюллера (черт. 652 и 653) въ этомъ случаѣ слѣдуетъ принимать два отдѣльныхъ круга за кругъ кривошипа и кругъ эксцентрика (см. черт. 655); діаграмма Цейнера остается столь же простой, какъ и при $L = \infty$ (черт. 656).

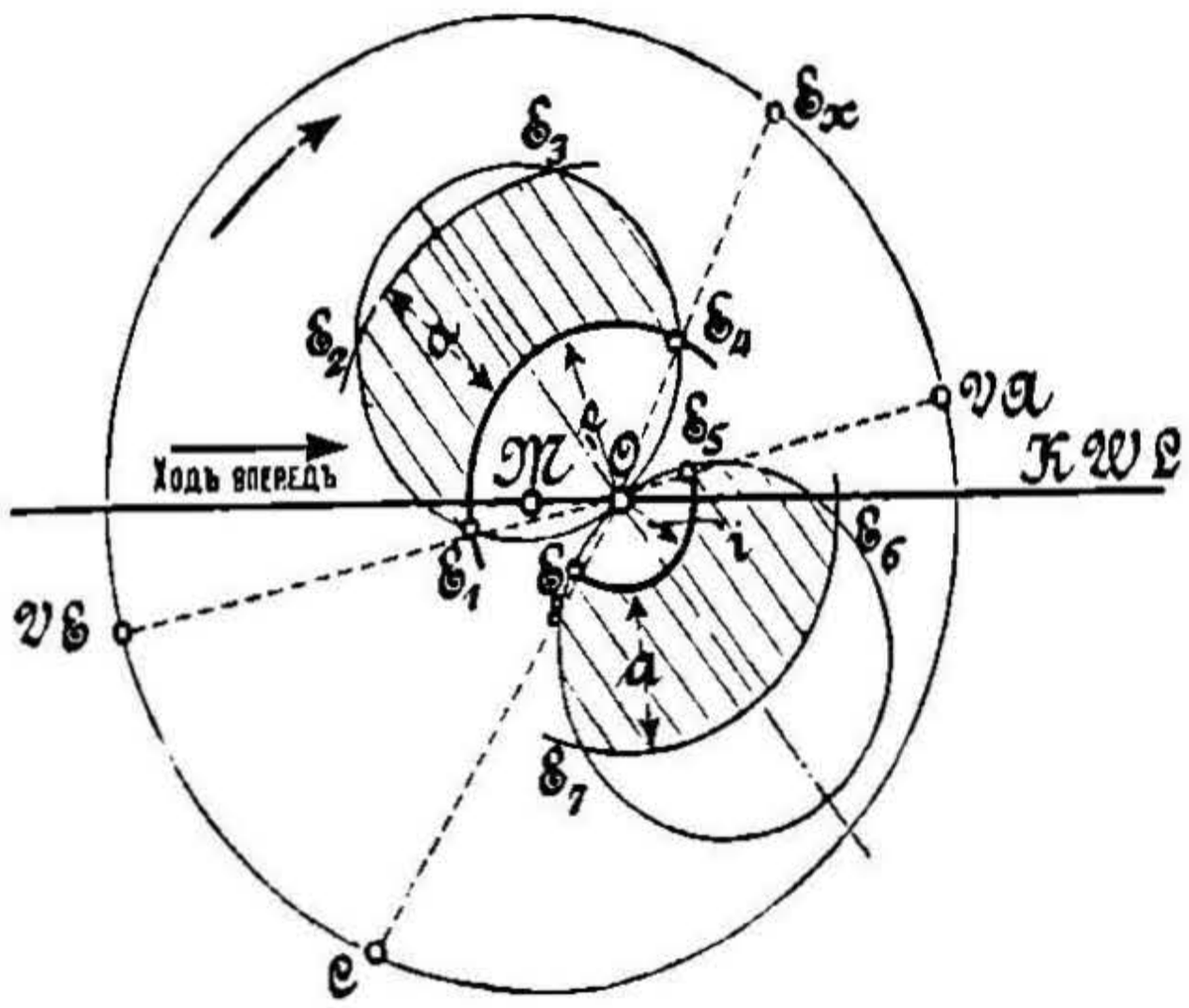
Черт. 655.



При симметричномъ золотникѣ и симметричной его установкѣ получается различное парораспредѣленіе со стороны крышки и со стороны кривошипа. Линейное предвареніе одинаково (соотвѣтствующіе пути поршня почти одинаковы); сте-

пень наполненія для стороны крышки цилиндра больше, чѣмъ для стороны кривошипа, предваренiе выпуска на сторонѣ крышки начинается позже, чѣмъ на сторонѣ кривошипа, сжатiе начинается раньше.

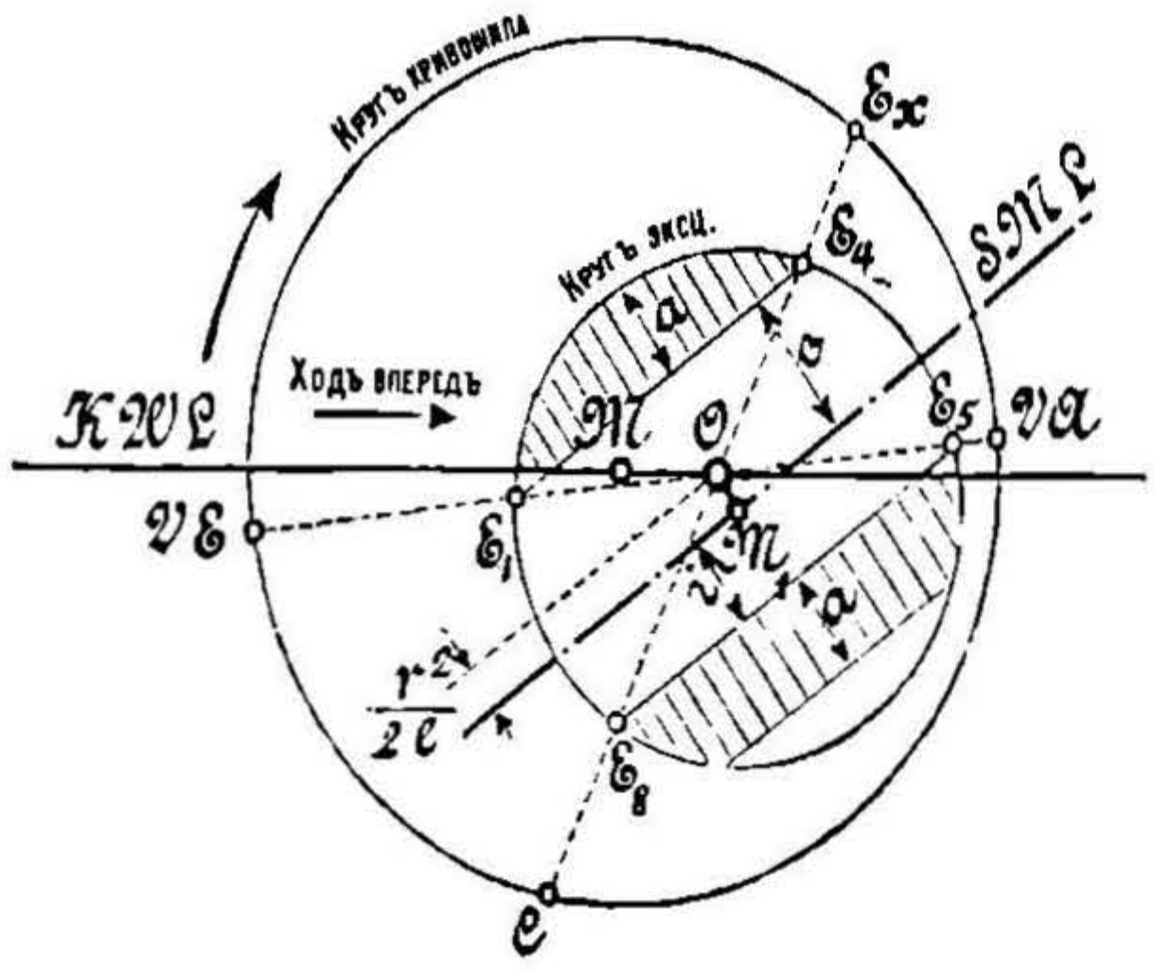
Черт. 656.



Если, для достиженія одинаковыхъ степеней наполненія со стороны крышки и со стороны кривошипа, выбирать различныя внѣшнія перекрышки e слѣва и справа, то получается неодинаковое линейное предвареніе впуска; выбравъ разныя внутреннія перекрышки i, получимъ неодинаковое предвареніе выпуска. Вообще, наиболѣе равномѣрное распредѣленіе неправильностей отъ конечной длины шатуна на отдѣльныя стадіи пораспредѣленія достигается, когда предполагаютъ шатунъ безконечно длиннымъ.

2. Вліяніе конечной длины тяги эксцентрика. Пусть r эксцентриситетъ и l длина тяги эксцентрика. Вліяніе конечной длины тяги эксцентрика выражается тѣмъ, что пользуются проектированіемъ посредствомъ дугъ радіуса l на линію путей золотника (стр. 540) или, по Бриксу (стр. 540): въ золотниковой діаграммѣ Рело (черт. 655) кругъ эксцентрика также передвигаютъ по направленію движенія золотника, т.-е. перпендикулярно къ средней линіи золотника, на разстояніе $r^2 : 2l$ отъ O, см. черт. 657 (притомъ въ сторону задняго хода золотника, слѣдовательно въ ту сторону, на которой откладываются отрицательныя отклоненія золотника ξ').

Черт. 657.



Вслѣдствіе сравнительно большой длины тяги эксцентрика разница f между путями золотника для $l = l$ и $l = \infty$ незначительна, а потому вообще ею можно пренебречь. Приблизительно, для угла кривошипа α величина ошибки f, которую нужно прибавить къ ξ и вычесть изъ ξ', получается изъ:

$$f = \frac{r^2}{2l}\cos^2(\delta + \alpha)$$

НТБ ДНУЗТ

и наибольшее значеніе f при $\alpha = -\delta$:

$$f_{max} = \frac{r^2}{2l}.$$

Этимъ значеніемъ f (вслѣдствіе незначительной величины i) можно пользоваться приблизительно также для точекъ VA и C; на эту величину (сравнительно съ предположеніемъ $l = \infty$)слѣдовало бы уменьшить i для стороны крышки и увеличить i для стороны кривошипа, если желательно достичь одинаковаго предваренія выпуска и сжатія, принимая во вниманіе конечную длину тяги эксцентрика.

При перемѣнѣ хода, для $\alpha = 0$:

$$f_0 = \frac{r^2}{2l}\cos^2\delta = \frac{r^2 - e^2}{2l}.$$

На эту величину (сравнительно съ предположеніемъ $l = \infty$) слѣдовало бы уменьшить перекрышку впуска e на сторонѣ кривошипа и увеличить на сторонѣ крышки, если требуется получить одинаковое линейное предвареніе, принимая конечную длину тяги эксцентрика. Большею частью исполняютъ только послѣднее требованіе, устанавливая симметричный золотникъ такъ, что въ среднемъ положеніи его средняя линія сдвинута относительно средней линіи золотниковаго зеркала на величину f_0 (налѣво); предвареніе выпуска и сжатіе получаются тогда нѣсколько различными для стороны крышки и стороны кривошипа.

Полнаго уравненія можно было бы достичь посредствомъ несимметричнаго золотника, у котораго средина впускныхъ реберъ сдвинута (направо) относительно средины выпускныхъ реберъ на

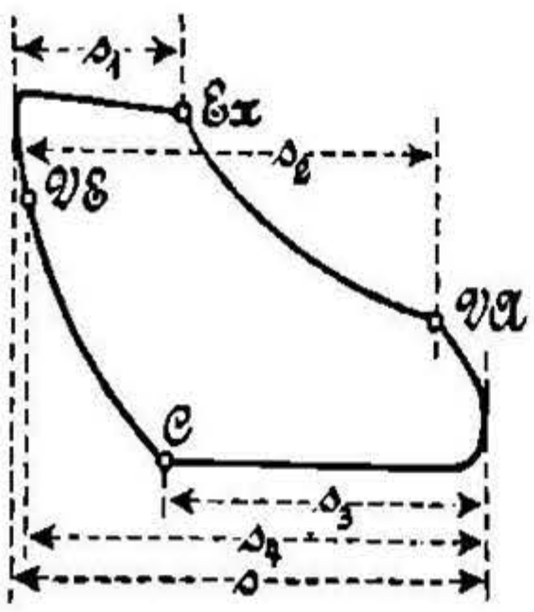
$$f_{max} - f_0 = \frac{e^2}{2l}$$

и который установленъ на одинаковое линейное предвареніе.

е. Опредѣленіе размѣровъ золотника посредствомъ вычисленія.

Соотвѣтственно обозначеніямъ на стр. 779 и 780, пусть будутъ s_1 s, $s_2 : s$, $s_3 : s$ и $s_4 : s$ относительные пути поршня въ началѣ расширенія, предваренія выпуска, сжатія и предваренія впуска (черт. 658). Уголъ кривошипа α, соотвѣтствующій извѣстному пути поршня x, получается изъ уравн.:

Черт. 658.



$$\cos\alpha = 1 - 2\frac{x}{s} = z,$$

если $R : L = 1 : \infty$, и:

$$\cos\alpha = \frac{z \pm {}^1/_2\,\lambda\,(1 + z^2)}{1 \pm \lambda\, z},$$

если $R : L = \lambda$; знакъ + служитъ для хода впередъ, знакъ — для хода назадъ. (По этимъ форм. вычислена **таблица стр. 820**).

Отсюда опредѣляются углы кривошипа α_1, α_2, α_3 и α_4, соотвѣтствующіе $s_1 : s$, $s_2 : s$, $s_3 : s$ и $s_4 : s$.

НТБ ДНУЗТ

Пути золотника, принимая тягу эксцентрика безконечно длинной, получимъ изъ:

$$\xi = r \sin(\alpha + \delta).$$

1. Дана ширина канала a, принято линейное предвареніе v, напр., $v = 0{,}2\,a$ до $0{,}3\,a$ и избытокъ m около $0{,}2\,a$ (см. стр. 813); кромѣ того, пусть требуется извѣстная степень наполненія $s_1 : s$, тогда находимъ:

$$r = \frac{a + m - {}^1/_2\, v}{1 - \cos {}^1/_2\, \alpha_1},$$

$$e = r - (a + m), \qquad \sin \delta = \frac{e + v}{r}.$$

Для $\lambda = 1 : \infty$ получаемъ также:

$$r = \frac{a + m - {}^1/_2\, v}{1 - \sqrt{1 - (s_1 : s)}}.$$

Если, далѣе, выбрать $s_3 : s$, то, найдя соотв. α_3, получаемъ:

$$i = r \sin(\alpha_3 + \delta), \qquad \alpha_2 = 360^0 - (\alpha_3 + 2\delta)$$

и (по табл. стр. 820) соотв. $s_2 : s$.

Или, если выбрать $s_2 : s$, то, найдя соотв. α_2, получаемъ:

$$i = -\, r \sin(\alpha_2 + \delta), \qquad \alpha_3 = 360^0 - (\alpha_2 + 2\delta)$$

и (по табл. стр. 820) соотв. $s_3 : s$.

2. Дана ширина канала a, выбранъ относительный путь поршня въ началѣ предваренія впуска $s_4 : s$ и соотв. α_4 (напр , $\alpha_4 = 170^0$ до 175^0) и требуется извѣстная степень наполненія $s_1 : s$; тогда:

$$\delta = 180^0 - {}^1/_2(\alpha_1 + \alpha_4), \qquad r = \frac{a + m}{1 - \sin(\alpha_1 + \delta)},$$

$$e = r - (a + m), \qquad i, \text{ какъ выше, въ } \mathbf{1}.$$

3. Если, кромѣ a, дано предвареніе выпуска и сжатіе, слѣдовательно $s_2 : s$ и $s_3 : s$, то по α_2 и α_3 получаемъ:

$$\delta = 180^0 - {}^1/_2(\alpha_2 + \alpha_3).$$

Выбравъ затѣмъ v, находимъ:

$$r = \frac{a + m - v}{1 - \sin \delta};$$

выбравъ $s_4 : s$ и соотв. α_4, находимъ:

$$r = \frac{a + m}{1 + \sin(\alpha_4 + \delta)},$$

$$e = r - (a + m), \qquad i = -\, r \sin(\alpha_2 + \delta) = r \sin(\alpha_3 + \delta).$$

4. Для **золотника съ наналомъ Трика** (см. стр. 822) во всѣхъ предыдущихъ уравненіяхъ надо вмѣсто a вставить ${}^1/_2\, a$ и имѣть въ виду, чтобы было $r \geqq a + i$.

(Продолженіе на стр. 821).

НТБ ДНУЗТ

Таблица угловъ кривошипа α,

соотвѣтствующихъ относительнымъ путямъ поршня отъ 0,005 до 1, для длины шатуна $L = \infty$ и соотв. $L =$ пять разъ взятому радіусу кривошипа.

Относит. путь поршня. $x : s$ въ %	Уголъ кривошипа α въ град. для $L = 8$	для $\lambda = 1:5$. Ходъ впер.	для $\lambda = 1:5$. Ходъ назадъ.	Относит. путь поршня. въ %.	Уголъ кривошипа α въ град. для $L = 8$	для $\lambda = 1:5$. Ходъ впер.	для $\lambda = 1:5$. Ходъ назадъ.	Относит. путь поршня.	Уголъ кривошипа α въ град. для $L = 8$	для $\lambda = 1:5$. Ходъ впер.	для $\lambda = 1:5$. Ходъ назадъ.
0,5	8,1	7,3	9,0	34	71,3	66,2	77,0	**70**	113,6	108,0	118,6
1	11,5	10,4	12,7	35	72,5	67,3	78,3	71	114,8	109,3	119,8
1,5	14,1	12,8	15,7	36	73,7	68,4	79,5	72	116,1	110,6	120,9
2	16,3	14,8	18,0	37	74,9	69,5	80,7	73	117,4	111,8	122,2
2,5	18,2	16,6	20,5	38	76,1	70,7	81,8	74	118,7	113,2	123,3
3	19,9	18,2	22,2	39	77,2	71,9	83,1	75	120,0	114,6	124,6
4	23,1	21,2	24,5	**40**	78,5	73,0	84,3	76	121,3	116,0	125,9
5	25,8	23,7	28,7	41	79,6	74,1	85,4	77	122,7	117,4	127,2
6	28,3	26,0	31,6	42	80,8	75,3	86,6	78	124,1	118,9	128,5
7	30,7	28,0	34,0	43	82,0	76,4	87,8	79	125,5	120,3	129,8
8	32,9	30,2	36,3	44	83,1	77,5	88,9	**80**	126,9	121,9	131,1
9	34,9	32,0	38,7	45	84,3	78,6	90,0	81	128,3	123,4	132,5
10	36,8	33,9	40,8	46	85,4	79,8	91,2	82	129,8	124,9	133,8
11	38,7	35,5	42,6	47	86,6	80,9	92,3	83	131,3	126,5	135,3
12	40,5	37,3	44,7	48	87,7	82,2	93,5	84	132,9	128,2	136,8
13	42,3	38,8	46,5	49	88,9	83,1	94,6	85	134,4	130,0	138,1
14	44,0	40,3	48,4	**50**	90,0	84,2	95,8	86	136,1	131,6	139,6
15	45,6	41,8	50,2	51	91,2	85,4	96,9	87	137,7	133,4	141,1
16	47,2	43,2	51,8	52	92,3	86,5	98,0	88	139,5	135,3	142,7
17	48,7	44,6	53,5	53	93,4	87,7	99,1	89	141,3	137,2	144,5
18	50,2	46,2	55,1	54	94,6	88,8	100,3	**90**	143,1	139,2	146,3
19	51,7	47,6	56,6	55	95,7	90,0	101,3	91	145,1	141,3	148,0
20	53,1	48,9	58,2	56	96,9	91,1	102,5	92	147,1	143,6	149,8
21	54,5	50,2	59,7	57	98,1	92,3	103,6	93	149,3	146,0	152,0
22	56,0	51,5	61,1	58	99,2	93,4	104,7	94	151,7	148,5	154,0
23	57,3	52,8	62,5	59	100,4	94,6	105,9	95	154,2	151,3	156,4
24	58,7	54,1	64,0	**60**	101,5	95,7	107,0	96	156,9	154,3	159,0
25	60,0	55,4	65,4	61	102,7	96,9	108,1	97	160,1	157,8	161,8
26	61,3	56,6	66,7	62	103,9	98,1	109,3	97,5	161,8	159,5	163,4
27	62,6	57,8	68,1	63	105,1	99,3	110,5	98	163,7	161,9	165,2
28	63,9	59,1	69,4	64	106,3	100,5	111,5	98,5	165,9	164,3	167,2
29	65,2	60,2	70,7	65	107,5	101,7	112,7	99	168,5	167,2	169,5
30	66,4	61,5	72,0	66	108,7	103,0	113,9	99,5	171,9	171,0	172,7
31	67,7	62,6	73,3	67	109,9	104,2	115,0	**100**	180	180	180
32	68,9	63,8	74,5	68	111,1	105,4	116,2				
33	70,1	65,0	75,8	69	112,3	106,7	117,4				

НТБ ДНУЗТ

f. Измѣненія въ движеніи золотника.

1. Если золотникъ движется не параллельно оси парового цилиндра, а плоскость движенія золотника образуетъ **нѣкоторый уголъ ω съ этой осью**, то эксцентрикъ насаживается не подъ угломъ $90^0 + \delta$, а подъ угломъ $90^0 + \delta_1$, причемъ

$$\delta_1 = \delta \pm \omega,$$

и при томъ такъ, чтобы эксцентриситетъ r при мертвомъ положеніи кривошипа образовалъ съ направленіемъ наклонной оси уголъ $90^0 + \delta_1$.

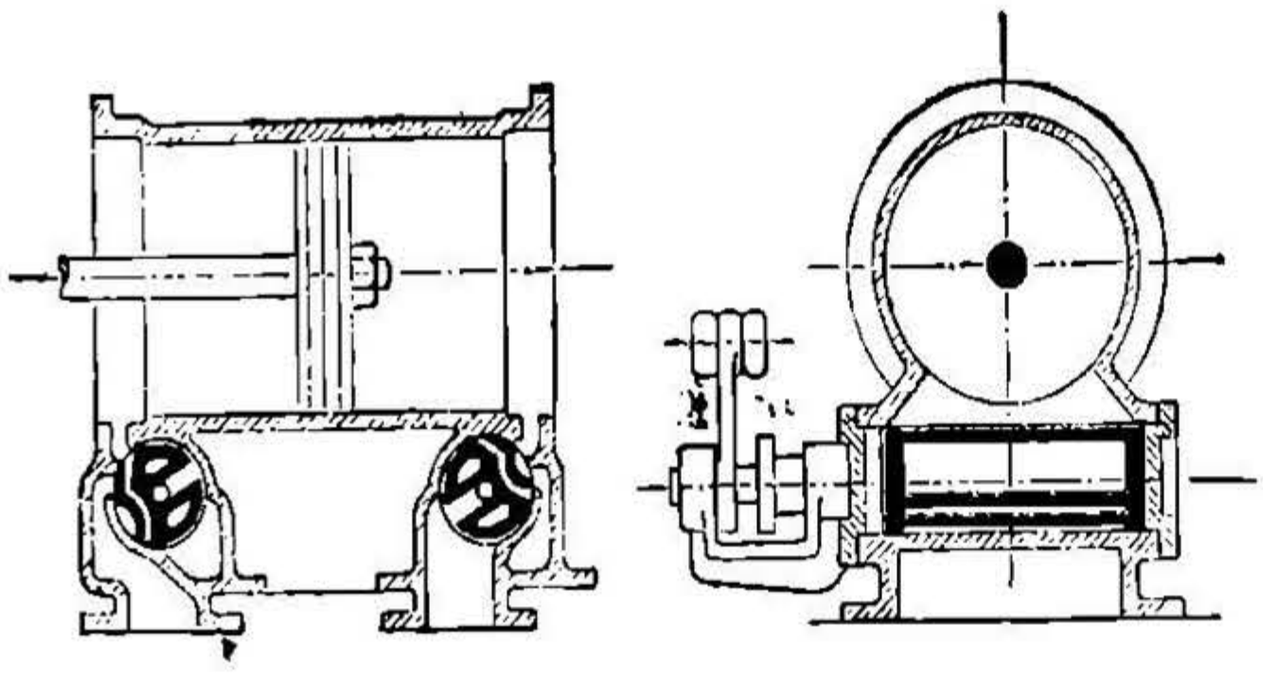
2. Если **передача происходитъ посредствомъ рычаговъ**, то круговые пути этихъ рычаговъ должны быть принимаемы въ разсчетъ. Если направленіе движенія золотника вслѣдствіе рычаговъ обратное, то эксцентрикъ насаживается діаметрально противоположно, т.-е. подъ угломъ $270^0 + \delta$.

3. Равнымъ образомъ, эксцентрикъ насаживается подъ угломъ $270^0 + \delta$ къ кривошипу, если **впускъ производится внутренними ребрами** золотника, а выпускъ—наружними ребрами, какъ это часто встрѣчается въ цилиндрическихъ золотникахъ (черт. 669, стр. 824, а также черт. 667).

g. Видоизмѣненія обыкновеннаго золотника.

1. **Раздѣленный золотникъ** (черт. 660) уменьшаетъ вредное пространство.

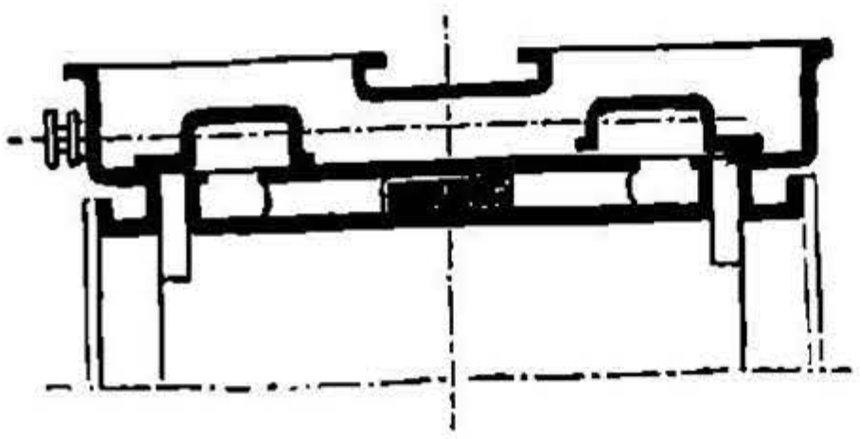
Черт. 659.



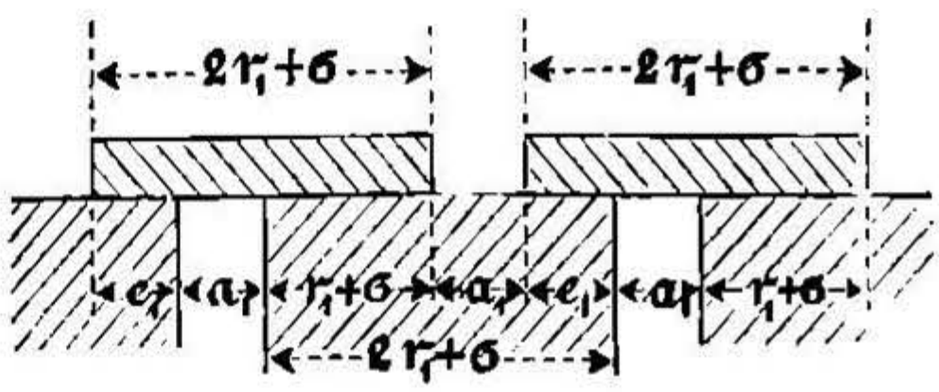
2. **Качающійся золотникъ** (черт. 659) даетъ возможность располагать золотниковое зеркало весьма близко къ цилиндру. Движеніе отъ эксцентрика передается посредствомъ рычага въ любой плоскости.

3. **Золотникъ со щелью** (черт. 661). Обыкновенный золотникъ со сквознымъ отверстіемъ; впускъ и выпускъ пара происходитъ

Черт. 660.



Черт. 661.



двумя раздѣленными золотниками. Золотникъ этотъ даетъ возмож-

НТБ ДНУЗТ

пость, соотвѣтственно числу щелей n, уменьшать длину канала, перекрышку, а слѣд. и эксцентриситетъ и путь золотника до:

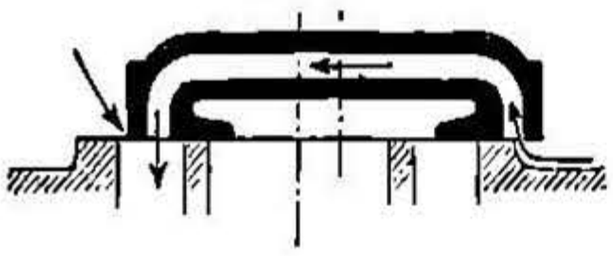
$$r_1 = e_1 + a_1 = \frac{e}{n} + \frac{a}{n} = \frac{r}{n}, \qquad \xi_1 = \frac{\xi}{n},$$

гдѣ a, e, r и ξ значенія для обыкновеннаго золотника при подобномъ же пораспредѣленіи; σ — предохранительная перекрышка. Въ діаграммѣ кругъ золотника чертится какъ и раньше, но для одной щели, причемъ масштабъ измѣняется.

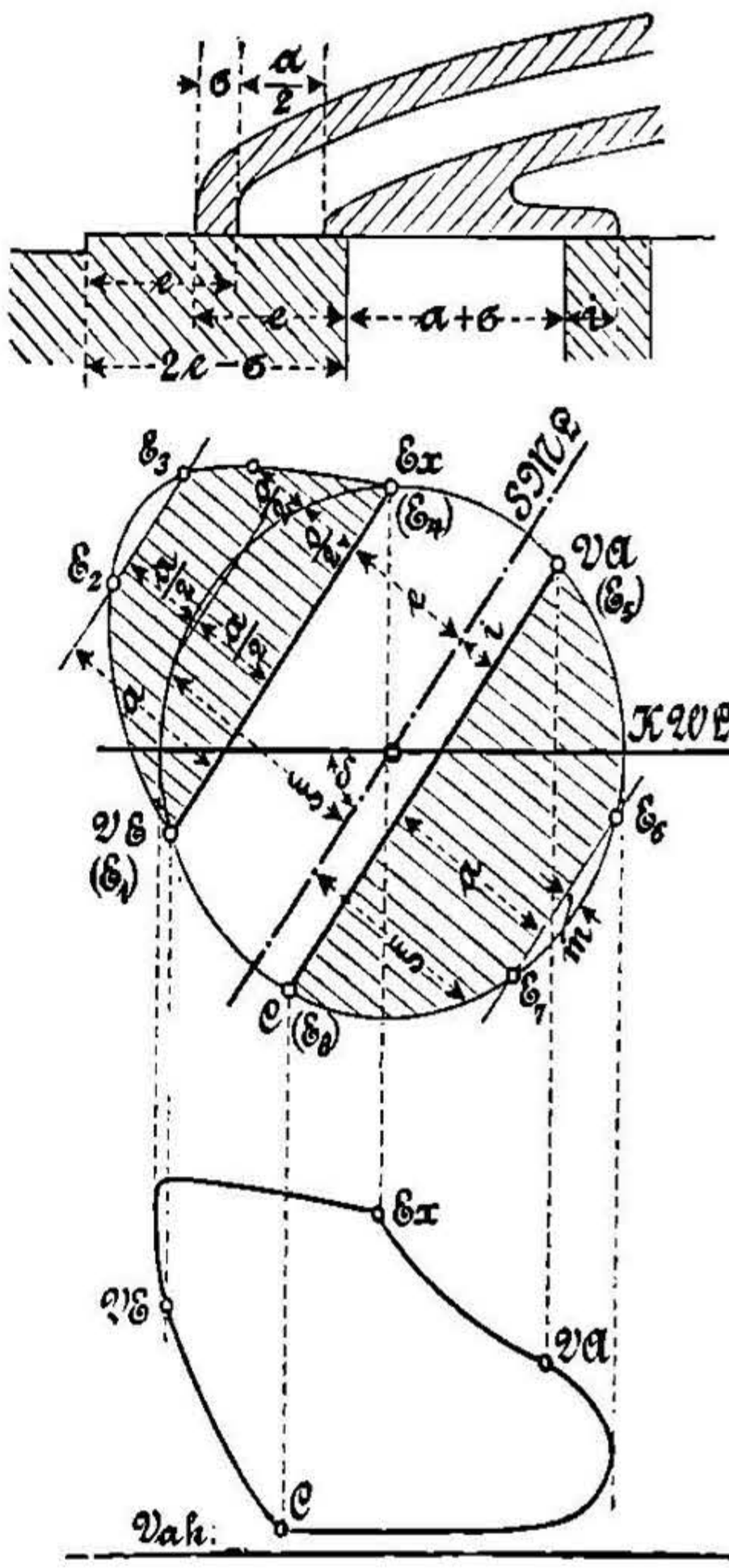
Коробчатый золотникъ о двухъ щеляхъ см. ч. II, отдѣлъ XII, судовыя машины.

4. Золотникъ съ наналомъ (Трика) даетъ двойное окрытіе окна посредствомъ особаго канала въ наружней перекрышкѣ и притока пара съ другой стороны (черт. 662). Толщина стѣнки $\sigma = 1$ до 2 cm (черт. 663); ширина канала въ золотниковомъ зеркалѣ $= a + \sigma$, ширина канала въ золотникѣ $= {}^1/_2\, a$, отъ наружняго ребра канала до края зеркала $= 2\,e - \sigma$.

Черт. 662.



Черт. 663.



Удвоенное отверстіе для впуска пара отъ начала предваренія впуска пара (VE) до отклоненія золотника на величину $\xi = e + {}^1/_2\, a$ (E_2); отъ этой точки до E_3 открытіе канала остается постояннымъ $= a$. Діаграмма какъ у обыкновеннаго золотника (черт. 663), но отъ момента предваренія впуска пара (VE) до открытія канала, равнаго ${}^1/_2\, a$ (E_2), а равно и отъ E_3 до Ex, величины открытія оконъ откладываются двойныя.

Масштабъ для діаграммы золотника опредѣляется слѣдующимъ образомъ: разстояніе ${}^1/_2\, a$ въ діаграммѣ равно дѣйствительной половинной ширинѣ канала; r, e и i имѣютъ размѣры на половину меньшіе, нежели у обыкновеннаго золотника. Кромѣ условія для стороны впуска:

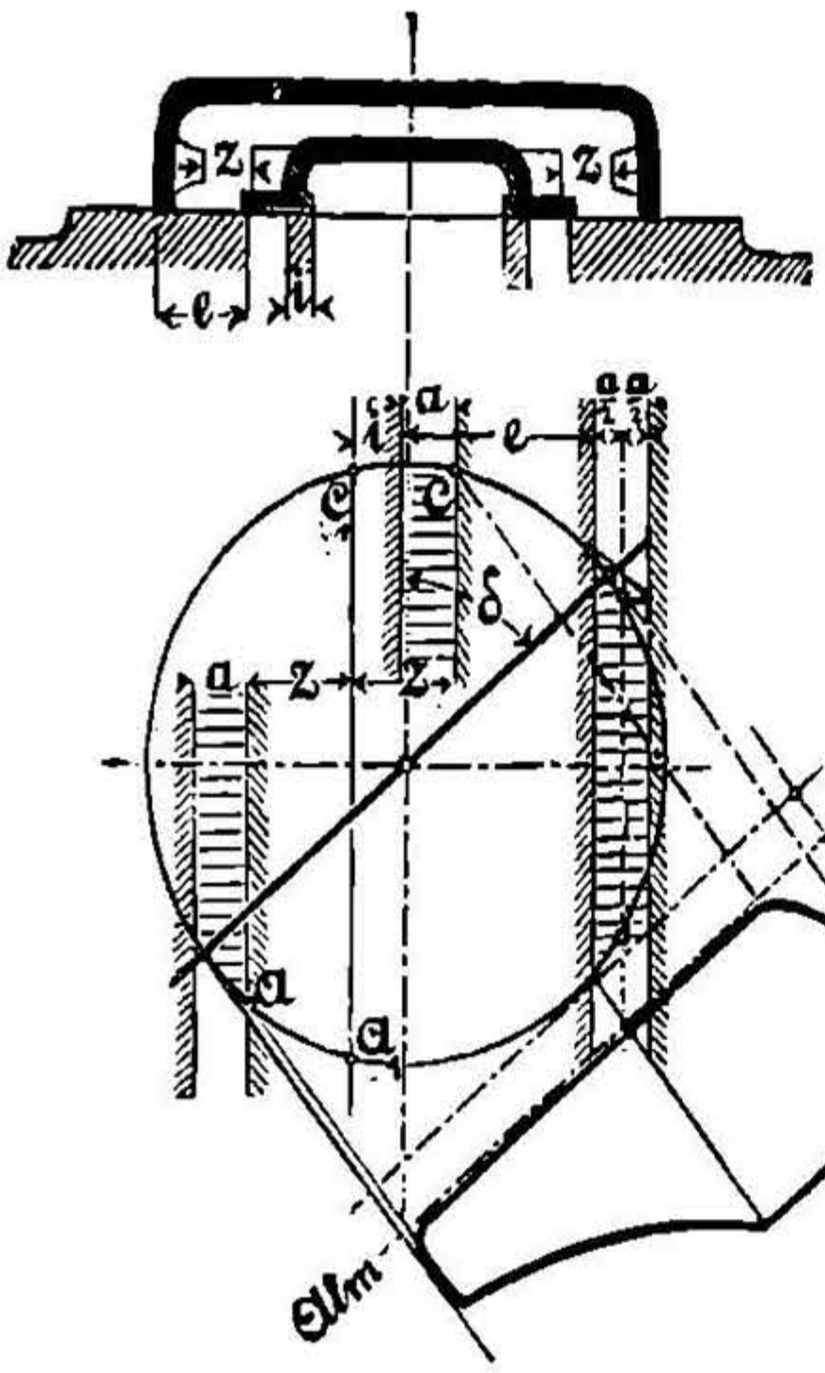
$$r \geqq \frac{a}{2} + e,$$

НТБ ДНУЗТ

должно быть соблюдено условіе для стороны выпуска:

$$r \geqq a + i.$$

Черт. 664.



Черт. 665.

5. **У золотниковъ съ запоздалымъ выходомъ пара** (Эргардта) избѣгается сильное сжатіе при большомъ углѣ опереженія δ. Золотникъ подобенъ предыдущему (система Трика); внутренняя часть золотника Трика имѣетъ движеніе независимо отъ наружней (черт. 664). Соотвѣтственно пути z, проходимому съ каждой стороны наружнимъ золотникомъ (безъ внутренняго), происходитъ болѣе позднее открываніе выходного окна отъ точки A_1, соотвѣтствующей нормальному золотнику, до A, а сжатіе (черт. 665) отъ точки C_1 для нормальнаго золотника до C.

b. Уравновѣшенные (разгруженные) золотники.

Они уравновѣшиваютъ, полностью или отчасти, давленіе пара на золотниковое зеркало, а слѣд. уменьшаютъ и треніе золотниковъ.

1. Золотникъ, у котораго **уравновѣшена плоскость, противолежащая зеркалу** посредствомъ кольца, работающаго по крышкѣ золотниковой коробки, изнутри къ ней притертаго; пространство внутри кольца можетъ быть сообщено съ холодильникомъ.

2. Золотникъ, у котораго происходитъ **впускъ пара изнутри** (черт. 667) у E, выходъ пара происходитъ въ A. Золотникъ пришлифованъ къ зеркалу цилиндра и крышкѣ золотниковаго ящика и работаетъ между двумя параллельными плоскостями. Уравновѣшеніе такого золотника полное, даже и при незначительной неплотности пришлифованныхъ плоскостей. Эксцентрикъ долженъ опережать на уголъ $270^0 + \delta$, т.-е. отставать на уголъ $90^0 - \delta$.

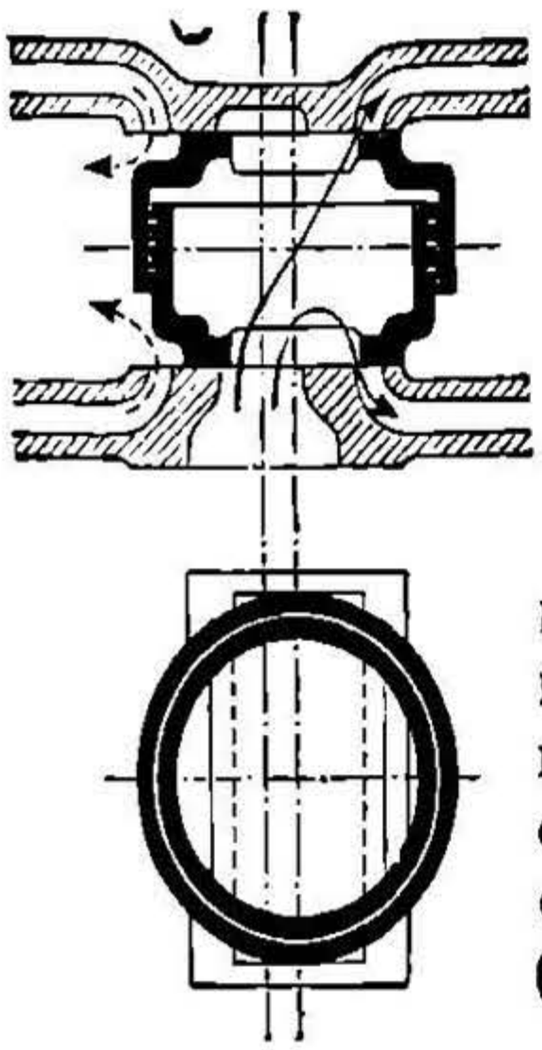
На черт. 666 золотникъ состоитъ изъ двухъ золотниковъ, движущихся одинъ въ другомъ, такъ что обѣ части прижимаются къ зеркалу давленіемъ пара, кромѣ того здѣсь удваиваются площади для впуска и выпуска пара.

3. **Золотникъ съ уравновѣшивающимъ поршнемъ** (черт. 668), соединеннымъ тягой съ золотникомъ. Поршень долженъ имѣть надежное направленіе и длинную соединительную тягу; употребляются рѣдко.

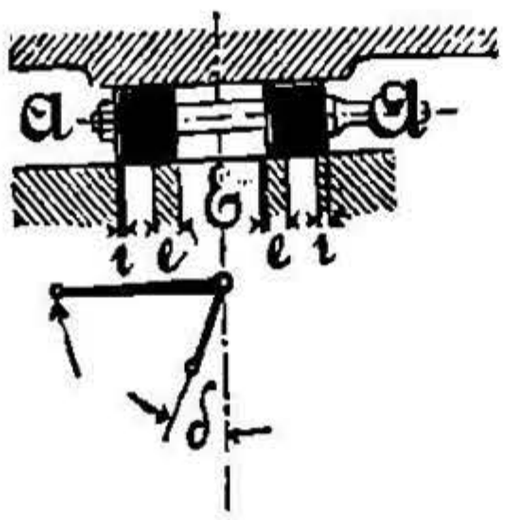
НТБ ДНУЗТ

4. **Золотникомъ въ видѣ поршня** (цилиндрическимъ золотникомъ, черт. 669) достигается полное уравновѣшеніе давленія пара. Паро-

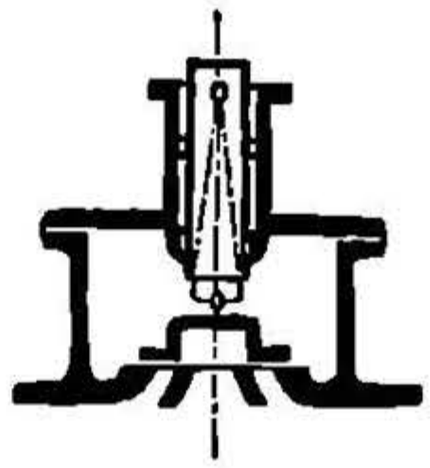
Черт. 666.



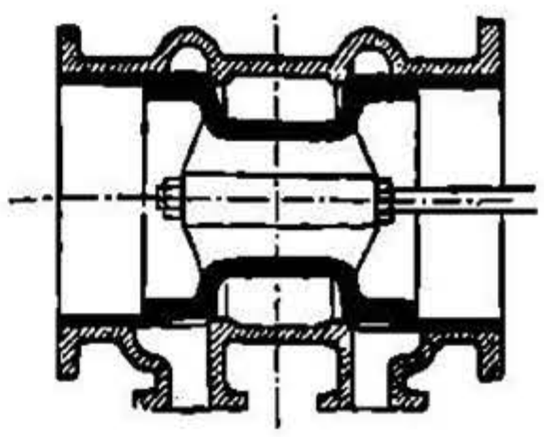
Черт. 667.



Черт. 668.



Черт. 669.



вые каналы расположены по всей окружности золотниковаго зеркала въ видѣ щелей; сумма простѣнковъ между щелями составляетъ $^1/_3$ до $^1/_5$ всей окружности. Размѣры щелей (каналовъ) опредѣляются на основаніи наибольшей допускаемой скорости пара (стр. 808).

III. Расширительное парораспредѣленіе.

a. Обыкновенныя золотниковыя парораспредѣленія.

Измѣненіемъ хода простого коробчатаго золотника или **измѣненіемъ угла предваренія** можно достичь измѣненія расширенія въ весьма тѣсныхъ предѣлахъ, причемъ мѣняется и линейное предвареніе. Большія измѣненія въ степени расширенія, при сохраненіи постояннаго линейнаго предваренія, достигаются простымъ золотникомъ лишь при одновременномъ измѣненіи **хода золотника и предваренія**; напр., вращеніемъ эксцентрика по другому эксцентрику или прямолинейнымъ передвиженіемъ эксцентрика въ прорѣзѣ (см. стр. 833, черт. 688, и стр. 833, e.). То и другое достигается посредствомъ пружиннаго (плоскаго) регулятора, укрѣпленнаго на валу эксцентрика.

Перемѣнный ходъ золотника, равно какъ и перемѣнный уголъ предваренія, при простомъ золотникѣ могутъ быть достигнуты посредствомъ кулиссы, причемъ работаетъ лишь одна половина кулиссы (см. кулиссы).

b. Распредѣленіе двойными золотниками.

1. Золотниковая діаграмма.

Въ употребительныхъ системахъ распредѣленія двойными золотниками (Мейера, Ридера, Фарко) предвареніе впуска и выпуска и начало сжатія опредѣляются основнымъ золотникомъ, похожимъ на обыкновенный коробчатый золотникъ, между тѣмъ какъ начало расширенія устанавливается расширительнымъ

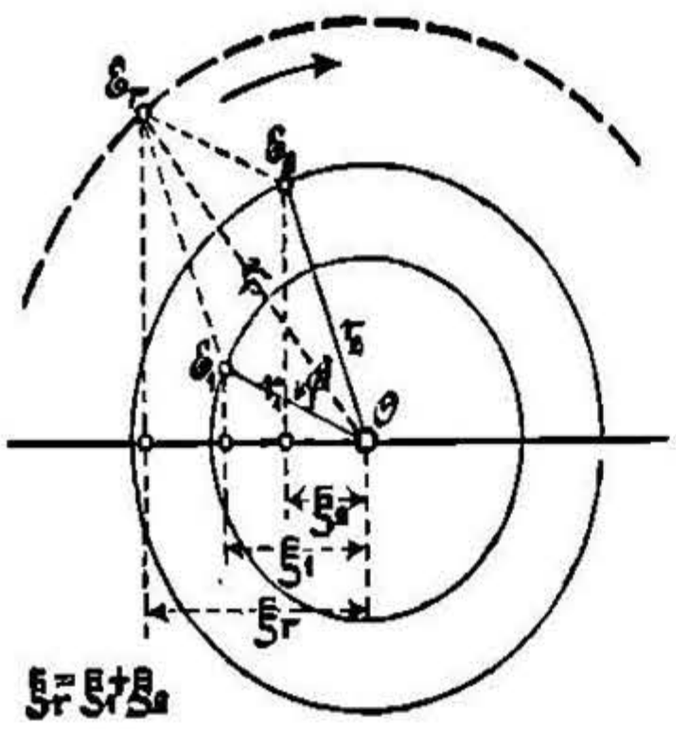
НТБ ДНУЗТ

золотникомъ, который скользитъ по основному (см. распредѣленіе Мейера, черт. 674). Поэтому открытіе впускныхъ каналовъ основного золотника обусловливается относительнымъ движеніемъ расширительнаго золотника по основному.

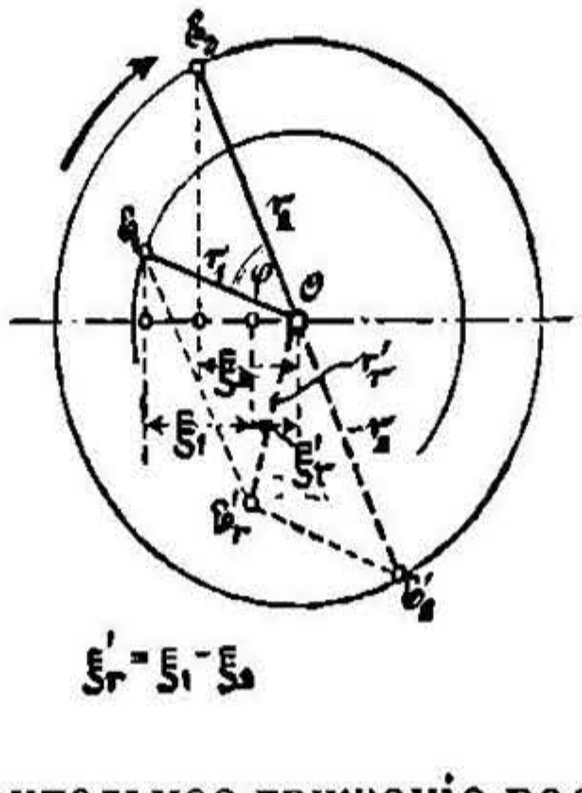
Если точка получаетъ одновременно два перемѣщенія ξ_1 и ξ_2 изъ своего средняго положенія (черт. 670), которыя могутъ быть разсматриваемы, какъ происходящія отъ дѣйствія эксцентриковъ (ξ_1 проекція радіуса эксцентрика r_1, ξ_2 проекція радіуса эксцентрика r_2, закрѣпленнаго подъ угломъ φ къ r_1), то общія перемѣщенія $\xi_r = \xi_1 + \xi_2$ можно найти какъ проекціи результирующаго эксцентрика OE_r радіуса r_r, по величинѣ и направленію равнаго діагонали параллелограмма, построеннаго на радіусахъ обоихъ эксцентриковъ OE_1 и OE_2.

Если надо опредѣлить разность двухъ перемѣщеній, производимыхъ двумя эксцентриками, $\xi_r' = \xi_1 - \xi_2$ (черт. 671), слѣд. если надо найти перемѣщенія при относительномъ движеніи, то слѣдуетъ пользоваться проекціями относительнаго эксцентрика OE_r', по величинѣ и направленію равнаго діагонали параллелограмма, построеннаго на радіусахъ эксцентриковъ r_1 и $-r_2$.

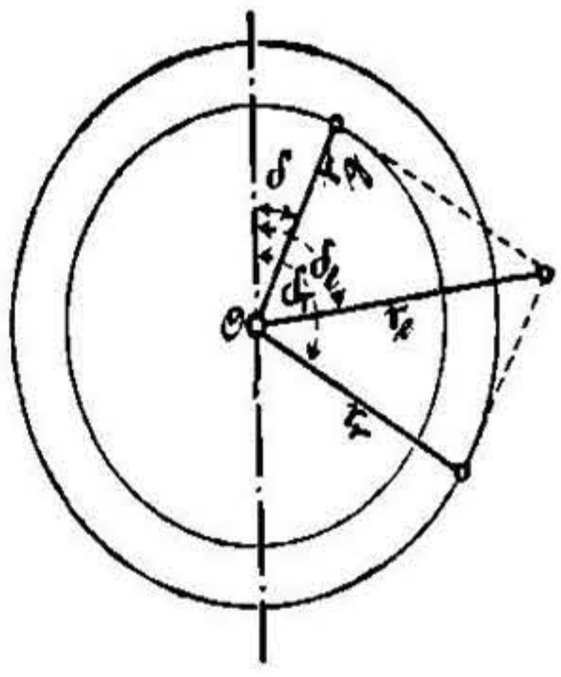
Черт. 670.



Черт. 671.



Черт. 672.



По предыдущему, относительное движеніе расширительнаго золотника (радіусъ эксцентрика r_e, уголъ предваренія δ_e) относительно основного золотника (радіусъ эксцентрика r_g, уголъ предваренія δ) можно разсматривать какъ движеніе золотника, производимое относительнымъ эксцентрикомъ (радіусъ r_r, уголъ предваренія δ_r), причемъ r_e представляетъ діагональ параллелограмма, построеннаго на радіусахъ r_g и r_r (черт. 672).

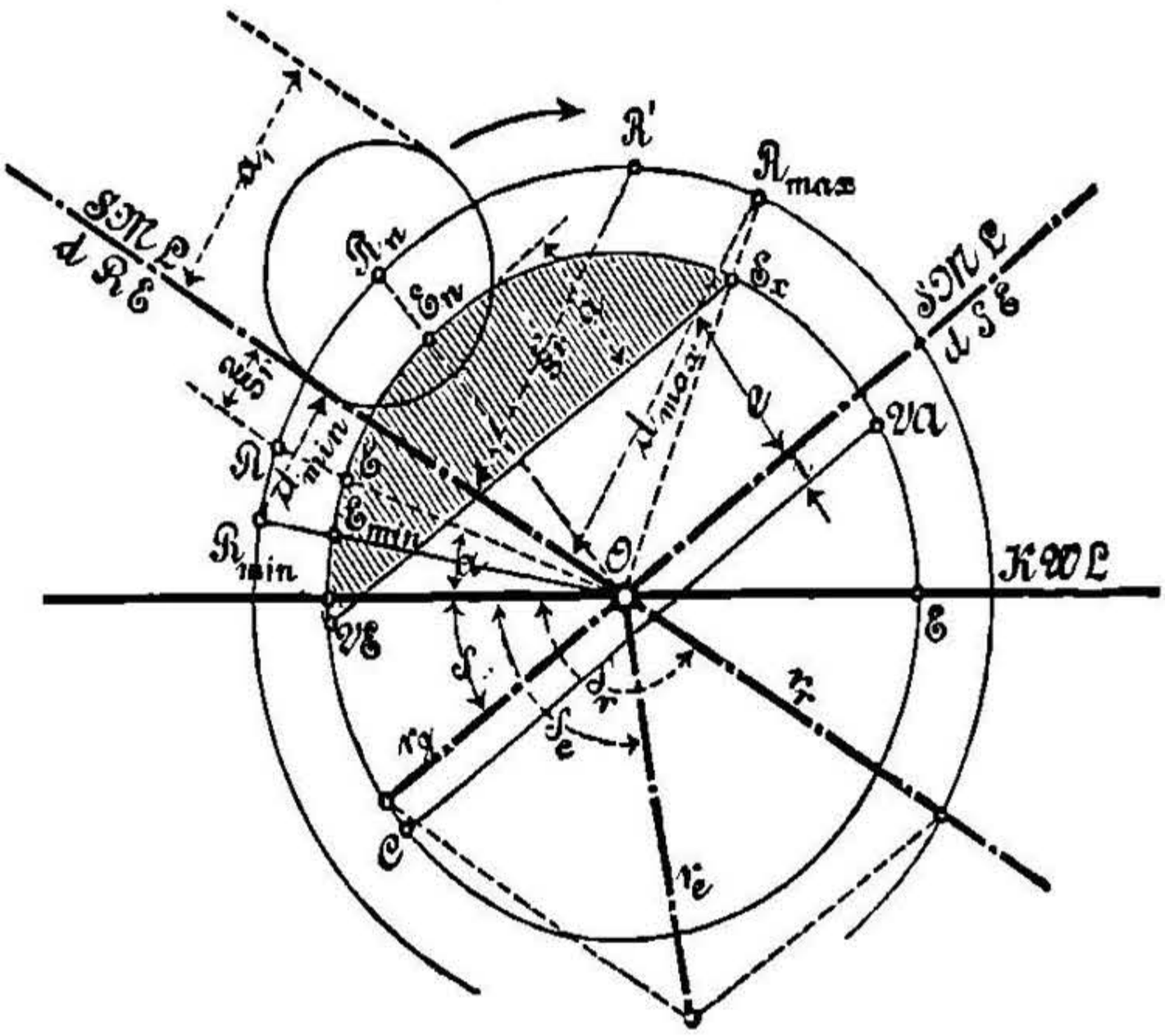
Въ послѣдующемъ принята за основаніе **золотниковая діаграмма Рело**, причемъ круги кривошипа и эксцентрика E выбраны совпадающими. Соотвѣтственныя точки круга основного эксцентрика E и круга относительнаго эксцентрика R лежатъ на одномъ радіусѣ черезъ O.

При **проектированіи парораспредѣленія** для заданныхъ условій распредѣленія пара слѣдуетъ опредѣлить, какъ сказано во 2. стр. 814, по VE, VA и C для основного эксцентрика направленіе средней линіи золотника (уголъ предваренія δ), внутреннюю и внѣшнюю перекрышки i и e, равнымъ образомъ, по ширинѣ канала a, масштабъ діаграммы. (Величина избытка m можетъ быть принята равной пулю, ибо, вслѣдствіе употребительныхъ малыхъ степеней наполненія, расширительный золотникъ производитъ уже отсѣчку, между тѣмъ какъ основной золотникъ еще далеко не открылъ канала).

НТБ ДНУЗТ

Затѣмъ слѣдуетъ выбрать величину относительнаго эксцентрика (r_r равно или нѣсколько больше r_g) и опредѣлить уголъ предваренія δ_r изъ того условія, чтобы при нормальномъ наполненіи (соотвѣтственно точкамъ E_n и R_n) отсѣчка происходила возможно быстрѣе. Этого можно достичь, если описать изъ R_n кругъ радіусомъ = половинѣ ширины канала $^1/_2 a_1$ и за среднюю линію относительнаго эксцентрика принять касательную къ этому кругу изъ O (черт. 673).

Черт. 673.



Перпендикулярныя разстоянія точекъ R круга относительнаго эксцентрика, соотвѣтствующихъ отдѣльнымъ положеніямъ кривошипа (угламъ кривошипа α), отъ средней линіи SML относительнаго эксцентрика представляютъ отклоненія средины расширительнаго золотника отъ средней линіи основного золотника. Если при опредѣленномъ положеніи расширительный золотникъ долженъ произвести отсѣчку, то онъ долженъ имѣть перекрышку d = соотвѣтствующему ξ_r.

Въ большей части расширительныхъ распредѣленій степень наполненія перемѣнная. Наибольшее наполненіе, на которое долженъ быть поставленъ расширительный золотникъ, дается началомъ расширенія Ex для основного золотника; соотвѣтствующая (отрицательная) перекрышка обозначена на черт. 673 d_{max}. За наименьшее наполненіе слѣдуетъ принимать пуль или нѣсколько процентовъ (напр., $s_1 : s = 0{,}05$); черт. 673 даетъ соотвѣтствующую (положительную) перекрышку d_{min}. (Примѣненіе этихъ значеній d_{max} и d_{min} къ опредѣленію размѣровъ золотника см. ниже, **2.** и **3.**)

Всегда требуется исполненіе условія: окно уже должно быть закрыто основнымъ золотникомъ когда происходитъ вновь

НТБ ДНУЗТ

открываніе расширительнымъ золотникомъ; новое открываніе начинается соотвѣтственно той точкѣ, въ которой кругъ относительнаго эксцентрика пересѣкается прямой, параллельной средней линіи SML относительнаго эксцентрика и отстоящей отъ нея на разстояніе $\xi_r = d$. Эта точка пересѣченія лежитъ всегда раньше R_{max}, опредѣленной положеніемъ Ex. Вторичнаго открытія не происходитъ, если:

$$\delta_r \leqq 270^0 - \alpha_1,$$

гдѣ α_1 уголъ кривошипа для Ex. Если уголъ α_1', соотвѣтствующій наибольшему наполненію, возможному при расширительномъ золотникѣ, меньше, чѣмъ α_1, то для δ_r достаточно условіе:

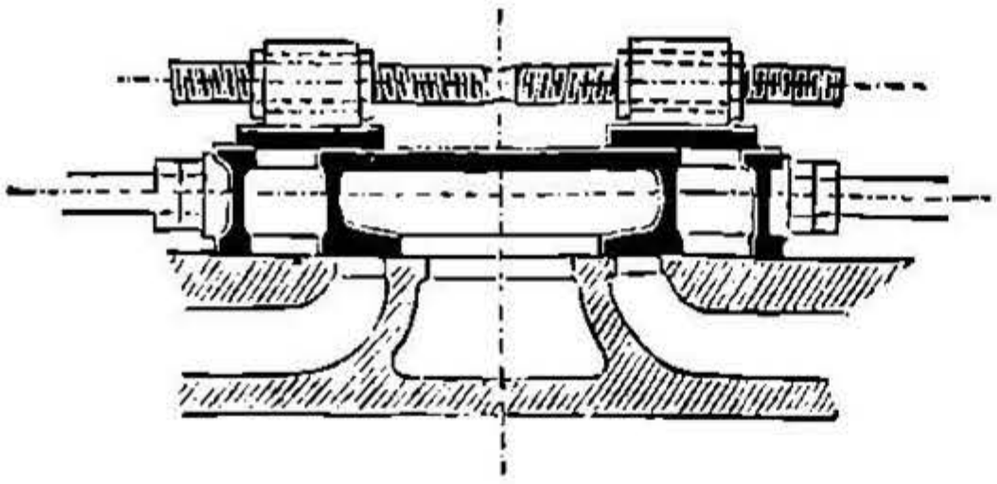
$$\delta_r \leqq 270^0 - {}^1/_2 (\alpha_1 + \alpha_1').$$

По r_g и r_r находимъ окончательно r_e и δ_e для эксцентрика расширительнаго золотника, какъ діагональ параллелограмма, построеннаго на r_g и r_r (см. черт. 673 и соотв. 672), причемъ надо имѣть въ виду, чтобы r_e (а вмѣстѣ съ тѣмъ и длина золотниковой коробки) не получилось слишкомъ большимъ; по возможности $r_e = r_g$ и, во всякомъ случаѣ, не болѣе 1,3 r_g.

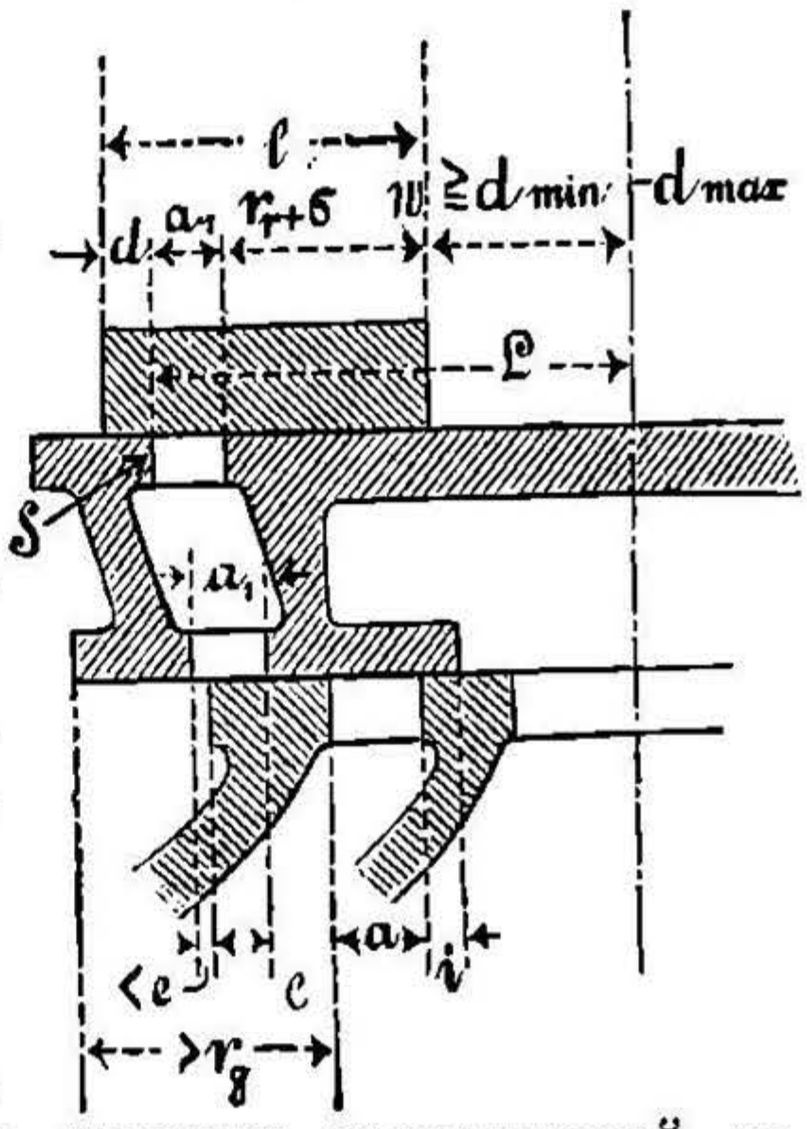
2. Распредѣленіе Мейера.

Примѣръ конструктивнаго исполненія см. черт. 674. Степень наполненія измѣняется помощью измѣненія перекрышки d (черт. 675)

Черт. 674.



Черт. 675.



расширительнаго золотника, состоящаго изъ двухъ пластинокъ. перемѣщающихся посредствомъ винта съ правой и лѣвой рѣзьбой; гайки въ расширительныхъ пластинкахъ часто дѣлаются изъ двухъ половинокъ. Положеніе расширительныхъ золотниковъ при различныхъ степеняхъ наполненія должно быть указываемо снаружи золотниковой коробки особою стрѣлкою и шкалою. Для уравновѣшенія расширительныхъ золотниковъ дѣлаютъ наклонныя углубленія на верхней плоскости основного золотника. Передача движенія винту отъ центробѣжнаго регулятора весьма затруднительна.

Для проектированія должны быть опредѣлены **размѣры**, указанные на черт. 675. Вычисляютъ a, опредѣляютъ, по черт. 673,

НТБ ДНУЗТ

δ, r_q, i и c для основного золотника; ширину канала въ немъ принимаютъ:

$$a_1 = 0{,}8a \text{ до } a$$

и вычерчиваютъ, принимая во вниманіе заданные предѣлы наполненія, золотниковую діаграмму. Если затѣмъ начертить расширительныя пластинки (какъ бы разобщенными съ эксцентрикомъ) въ среднемъ положеніи и установленными на наименьшее наполненіе, слѣд. съ (наибольшей перекрышкой) $d = d_{\min}$, то найдемъ:

длина пластинокъ $l = d_{\min} + a_1 + r_r + \sigma$,

(гдѣ предохранительная перекрышка σ около 5 до 10 mm),

общее перемѣщеніе пластинокъ посредствомъ винта:

$$s = d_{\min} - d_{\max},$$

[$d_{\max}$ = (отрицательной) перекрышкѣ для наибольшаго наполненія],

разстояніе внутреннихъ реберъ пластинки отъ средины:

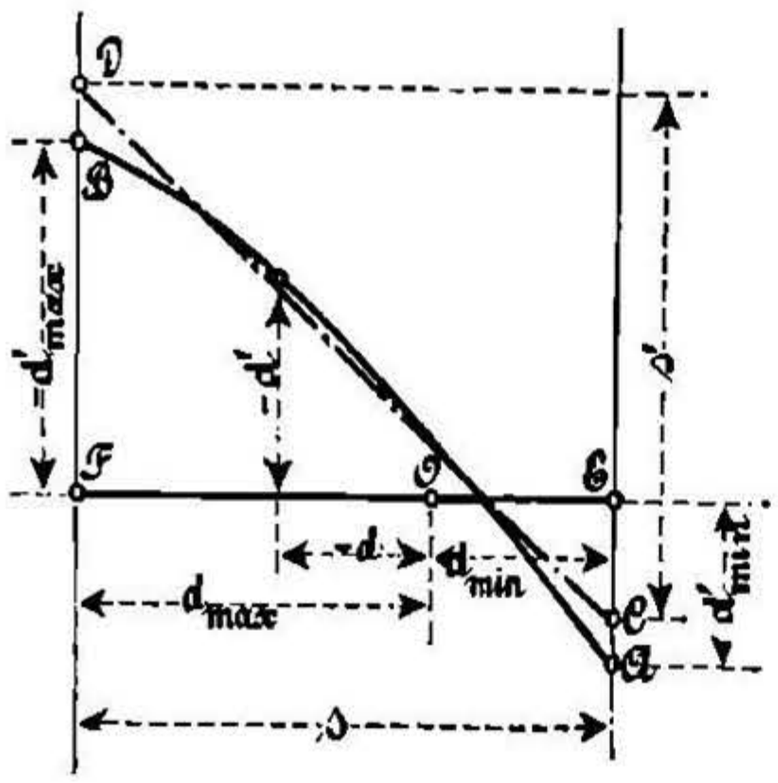
$$w \geqq d_{\min} - d_{\max},$$

разстояніе отсѣкающихъ реберъ S отъ средины:

$$L = a_1 + r_r + \sigma + w.$$

Вліяніе конечной длины шатуна. (Относительно основного золотника см. стр. 816 и слѣд.). Если опредѣлить положенія кривошипа, соотвѣтствующія одинаковымъ относительнымъ путямъ поршня для стороны крышки и для стороны кривошипа (помощью проектированія дугами радіуса = длинѣ шатуна, или по Бриксу, см. стр. 540), взять соотвѣтствующія перекрышки d и d' расширительнаго золотника, какъ перпендикулярныя разстоянія точекъ круга относительнаго эксцентрика отъ средней линіи золотника, и нанести величины d' какъ ординаты соотвѣтствующихъ величинъ d, принятыхъ за абсциссы, то концы d' будутъ находиться на пологой кривой AB. Если на черт. 676 провести прямую CD, возможно менѣе отклоняющуюся отъ AB (въ особенности вблизи наиболѣе употребительныхъ степеней наполненія), то въ разности s' ординатъ конечныхъ точекъ C и D получимъ мѣру сдвиженія для стороны кривошипа, между тѣмъ какъ для стороны крышки эту мѣру дастъ отрѣзокъ оси абсциссъ $s = d_{\min} - d_{\max}$.

Черт. 676.



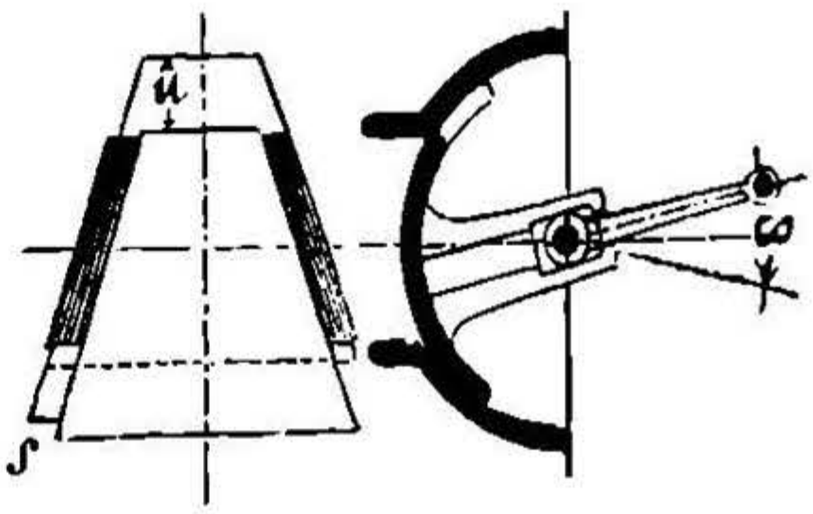
Соотвѣтственно различнымъ значеніемъ s и s', правая и лѣвая рѣзьбы установительнаго винта получаютъ различныя величины хода. Длины EA и FD представляютъ перекрышки, которыя въ дѣйствительности устанавливаются винтомъ соотвѣтственно наименьшему и наибольшему наполненіямъ на сторонѣ кривошипа.

НТБ ДНУЗТ

3. Распредѣленіе Ридера.

Перемѣщеніе отсѣкающихъ реберъ у расширительнаго золотника производится поперечнымъ движеніемъ или вращеніемъ (черт. 677). Пропускные каналы распредѣлительнаго золотника имѣютъ наклонное положеніе. При поперечномъ перемѣщеніи на величину *u* трапецоидальной доски (расширительнаго золотника) получаемъ долевое перемѣщеніе отсѣкающихъ реберъ на величину *s*. Поперечное перемѣщеніе можетъ быть замѣнено вращеніемъ, если расширительной доскѣ и верхней поверхности распредѣлительнаго золотника будетъ придана цилиндрическая форма. Перемѣщенію *u* соотвѣтствуетъ уголъ вращенія *ω*. Уголъ *ω* принимается 30^0 до 90^0. Чѣмъ меньше *ω* при выбранномъ перемѣщеніи *u*, тѣмъ больше получается діаметръ расширительнаго золотника. Рычагъ, поворачивающій расширительный золотникъ, съ удобствомъ соединяется съ регуляторомъ.

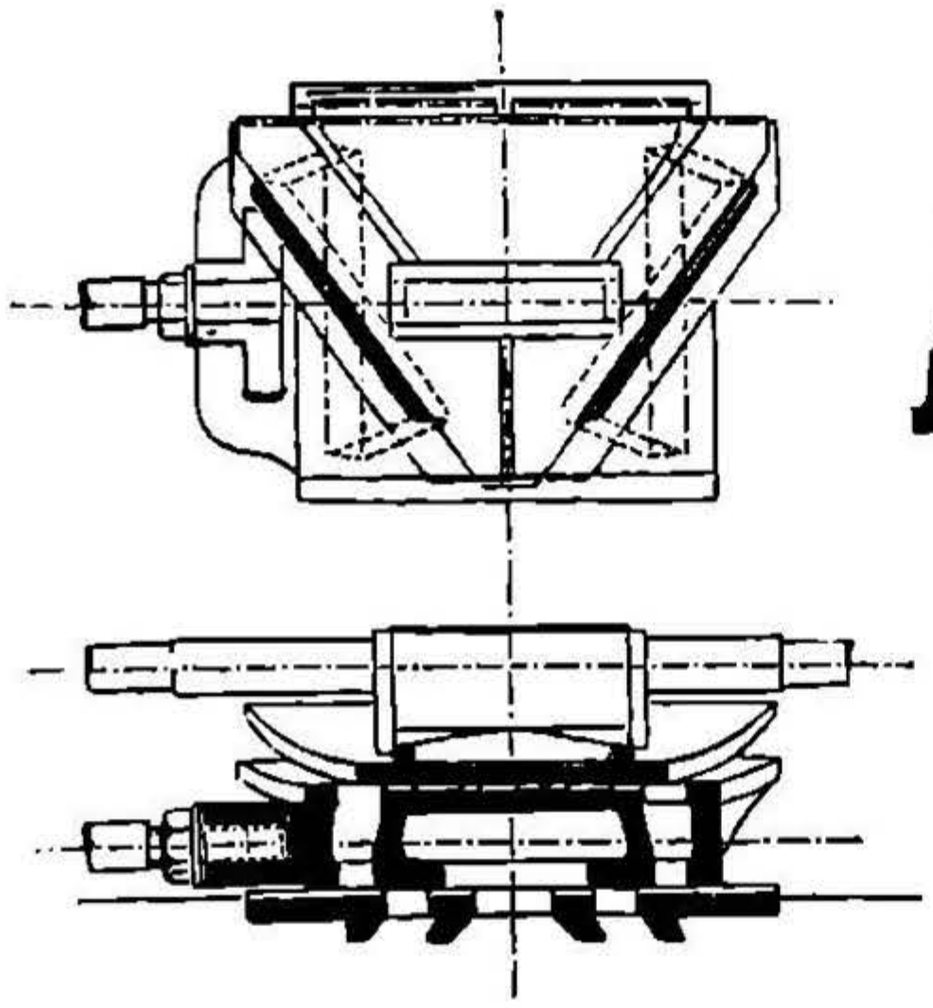
Черт. 677.

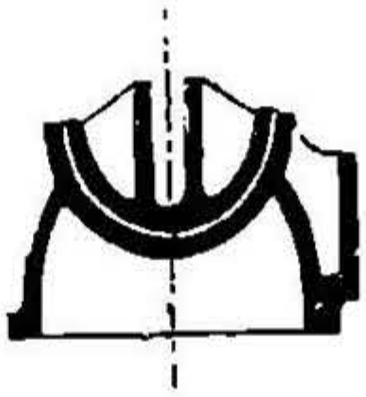


Рычагъ для соединенія золотниковой тяги съ регуляторомъ насаживается на тягу такъ, чтобы эта послѣдняя при перемѣщеніи регулятора могла вращаться около своей оси, допуская одновременно и продольное перемѣщеніе этой тяги въ отверстіи рычага.

Конструкціи золотника Ридера см. черт. 678 до 681: черт. 678 открытый, черт. 680 закрытый, цилиндрическій, слѣдовательно, уравновѣшенный золотникъ Ридера; черт. 679—золотникъ Ридера съ уравновѣшеннымъ расширительнымъ золотникомъ, черт. 681—круглый золотникъ Ридера, причемъ основной золотникъ также уравновѣшенъ.

Черт. 678.





Опредѣленіе размѣровъ. Слѣдуетъ вычислить ширину канала *a*, опредѣлить, по черт. 673 (стр. 826), δ, r_g, *i* и *e* для основного золотника, принявъ ширину канала въ немъ:

$$a_1 = 0{,}8\,a \text{ до } a,$$

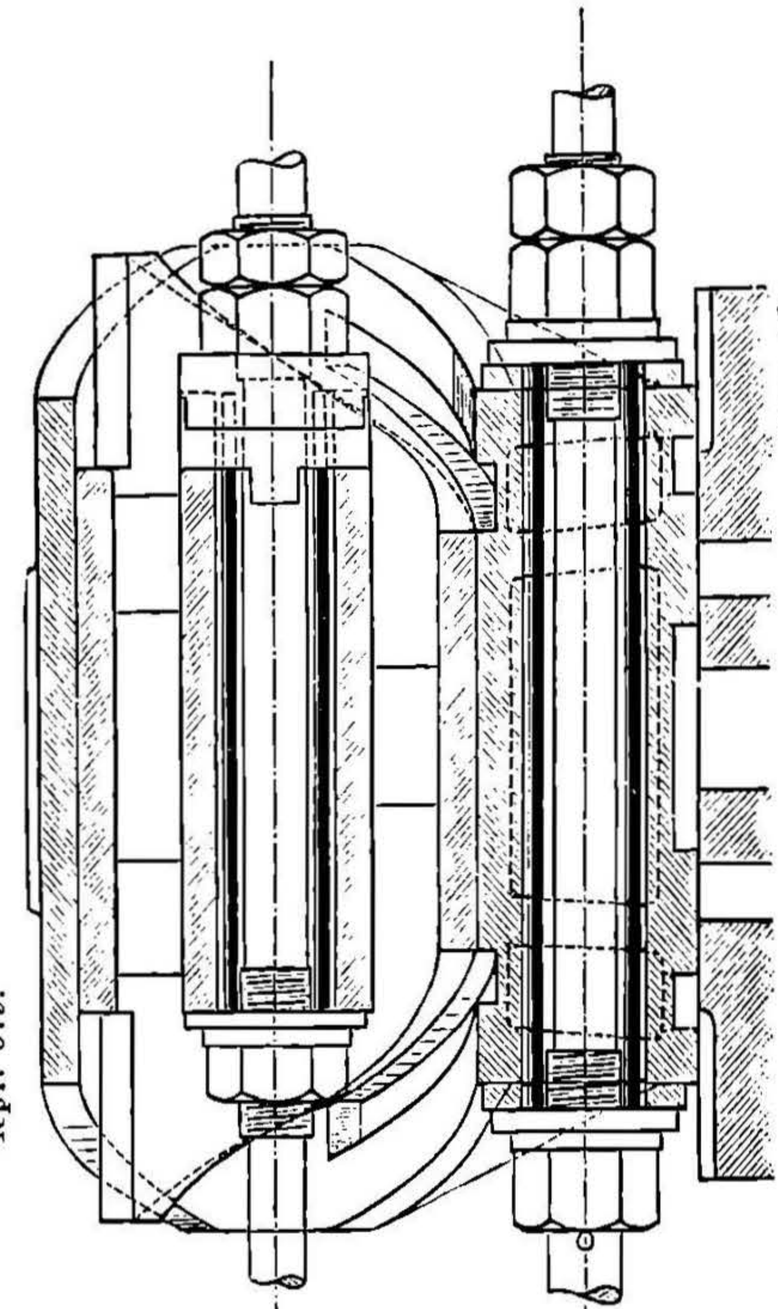
длину канала:

$$b_1 = b.$$

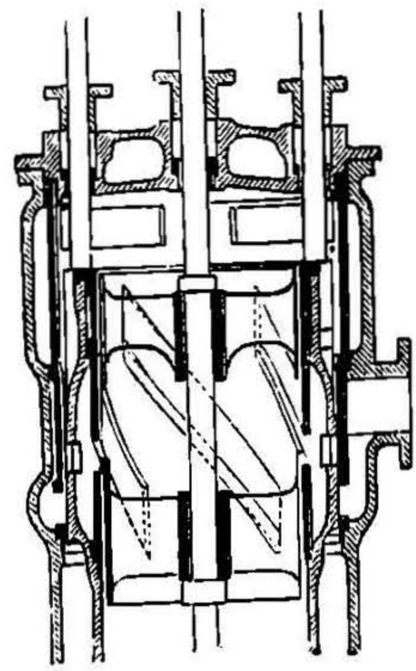
(Продолженіе на стр. 831.)

НТБ ДНУЗТ

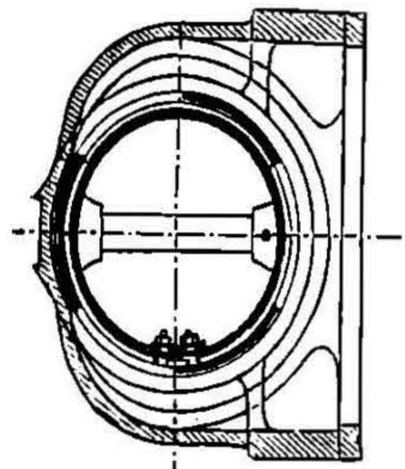
НТБ ДНУЗТ

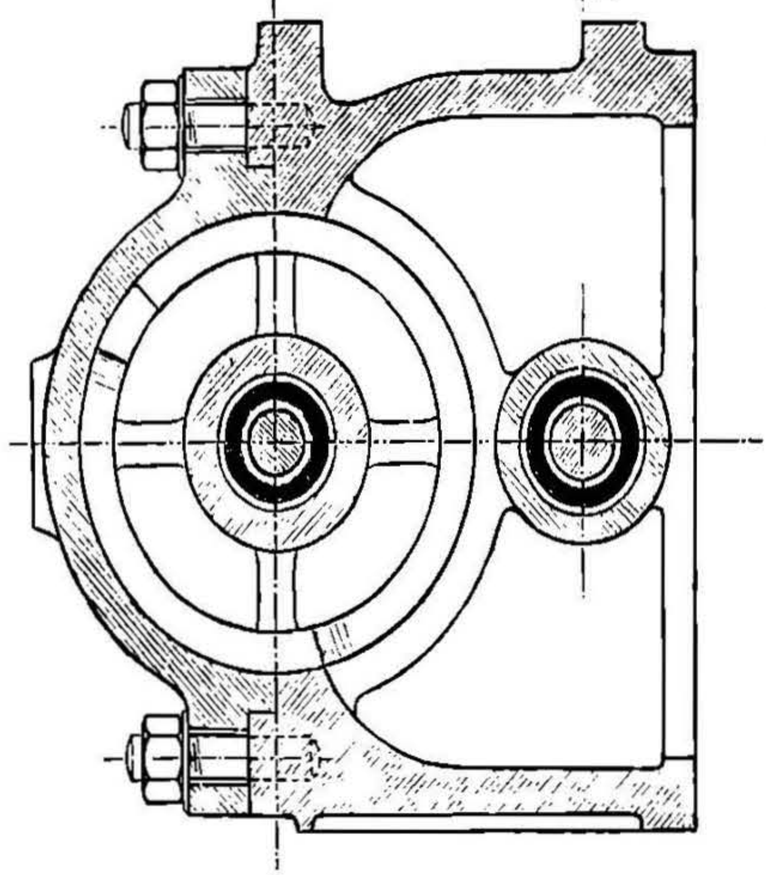


Черт. 679.



Черт. 681.





Черт. 680.

Или также $a_1 = a$ и

$$b_1 = 0{,}8\,b \text{ до } b.$$

Принимая во вниманіе предѣлы наполненія, слѣдуетъ закончить золотниковую діаграмму (черт. 673), найти d_{max}, а также общее перемѣщеніе $s = d_{min} - d_{max}$
и, если слѣдуетъ принять во вниманіе вліяніе конечной длины шатуна, найти по черт. 676 также d'_{max} (соотв. FD) и s' для другой стороны цилиндра.

Выбравъ величину поперечнаго перемѣщенія u въ зависимости отъ угла поворота и діаметра расширительнаго золотника, удобнѣе всего начертить въ развернутомъ видѣ поверхность основного золотника, по которой перемѣщается расширительный золотникъ, послѣдній чертится въ среднемъ положеніи и для наибольшаго наполненія, какъ показано на черт. 682.

Отъ лѣваго (отсѣкающаго) ребра канала S откладываютъ ширину канала a_1, равнымъ образомъ — d_{max}, а отъ праваго ребра канала вправо откладываютъ длину радіуса относительнаго эксцентрика, увеличенную на величину предохранительной перекрышки σ; величина AA' представляетъ наименьшую длину трапецевидной расширительной пластинки:

$$l = r_r + \sigma + a_1 + d_{max}.$$

Черт. 682.

Перпендикулярно къ AA' проводимъ величину u и откладываемъ въ обѣ стороны продольныя перемѣщенія s и s'; этимъ опредѣляется направленіе наклонныхъ сторонъ трапеціи (имѣемъ $\operatorname{tg}\alpha = s : u$, $\operatorname{tg}\alpha' = s' : u$).

Общая ширина $B = u + b_1$,

наибольшая длина пластинки $L = l + (u + b_1)(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\alpha')$,

или $$L = l + \left(1 + \frac{b_1}{u}\right)(s + s').$$

(Заштрихованныя на черт. 682 полоски шириною σ' прибавлены какъ предохранительныя перекрышки.)

Для уменьшенія L часто раздѣляютъ трапецію $AA'BB'$ на нѣсколько отдѣльныхъ (соединенныхъ между собой) трапецій, а каналы (a_1 b_1) на столько же частей (длиною b_1 k); если число этихъ частей $= k$, то имѣемъ:

$$B = k\,u + b_1 \quad \text{и} \quad L = l + \left(1 + \frac{b_1}{k\,u}\right)(s + s').$$

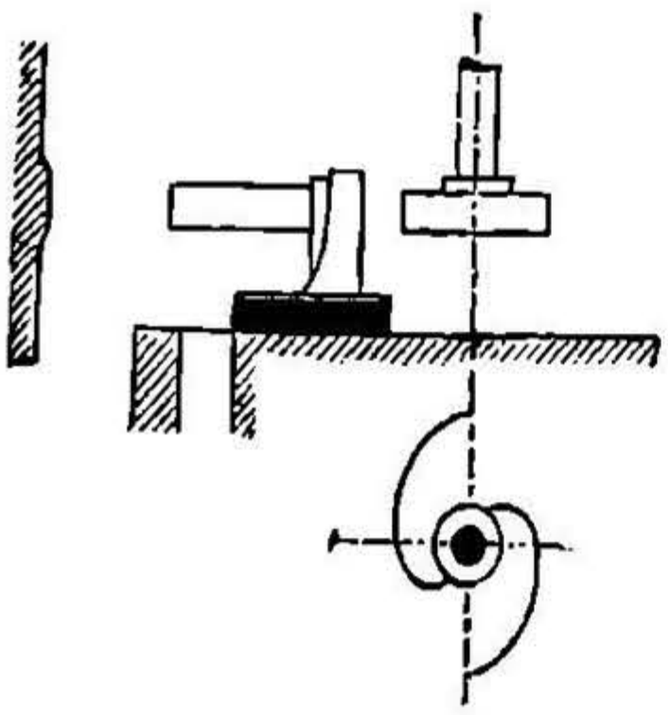
Въ закрытыхъ расширительныхъ золотникахъ діаметръ ихъ D_e получается изъ: $\pi D_e = B + \sigma'$

НТБ ДНУЗТ

4. Распредѣленіе Фарко (черт. 683).

На верхней плоскости распредѣлительнаго золотника лежитъ расширительная доска, которая движется вмѣстѣ съ распредѣлительнымъ золотникомъ и держится на послѣднемъ однимъ лишь

Черт. 683.



треніемъ. При ударѣ расширительной доски о неподвижный кулачекъ доска эта скользитъ по распредѣлительному золотнику, закрывая при этомъ пропускной каналъ этого золотника (отсѣчка пара). Перемѣнное наполненіе достигается перемѣной положенія эксцентрическаго кулачка относительно своей оси. Въ свое первоначальное положеніе расширительная доска возвращается послѣ удара ея о постоянную неподвижную точку золотниковой коробки.

Это пораспредѣленіе допускаетъ перемѣнную отсѣчку для различныхъ положеній кривошипа до угла $90^0 - \delta$ отъ мертваго положенія, именно, до тѣхъ поръ пока основной золотникъ движется въ томъ же направленіи, какъ и поршень. При правильно проектированномъ золотникѣ, т.-е. при достаточномъ предваренiи впуска и сжатіи, перемѣнная отсѣчка возможна лишь для угловъ кривошипа отъ 0 до 60 и maximum до 65^0, что соотвѣтствуетъ наполненію отъ 0 до 0,25 и maximum 0,3.

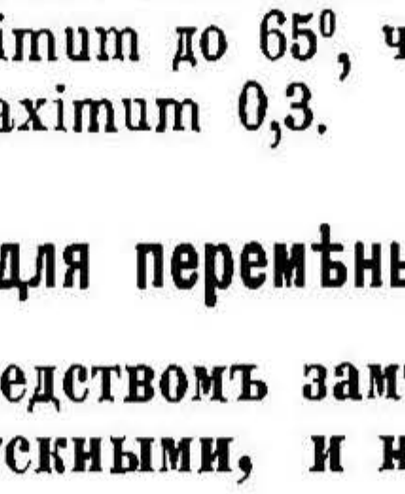
IV. Механизмы для перемѣны хода машинъ.

а. Перемѣна хода посредствомъ замѣны впускныхъ каналовъ выпускными, и наоборотъ.

Въ паропроводную трубу цилиндра (черт. 684) вставляется распредѣлительная для перемѣны хода коробка (черт. 685), у которой фланецъ D соединяется съ пароисходящей трубой. При пе-

Черт 684.

Черт. 685.



реднемъ ходѣ золотникъ S находится въ такомъ положеніи, что паръ проходитъ въ цилиндръ черезъ каналъ E; а при заднемъ ходѣ—черезъ каналъ A. Перемѣна хода достигается перемѣщеніемъ золотника S. Отбрасываніе золотника при впускѣ пара черезъ A (черт. 684) можетъ быть устранено давленіемъ пара въ золотниковой коробкѣ. Распредѣленіе это не допускаетъ угла предваренія и перекрышекъ, а, слѣд., не допускаетъ

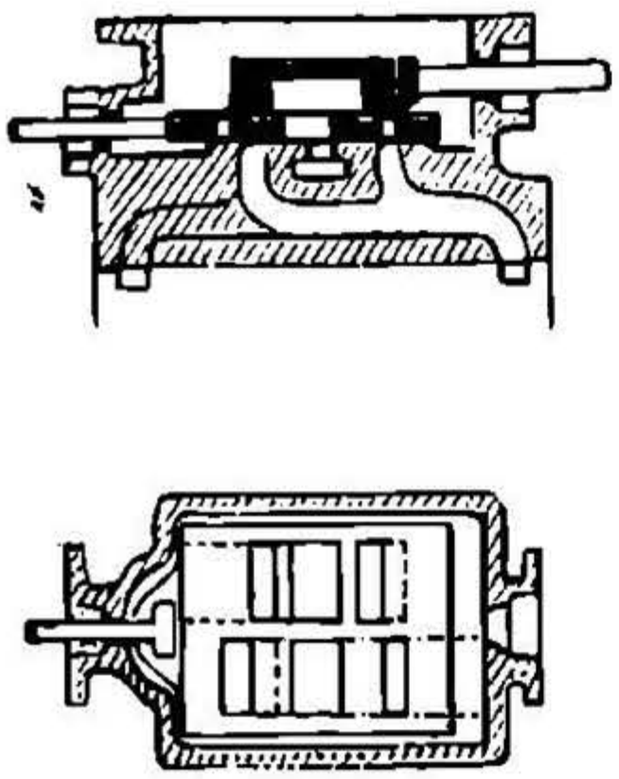
НТБ ДНУЗТ

ни расширенія, ни сжатія и т. д. При употребленіи перекрышекъ можно улучшить ходъ въ одномъ направленіи за счетъ другого.

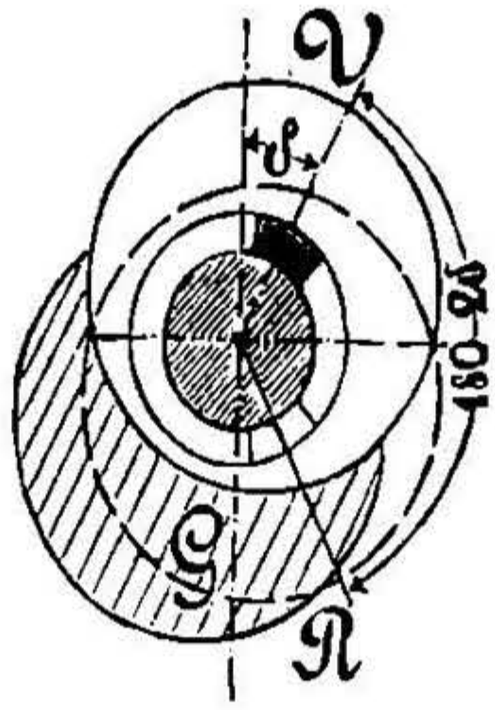
b. Перемѣна хода при помощи передвижныхъ золотниковыхъ зеркалъ.

Конструкція видна на черт. 686. Перекрышка и уголъ предваренія не допускаются. Большіе размѣры золотниковой коробки.

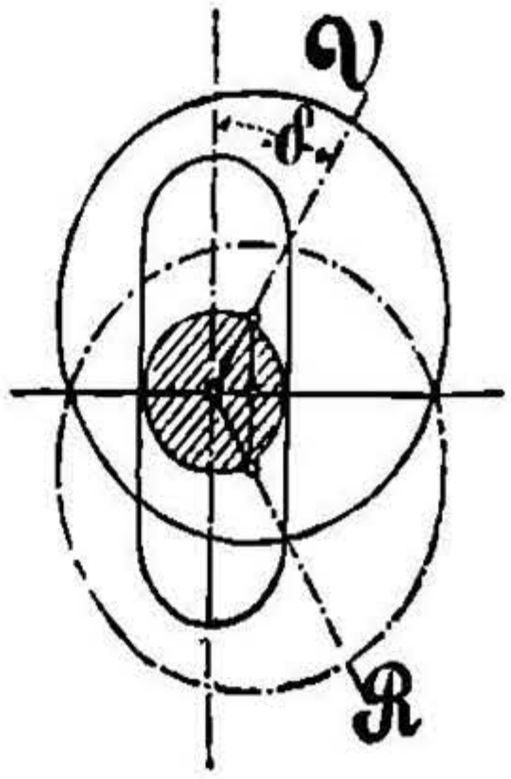
Черт. 686.



Черт. 687.



Черт. 688.



c. Перемѣна хода помощью обратныхъ рычаговъ.

Золотниковая тяга соединена съ однимъ изъ концовъ обратнаго рычага, вслѣдствіе чего происходитъ перемѣна хода. Уголъ предваренія и перекрышка не допускаются.

d. Перемѣна хода при помощи свободно вращающагося эксцентрика,

который изъ положенія V (черт. 687) для передняго хода приводится въ положеніе R для задняго хода посредствомъ вращенія его на уголъ $180^0 - 2\,\delta$. Эксцентрикъ уравновѣшенъ противовѣсомъ G. Перемѣщеніе эксцентрика достигается въ малыхъ машинахъ посредствомъ ручного колеса, а у большихъ (машины пароходныя) посредствомъ эксцентриковыхъ тягъ.

e. Перемѣна хода посредствомъ передвижного эксцентрика.

Эксцентрикъ передвигается въ прорѣзѣ такъ, что центръ его перемѣщается по прямой, перпендикулярной къ направленію кривошипа (черт. 688). Этимъ достигается перемѣнная величина эксцентриситета, угла предваренія, а слѣд. и перемѣнное расширеніе при постоянномъ линейномъ предвареніи впуска пара. При дальнѣйшемъ передвиженіи наступаетъ перемѣна хода машины, въ конечномъ положеніи конструкція эта тождественна съ перемѣной хода посред-

НТБ ДНУЗТ

ствомъ свободно вращающагося эксцентрика. Распредѣленіе пара опредѣляется, какъ для обыкновеннаго коробчатаго золотника.

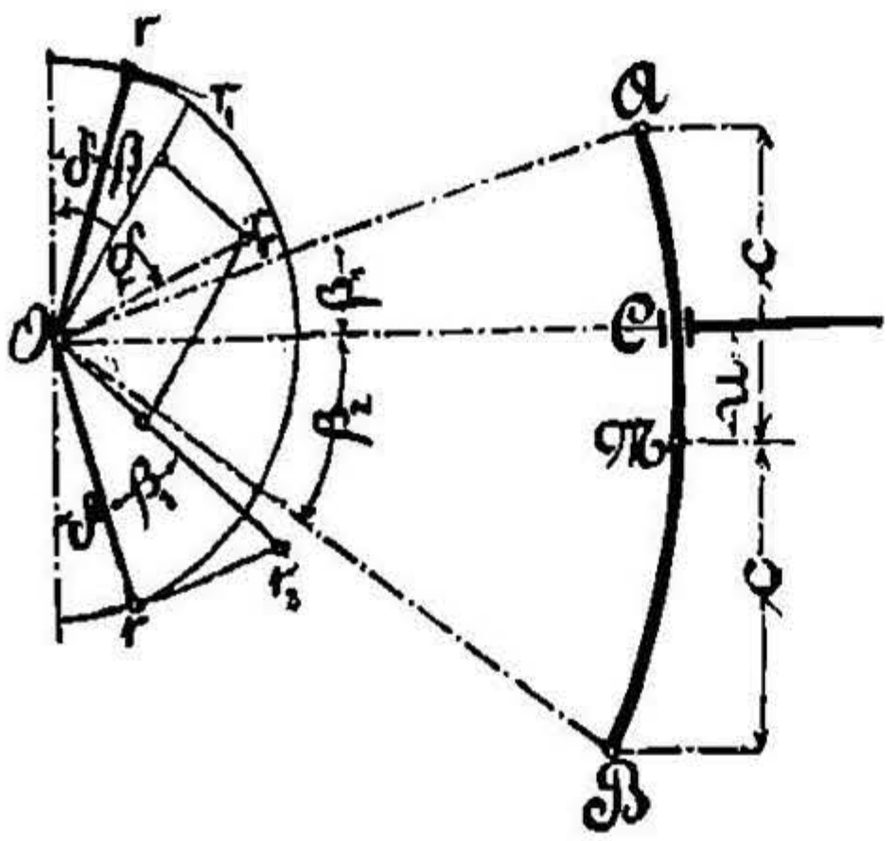
Перемѣщеніе эксцентрика въ прорѣзѣ во время хода машины является затруднительнымъ, почему система эта замѣняется системой распредѣленія кулиссами.

f. Распредѣленіе кулиссами.

1. Общая теорія кулиссныхъ пароораспредѣленій.

Предполагаемъ, что конечныя точки кулиссы движутся по прямымъ линіямъ, параллельнымъ оси механизма, что отношеніе длины эксцентриковой тяги l къ эксцентриситету r равно ∞. Движеніе эксцентриковъ передается конечными точками кулиссы въ зависимости отъ угла β эксцентриковой тяги съ осью механизма и въ зависимости отъ положенія кулиссы. Передача движенія отъ точки A черезъ кулиссу C (кулиссному камню) происходитъ на основаніи закона передачи движенія рычагомъ. Оба эти движенія могутъ быть замѣнены движеніемъ отъ одного эксцентрика. Перемѣщеніе части C, производимое тягой и кулиссой, замѣняется движеніемъ отъ одного эксцентрика по слѣдующему **общему правилу** (черт. 689).

Черт. 689.



Данный эксцентрикъ r, съ угломъ предваренія δ, передвигаетъ при ходѣ впередъ конечную точку кулиссы A при помощи тяги наклонно подъ угломъ β_1. Движеніе это можетъ быть замѣнено непосредственнымъ перемѣщеніемъ (безъ наклона) той же точки кулиссы эксцентрикомъ

$$r_1 = \frac{r}{\cos \beta_1},$$

который при открытыхъ тягахъ насаживается подъ угломъ $\delta + \beta_1$, а при скрещенныхъ тягахъ—подъ угломъ $\delta - \beta_1$ *). Построеніе такого эксцентрика r_1 (для открытыхъ тягъ) см. черт. 689. Для какого угодно положенія кулиссы u, при длинѣ ея $2c$, эксцентрикъ r_1 замѣняется изъ соотношенія плечъ рычага эксцентрикомъ:

$$r_1' = r_1 \frac{c + u}{2c}.$$

Эксцентрикъ r_1' можетъ быть разсматриваемъ какъ эксцентрикъ, непосредственно перемѣщающій кулиссный камень C.

*) Для различія „скрещенныхъ“ отъ „открытыхъ“ тягъ необходимо прослѣдить расположеніе эксцентриковыхъ тягъ для мертваго положенія кривошипа, показаннаго на черт. 690 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Точно такъ же находимъ для эксцентрика задняго хода:

$$r_2' = r_2 \frac{c - u}{2c}, \qquad \text{гдѣ } r_2 = \frac{r}{\cos \beta_2};$$

онъ насаженъ подъ угломъ $\delta + \beta_2$ къ вертикали при открытыхъ тягахъ и подъ угломъ $\delta - \beta_2$ при скрещенныхъ тягахъ.

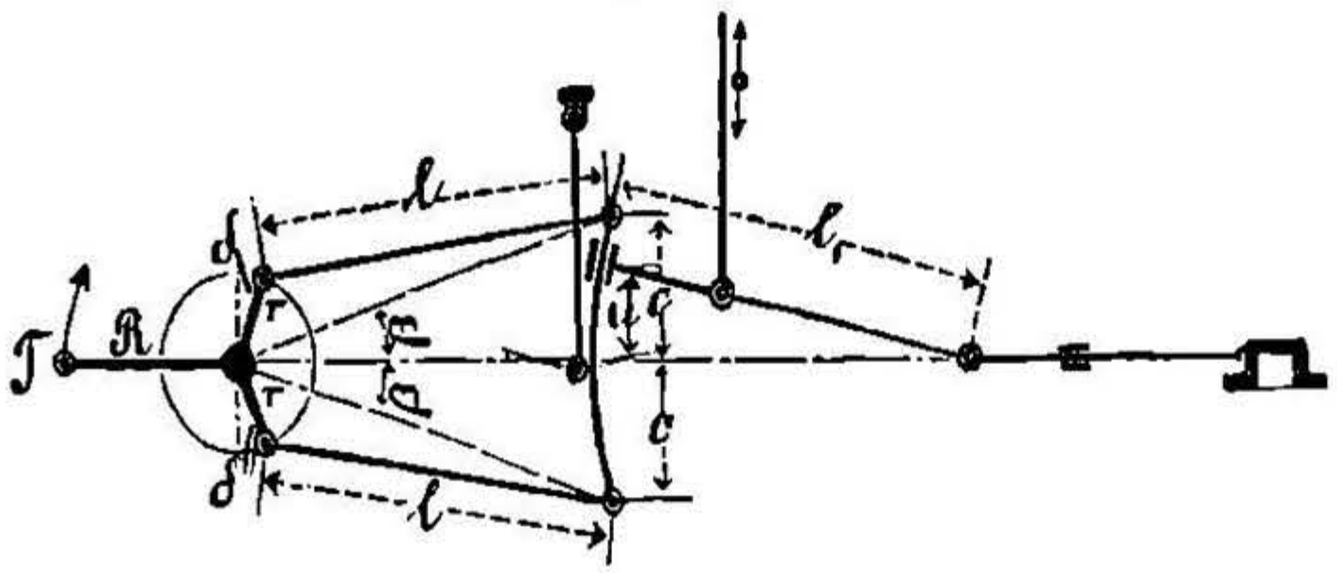
Оба эксцентрика r_1' и r_2' соединяются, по правилу параллелограмма, въ одинъ равнодѣйствующій эксцентрикъ r_r, насаженный подъ угломъ предваренiй δ_r (см. черт. 689). Этотъ эксцентрикъ r_r, построенный для одного положенія камня C, своимъ движеніемъ (которое опредѣляется по общему правилу простыхъ золотниковыхъ парораспредѣленій) вполнѣ замѣняетъ дѣйствіе всего кулиснаго механизма для разсматриваемаго положенія кулиснаго камня.

Геометрическое мѣсто конечныхъ точекъ равнодѣйствующихъ эксцентриковъ для различныхъ положеній кулиснаго камня въ данномъ парораспредѣленіи называется **кривою вершинъ.** Если ставится условіемъ, чтобы для всѣхъ положеній парораспредѣлительнаго механизма линейное предвареніе впуска было одно и то же, то кривая вершинъ должна представлять прямую, перпендикулярную къ направленію движенія золотника.

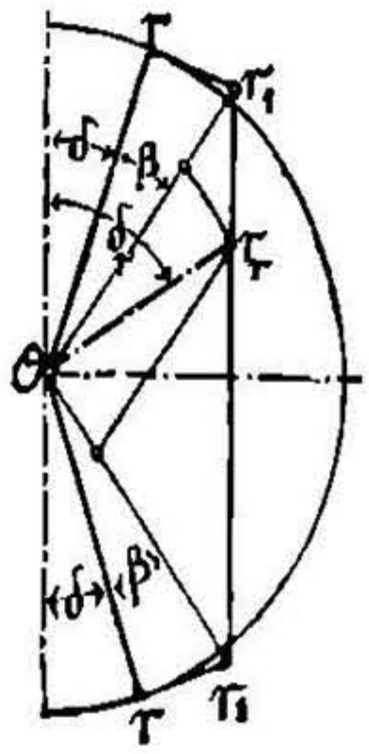
2. Перемѣна хода кулиссою Гуча (черт. 690, для открытыхъ тягъ).

Кулисса подвѣшена къ постоянной точкѣ или направляется по прямой. Уголъ β — постоянный. Золотниковая тяга съ кулиснымъ камнемъ перемѣщается въ кулиссѣ.

Черт. 690.



Черт. 691.



Радіусъ кривизны кулиссы l_1 = длинѣ золотниковой тяги. Подвѣску кулиссы см. стр. 838.

Конечныя точки равнодѣйствующихъ эксцентриковъ для различныхъ положеній камня лежатъ на одной **прямой** (черт. 691), почему линейное предвареніе постоянно. Координаты конечныхъ точекъ равнодѣйствующихъ эксцентриковъ опредѣляются аналитически изъ:

$$x = r\left(\sin\delta \pm \frac{c}{l}\cos\delta\right) \text{ и } y = \frac{ru}{c}\left(\cos\delta \mp \frac{c}{l}\sin\delta\right),$$

гдѣ l длина эксцентриковой тяги; верхній знакъ принимается для открытыхъ тягъ, нижній — для скрещенныхъ тягъ.

НТБ ДНУЗТ

Путь золотника для какого угодно угла поворота кривошипа опредѣляется изъ:

$$\xi = r\left(\sin\delta \pm \frac{c}{l}\cos\delta\right)\cos\alpha \pm \frac{ur}{c}\left(\cos\delta \mp \frac{c}{l}\sin\delta\right)\sin\alpha.$$

Въ паровозахъ вліяніе игры рессоръ ведущей оси на это пораспредѣленіе тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше степень наполненія. При наклонномъ расположеніи (см. 3.) вліяніе этой игры еще болѣе замѣтно.

3. Перемѣна хода кулиссою Стефенсона (черт. 692 для открытыхъ тягъ).

Кулисса перемѣщается. Радіусъ кривизны кулиссы l = длинѣ эксцентриковой тяги *). Дѣйствіе эксцентриковъ передается кулиссѣ черезъ наклоненныя подъ углами β_1 и β_2 тяги въ зависимости отъ положенія кулиссы. При вполнѣ опущенной или при поднятой кулиссѣ одинъ изъ угловъ $= 0$, и соотвѣтственный эксцентрикъ непосредственно передаетъ движеніе золотнику. Подвѣску кулиссы см. стр. 838. Для средняго положенія кулиссы

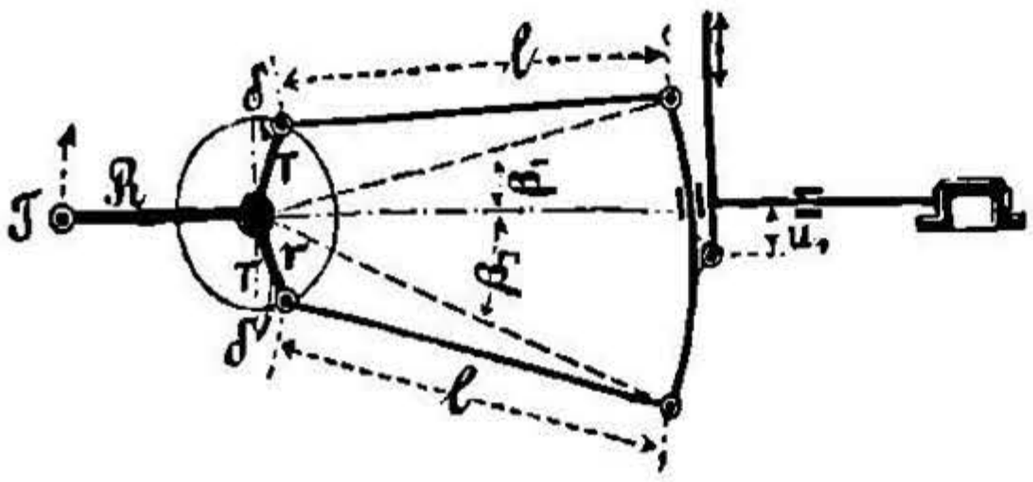
$$\beta_1 = \beta_2 (= \beta),$$

и эксцентрикъ

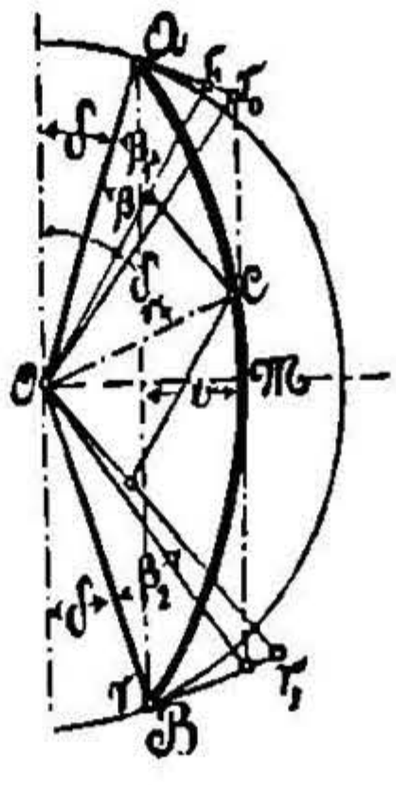
$$r_1 = r_2 = \frac{r}{\cos\beta} (= r_0).$$

Конечныя точки всѣхъ равнодѣйствующихъ эксцентриковъ лежатъ **на параболѣ**, вершина которой находится на линіи, соединяющей конечныя точки эксцентриковъ $r_0 = \frac{r}{\cos\beta}$.

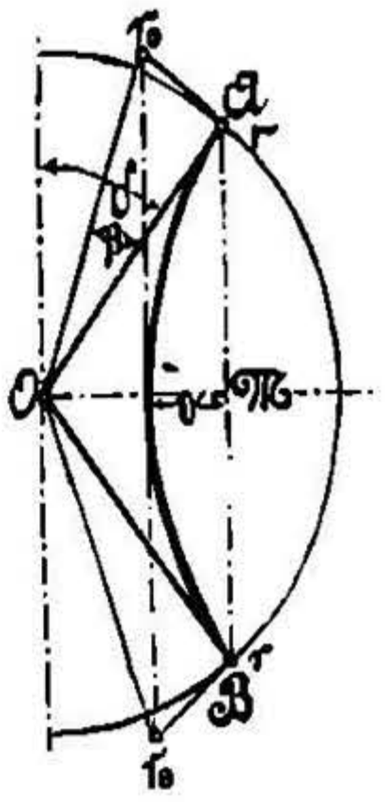
Черт. 692.



Черт. 693.



Черт. 694.



Парабола идетъ отъ A до B (эксцентрикъ r, черт. 693 для открытыхъ тягъ). M — вершина параболы. Построеніе параболы см. стр. 110 и слѣд.

При скрещенныхъ тягахъ уголъ β отрицателенъ (черт. 694). Парабола имѣетъ положеніе, обратное показанному на черт. 693, и проходитъ черезъ точки A и B эксцентриковъ r. Вершина M параболы лежитъ на прямой, соединяющей конечныя точки эксцентриковъ r_0 (въ срединѣ).

Координаты конечныхъ точекъ равнодѣйствующихъ эксцентриковъ равны:

$$x = r\left(\sin\delta \pm \frac{c^2 - u_1^2}{cl}\cos\delta\right) \quad \text{и} \quad y = \frac{u_1}{c} r\cos\delta.$$

*) О желательной поправкѣ на длину l см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 476.

НТБ ДНУЗТ

Линейное предвареніе впуска мѣняется на величину v, высоту параболы. По мѣрѣ приближенія кулиссы къ среднему положенію, предвареніе увеличивается при открытыхъ тягахъ и уменьшается при тягахъ скрещенныхъ. Несимметричнымъ расположеніемъ кривошипа относительно обоихъ эксцентриковъ можно, для нѣкоторыхъ опредѣленныхъ положеній кулиссы, достичь постояннаго линейнаго предваренія при ходѣ впередъ (для чего соотвѣтственная вѣтвь параболы должна быть по возможности вертикальна), при этомъ, однако, ухудшится пораспредѣленіе при заднемъ ходѣ.

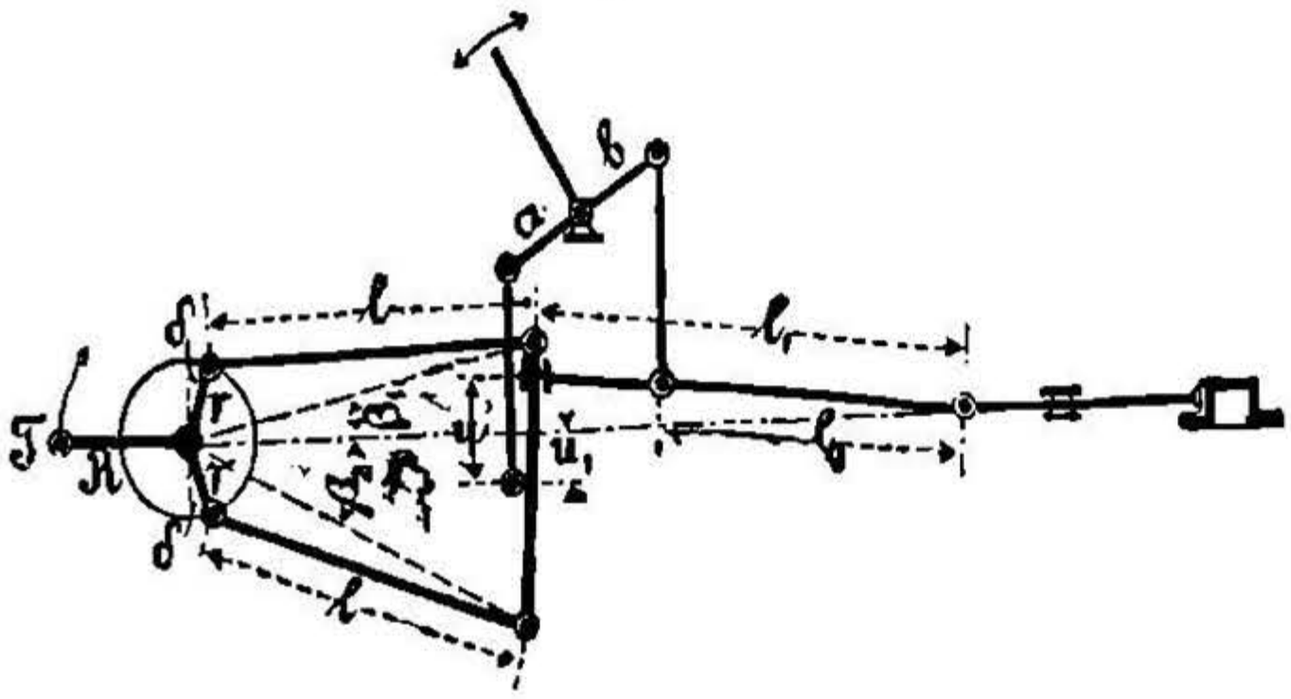
Путь золотника для какого угодно угла кривошипа α опредѣляется:

$$\xi = r\left(\sin\delta \pm \frac{c^2 - u_1^2}{cl}\cos\delta\right)\cos\alpha \pm \frac{u_1}{c} r\cos\delta\sin\alpha.$$

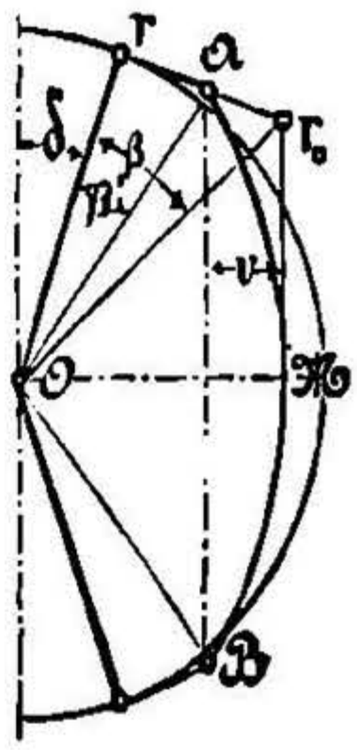
При горизонтальномъ расположеніи игра рессоръ ведущей оси паровоза оказываетъ на это пораспредѣленіе весьма малое вліяніе. При наклонномъ расположеніи (наружнее пораспредѣленіе, золотниковая коробка надъ цилиндромъ) здѣсь и въ слѣдующихъ пораспредѣленіяхъ при подъемѣ ведущей оси имѣетъ мѣсто сдвиженіе золотника впередъ, а при опусканія оси — сдвиженіе золотника назадъ.

4. Перемѣна хода кулиссою Аллана (черт. 695, открытыя тяги). Кулисса прямая; золотниковая тяга и кулисса имѣютъ одновременно относительное перемѣщеніе посредствомъ двуплечаго рычага. При среднемъ положеніи кулиссы работаютъ оба эксцентрика подъ угломъ β $\left(\text{эксцентрикъ } r_0 = \frac{r}{\cos\beta}\right)$. При вполнѣ опущенной или поднятой кулиссѣ уголъ β для соотвѣтственнаго эксцентрика достигаетъ наименьшаго значенія β', зависящаго отъ соотношенія плечъ переводнаго рычага.

Черт. 695.



Черт. 696.



Конечныя точки равнодѣйствующихъ эксцентриковъ лежатъ **на параболѣ**, вершина которой M (черт. 696) соотвѣтствуетъ среднему положенію кулиссы, а точки A и B — крайнимъ ея положеніямъ. Линейное предвареніе впуска измѣняется на величину v (высоту параболы). Величина измѣненія менѣе, чѣмъ у стефенсоновой кулиссы.

НТБ ДНУЗТ

Если разстояніе средины колебанія золотника отъ средины оси (вала) должно быть постоянно, т.-е. не должно зависѣть отъ u и u_1, то должно быть:

$$\frac{u}{u_1} = 1 + \frac{b}{a}\frac{l_1}{l_0} = 1 + \frac{l_1}{l}\left[1 \pm \sqrt{1 + \frac{l}{l_1}}\right],$$

откуда опредѣляется отношеніе плечъ $a : b$.

Относительно вліянія игры рессоръ ведущей оси паровозовъ, это парораспредѣленіе занимаетъ среднее мѣсто между кулиссой Гуча и Стефенсона. Подробно см. ч. II, желѣзнодорожное дѣло, паровозы.

Подвѣшеніе кулиссы и золотниковой тяги въ распредѣленіяхъ Гуча, Стефенсона и Аллана.

Въ виду того, что кулисса обыкновенно не направляется по прямой, а подвѣшивается, точка ея подвѣса описываетъ дугу круга; каждая другая точка кулиссы описываетъ кривую въ родѣ ∞ или ○, которая тѣмъ болѣе выгнута (по направленію вертикальному), чѣмъ дальше выбранная точка отстоитъ отъ точки подвѣса и чѣмъ меньше длина кулиссной подвѣски. Это относительное движеніе кулиссы относительно кулисснаго камня называется **игрой камня въ кулиссѣ**. Для уменьшенія этой игры и связаннаго съ нею износа кулиссы и камня, кулиссу обыкновенно подвѣшиваютъ за среднюю точку, такъ какъ эта точка имѣетъ наименьшую амплитуду качаній. Длина кулиссныхъ подвѣсокъ при этомъ должна быть по возможности больше.

Если машина работаетъ преимущественно въ одну и ту же сторону (напр., паровозы съ отдѣльными тендерами), то кулисса подвѣшивается на томъ концѣ, который соотвѣтствуетъ этому направленію движенія. При обратномъ движеніи машины движеніе кулиссы будетъ настолько же менѣе выгодно. Подвѣска должна быть укрѣплена съ такимъ разсчетомъ, чтобы хорда, соединяющая концы дуги, описываемой концомъ кулиссной подвѣски, была параллельна направленію движенія золотника (среднее положеніе подвѣски перпендикулярно къ направленію движенія золотника), и притомъ такъ, чтобы стрѣлка этой дуги дѣлилась пополамъ направленіемъ движенія золотника. То же относится и до подвѣски золотниковой тяги.

При перемѣнѣ хода двумя эксцентриками вліяніе мертваго хода (отъ изнашиванія шарнирныхъ соединеній) мало, причемъ скрещенныя тяги въ этомъ отношеніи выгоднѣе открытыхъ. При незначительной высотѣ (мало мѣста) кулисса Гуча наиболѣе подходящая. Кулисса Стефенсона, изъ всѣхъ другихъ, требуетъ въ высоту всего больше мѣста, а въ горизонтальномъ направленіи (въ длину) занимаетъ наименьшее мѣсто, при одинаковой длинѣ эксцентриковыхъ тягъ.

5. Перемѣна хода кулиссою Гейзингера (черт. 697).

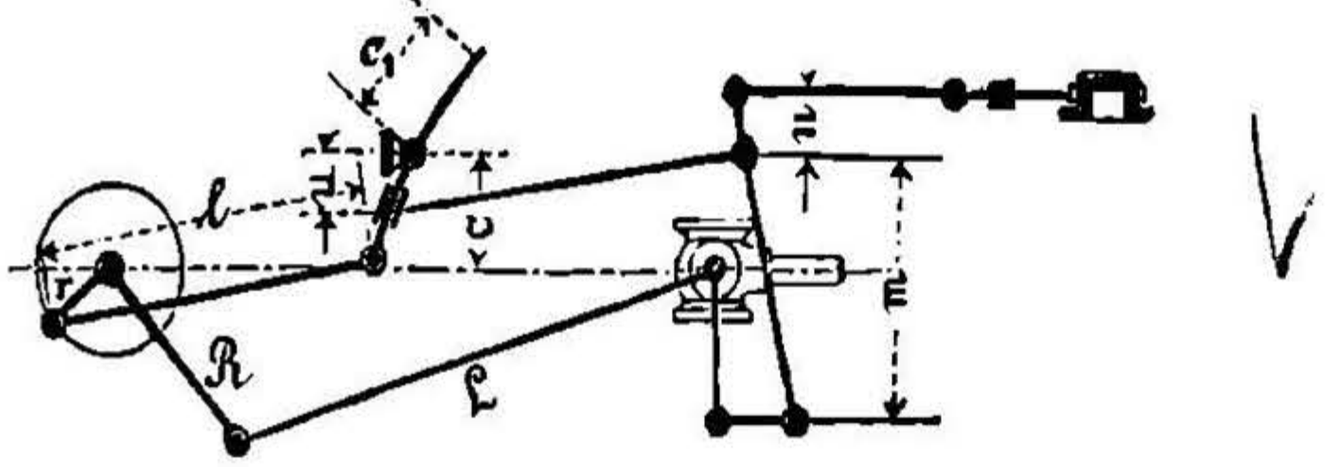
Съ однимъ копцомъ неподвижно установленной кулиссы соединенъ эксцентрикъ r, насаженный подъ угломъ предваренія $\delta = 0$. Между кулиссою и золотникомъ помѣщается рычагъ, нижняя ко-

НТБ ДНУЗТ

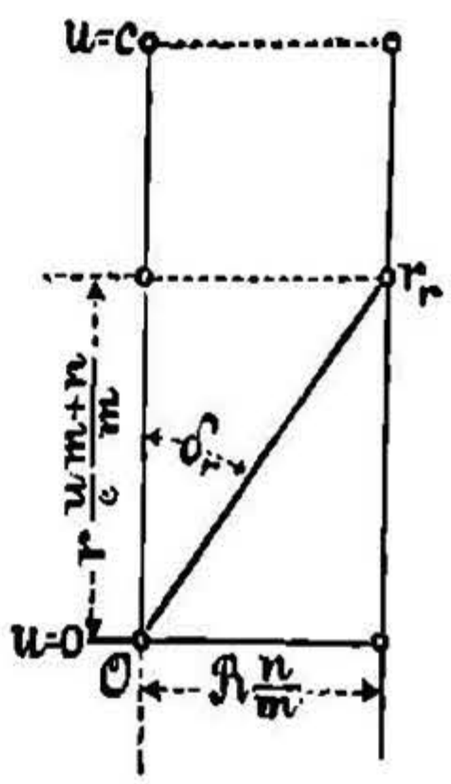
нечная точка котораго соединена съ крейцкопфомъ машины (кулакомъ) и приводится этимъ послѣднимъ въ движеніе. Соотношеніе плечъ кулиссы и рычага, соединеннаго съ крейцкопфомъ, даетъ движеніе, соотвѣтствующее эксцентрику

$$r_1 = r\,\frac{u}{c}\,\frac{m+n}{m},$$ имѣющему уголъ предваренія $\delta_1 = 0$.

Черт. 697.



Черт. 698.



R радіусъ кривошипа. Движеніе, передаваемое золотнику отъ крейцкопфа, при выбранномъ отношеніи плечъ, будетъ какъ бы производиться эксцентрикомъ $R\,\frac{n}{m}$, насаженнымъ подъ угломъ предваренія $\delta_0 = 90^0$.

Этотъ постоянный эксцентрикъ въ соединеніи съ эксцентрикомъ r_1 (черт. 698) по правилу параллелограмма даетъ равнодѣйствующій эксцентрикъ r_r.

Конечныя точки равнодѣйствующихъ эксцентриковъ лежатъ на одной **прямой**, почему распредѣленіе это даетъ постоянное линейное предвареніе.

Путь золотника при любомъ углѣ кривошипа α:

$$\xi = R\,\frac{n}{m}\cos\alpha + r\,\frac{u}{c}\,\frac{m+n}{m}\sin\alpha.$$

Пароораспредѣленіе это отличается небольшою работой тренія, большою чувствительностью при мертвомъ ходѣ, небольшимъ вылетомъ, передаетъ движеніе золотниковому стержню, параллельному ходу поршня, безъ примѣненія наклонныхъ эксцентриковыхъ тягъ и наклонныхъ золотниковыхъ зеркалъ. Весьма удобно, поэтому, для паровозовъ съ наружнимъ пароораспредѣленіемъ; золотниковая тяга S (черт. 697) должна имѣть двойное направленіе.

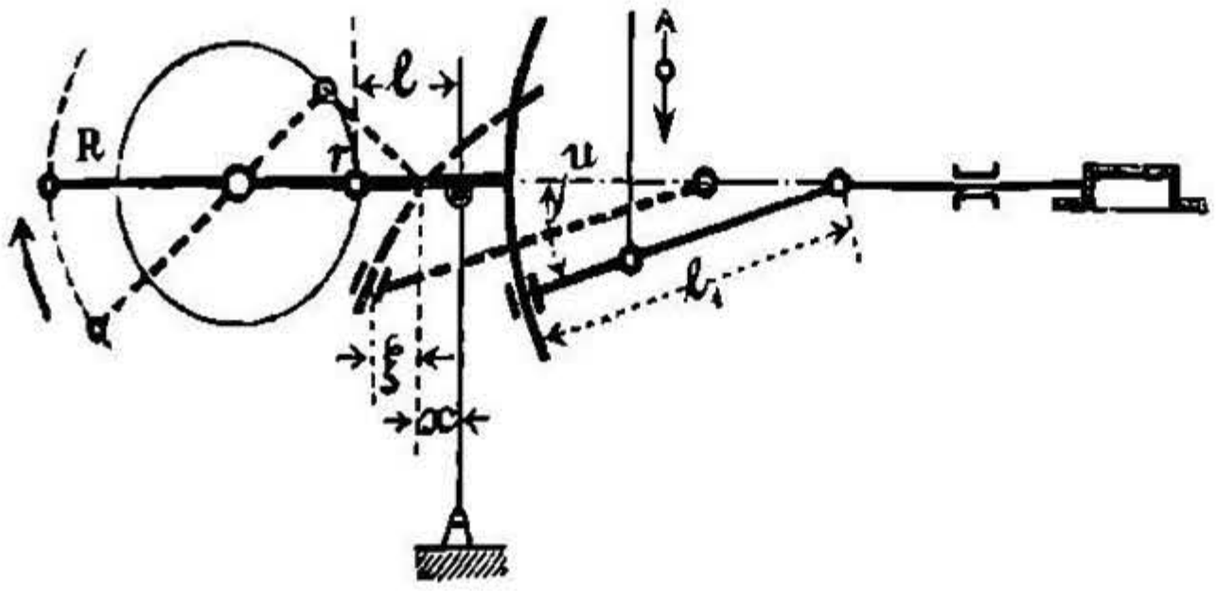
Ошибки, происходящія отъ вліянія конечной длины ведущаго шатуна L, неправляются въ данномъ случаѣ тѣмъ, что при устройствѣ, черт. 697, для средняго положенія нижнюю короткую тягу (у m) располагаютъ параллельно направленію движенія поршня и придаютъ ей такую длину, чтобы длина горизонтальной ея проекціи въ крайнихъ положеніяхъ была на $L\,(1 - \cos\beta)$ короче дѣйствительной ея длины. Различная величина предваренія съ обѣихъ сторонъ, происходящая отъ весьма короткой золотниковой тяги (соединенной съ кулиснымъ камнемъ), выравнивается тогда, когда точка соединенія эксцентриковой тяги съ кулиссой для обоихъ мертвыхъ положеній кривошипа имѣетъ одно и то же положеніе. Точка вращенія кулиссы должна быть расположена вертикально надъ среднимъ положеніемъ этой точки.

НТБ ДНУЗТ

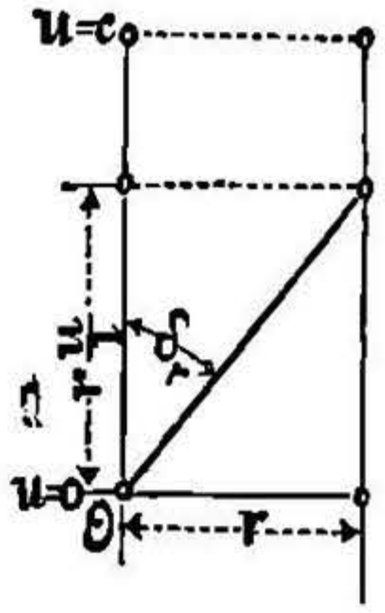
6. Перемѣна хода кулиссою Піусъ-Финкъ (черт. 699).

Эксцентрикъ r, насаженный подъ угломъ предваренія $\delta = 90^0$, приводитъ въ движеніе кулиссу, изготовленную изъ одного куска съ очень короткою эксцентриковою тягою l. Прямолинейное перемѣщеніе ξ кулисснаго камня отъ эксцентрика r увеличивается,

Черт. 699.



Черт. 700.



вслѣдствіе наклоненія кулиссы, на величину x. Для угла кривошипа α имѣемъ $x = r\frac{u}{l}\sin\alpha$. Движеніе это можетъ быть разсматриваемо, какъ движеніе отъ эксцентрика $r_1 = r\frac{u}{l}$, который опережаетъ кривошипъ на 90^0 (уголъ $\delta = 0$).

На черт. 700 показано построеніе равнодѣйствующаго эксцентрика r_r по r_1 и по постоянному эксцентрику r ($\delta = 90^0$).

Конечныя точки равнодѣйствующихъ эксцентриковъ лежатъ на одной **прямой**, почему распредѣленіе это даетъ постоянное линейное предваренiе.

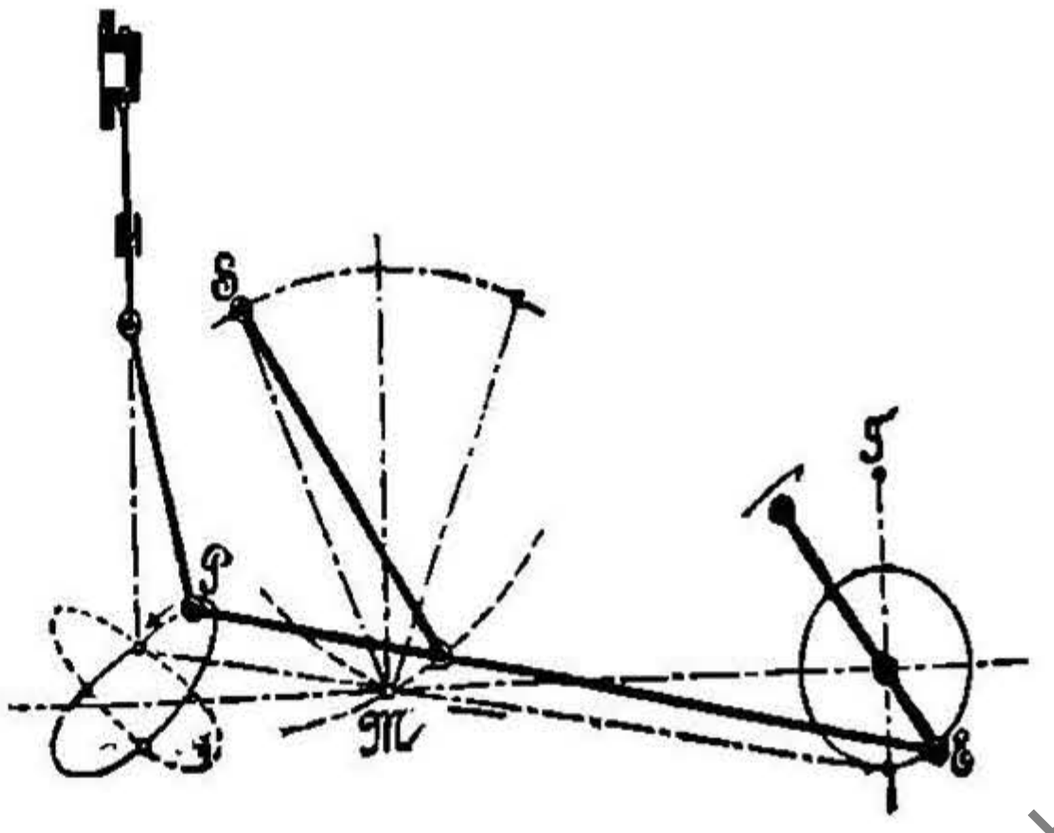
Путь золотника: $$\xi = r\cos\alpha + \frac{ru}{l}\sin\alpha.$$

Для паровозовъ примѣнять не удобно, такъ какъ вслѣдствіе игры рессоръ относительное расположеніе кулисснаго коромысла и ведущей оси постоянно мѣняется, отчего происходитъ неправильное пароraспредѣленіе. Независимо отъ этого, для большихъ наполненій (въ 0,7) кулисса выходитъ очень длинной.

7. Перемѣна хода механизмомъ Клуга (черт. 701).

Эксцентрикъ E, расположенный на одной прямой съ кривошипомъ ($\delta = -90^0$), приводитъ въ движеніе золотникъ при помощи шарнира P, причемъ одна изъ точекъ тяги PE при помощи подвѣски направляется по дугѣ круга. Точка вращенія подвѣски S можетъ, въ свою очередь, вращаться около M въ особой рамкѣ. Этимъ достигается пере-

Черт. 701.



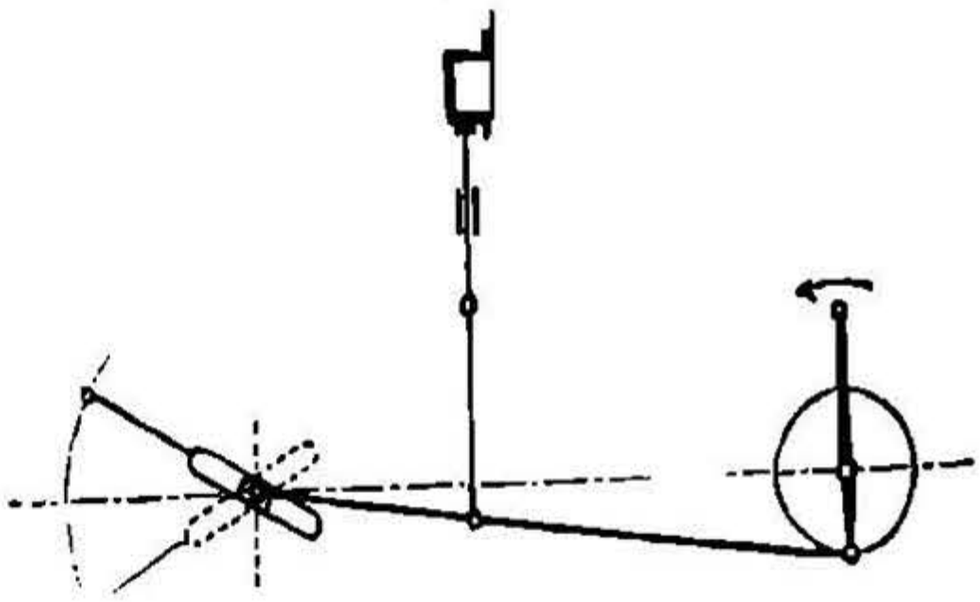
НТБ ДНУЗТ

мѣнная степень наполненія и перемѣна хода. Линейное предваренiе впуска постоянно.

8. Пароraспредѣленiе Маршалля (черт. 702).

Подобно предыдущему. Точка прикрѣпленія золотниковой тяги находится между кривошипомъ и качающимся балансиромъ. То же устройство имѣетъ и распредѣленiе Гаквортa. У послѣдняго качающаяся подвѣска замѣнена прямою направляющею (черт. 702). Линейное предваренiе постоянно.

Черт. 702.

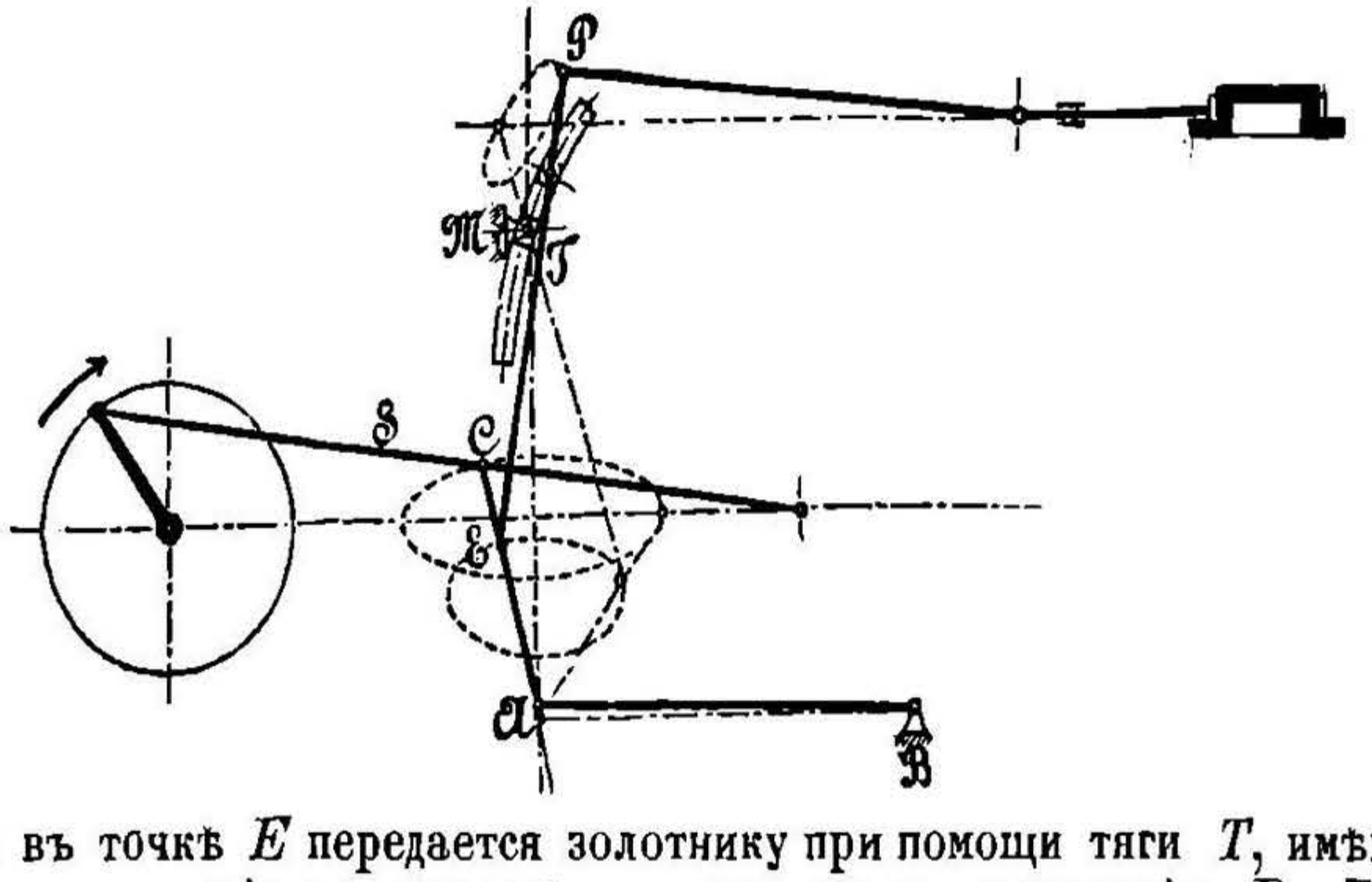


Пароraспредѣленiе Клуга и Маршалля въ настоящее время примѣняется почти исключительно у пароходныхъ машинъ.

9. Пароraспредѣленiе Джоя (черт. 703).

Движенiе золотнику передается отъ ведущаго шатуна машины S при помощи эллиптическаго коромысла CAB, движенiе котораго въ точкѣ E передается золотнику при помощи тяги T, имѣющей направленiе въ кулиссѣ, и шарнирнаго соединенія P. Для перемѣны хода и измѣненія степени наполненія кулисса вращается въ точкѣ M. Распредѣленiе пара одинаковое для передняго и заднiго хода. Линейное предваренiе постоянно *).

Черт. 703.



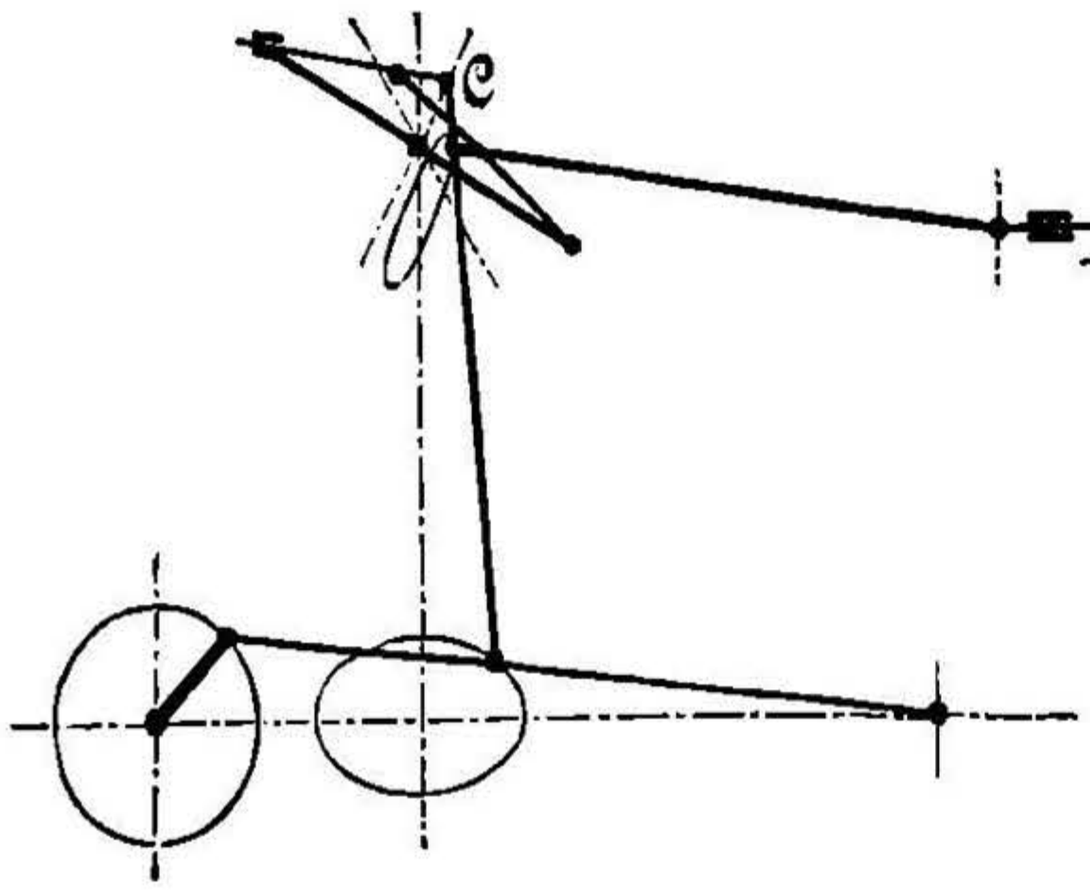
Вліяніе игры рессоръ ведущей оси паровозовъ при среднемъ положенія кулиссы ничтожно; при увеличенiи наполненія вліяніе этой игры возрастаетъ (до 10% разницы въ величинѣ наполненія).

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1886, стр. 1052, и 1887, стр. 588; кромѣ того, Org. f. F. 1887, стр. 19.

НТБ ДНУЗТ

10. Пароспредѣленіе Броуна (черт. 704).

Черт. 704.



Прямолинейный путь точки *C* можетъ принимать различныя положенія, что достигается посредствомъ конхоидальнаго коромысла (см. стр. 558). Для какого-либо одного направленія движенія можетъ быть достигнуто весьма раціональное пароораспредѣленіе, которое, однако, тѣмъ менѣе выгодно для движенія обратнаго, чѣмъ оно раціональнѣе для перваго.

Вліяніе игры рессоръ, какъ въ 9.

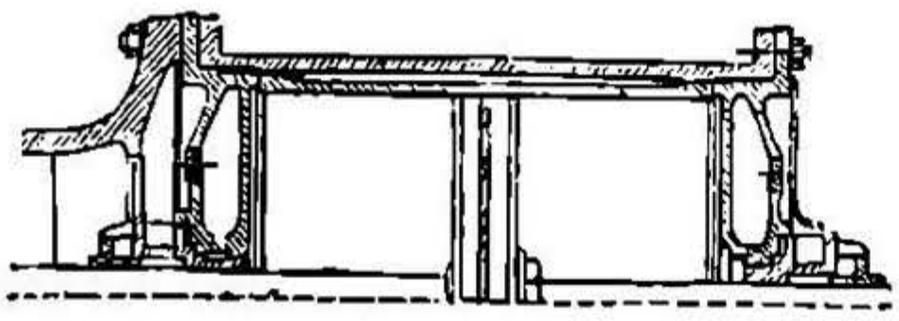
C. Детали паровыхъ машинъ.

a. Паровые цилиндры.

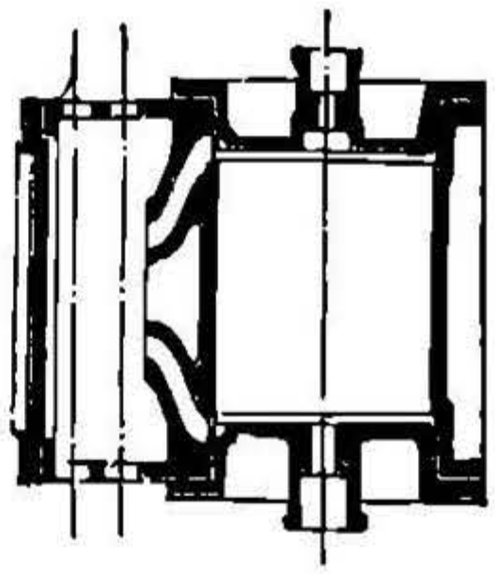
Примѣры для проектированія паровыхъ цилиндровъ см. черт. 705 до 709.

Большіе цилиндры снабжаются ребрами для предотвращенія деформацій при установкѣ и укрѣпленіи ихъ на сверлильномъ станкѣ.

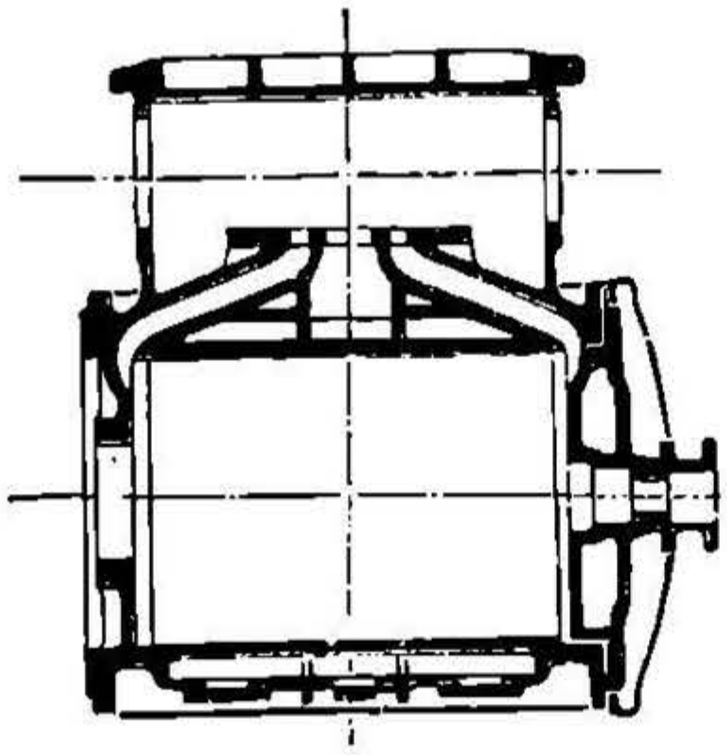
Черт. 705.

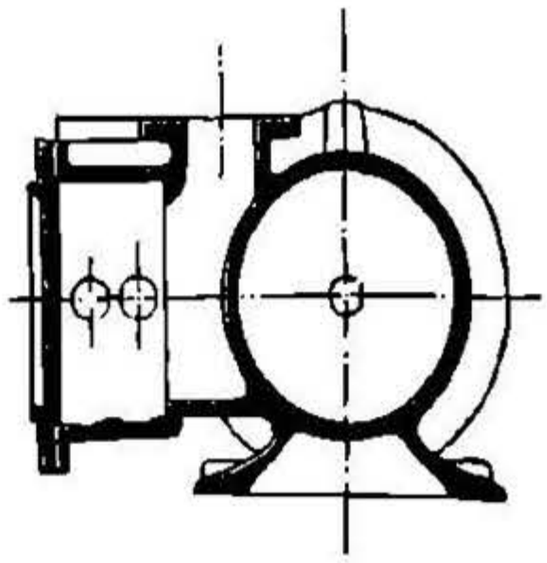


Черт. 706.



Черт. 707.





Толщина стѣнокъ цилиндра *s* см. стр. 562. Толщина фланцевъ принимается $= 1{,}3\,s$ до $1{,}4\,s$. **Внутренняя поверхность** цилиндра

НТБ ДНУЗТ

имѣетъ заточку, за которую заходитъ поршень при своемъ движеніи; заточка должна переходить въ діаметръ цилиндра конусомъ для облегченія постановки поршня на мѣсто.

Крышки цилиндровъ тщательно центрируются и впускаются въ цилиндръ (заточку); прочность большихъ крышекъ достигается посредствомъ реберъ и выпуклой формой крышекъ.

Число **болтовъ** для **укрѣпленія крышки** опредѣляется при діаметрѣ D (въ cm) цилиндра: $i = {}^1/_8 D + 4$. Разстояніе между болтами не должно быть больше 15 cm для достиженія равномѣрнаго нажатія крышки; это разстояніе должно быть тѣмъ менѣе, чѣмъ тоньше фланцы крышки. Плотность крышки достигается посредствомъ резиновыхъ колецъ, металлическихъ сѣтокъ или азбеста, цѣльныхъ прокатныхъ колецъ красной мѣди, уложенныхъ въ желобки фланца и крышки, а у большихъ машинъ посредствомъ шлифовки поверхностей. Діаметръ укрѣпляющихъ болтовъ въ рѣзьбѣ разсчитывается на наибольшее давленіе пара на крышку; причемъ, вслѣдствіе постояннаго давленія на крышку, необходимаго для плотности соединенія, а также въ виду частаго ослабленія болтовъ, для k_z допускается напряженіе не болѣе 300 kg/qcm.

Рекомендуется примѣнять формулы, приведенныя въ „Гамбургскихъ нормахъ“ (см. детали паровыхъ котловъ) для винтовъ и винтовыхъ соединеній.

Зазоръ между поршнемъ и крышкой дѣлается отъ 0,5 до 1 cm и распредѣляется неравномѣрно на обѣ стороны цилиндра при самой установкѣ машины, въ зависимости отъ удлиненія машины при ея нагрѣваніи.

При **проектированіи цилиндра** необходимо имѣть въ виду свободное его расширеніе отъ теплоты, а также и то, чтобы всѣ части цилиндра были легко доступны. Цилиндры, золотниковыя коробки и крышки покрываются составомъ, плохо проводящимъ теплоту, и, кромѣ того, желѣзной обшивкой, образующей вокругъ плохо проводящей массы слой воздуха.

Паровыя рубашки. Паровой цилиндръ вставляется, въ видѣ втулки, въ наружній цилиндръ безъ всякой набивки, посредствомъ пресса (давленіемъ) или при нагрѣвѣ наружняго цилиндра (черт. 705 и 708). Паровой цилиндръ отливается также изъ одного куска съ рубашкой (черт. 707); при этомъ отверстія для выемки песка дѣлаются со стороны фланцевъ цилиндровыхъ крышекъ и перекрываются этими послѣдними, или дѣлаются въ наружнихъ стѣнкахъ цилиндра. Паропроводъ къ рубашкѣ состоитъ изъ трубки, проведенной отъ паровпускного клапана на паровпускной трубѣ, вентилей для впуска пара въ пространство подъ рубашку, кранова для выпуска изъ нея пара, трубочекъ для отвода конденсаціонной воды, соединенныхъ съ автоматическими отводчиками (отводъ воды изъ рубашки долженъ происходить независимо отъ отвода воды изъ паровпускной трубы).

Кромѣ того, **цилиндръ** долженъ быть **снабженъ**: приспособлені-

НТБ ДНУЗТ

емъ для смазки (въ томъ случаѣ, если не смазывается самый паръ), отростками для индикатора, продувными кранами, а также предохранительными клапанами противъ ударовъ скопляющейся въ цилиндрѣ воды.

b. Детали частей парораспредѣленія у цилиндра.

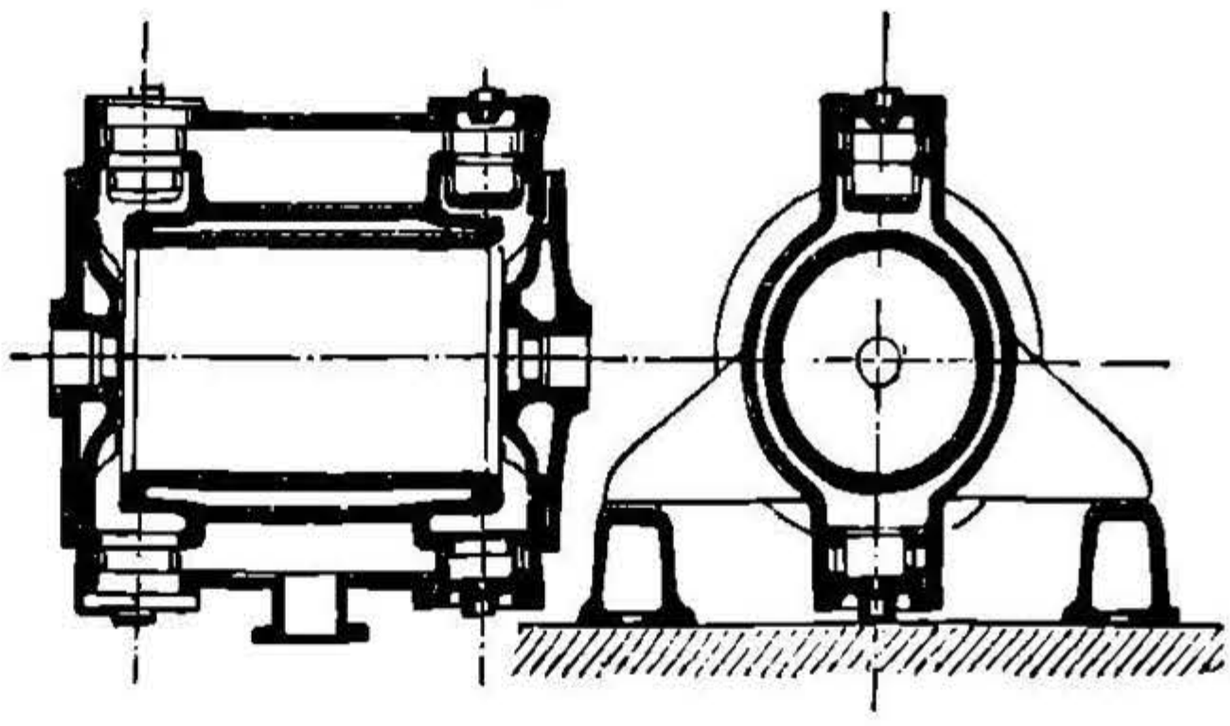
Золотниковая коробка устраивается такъ, чтобы удаленіе конденсаціонной воды изъ цилиндра достигалось по возможности безпрепятственно, почему предпочитаютъ расположеніе золотниковой коробки сбоку. Коробка отливается изъ одного куска съ цилиндромъ или же прикрѣпляется къ цилиндру болтами; въ послѣднемъ случаѣ облегчается обдѣлка золотниковаго зеркала; послѣдняя также можетъ быть легко достигнута наклоннымъ расположеніемъ плоскости зеркала. Устройство золотниковой и соотв. клапанной коробки представлено на черт. 706 до 708 и 709; на послѣднемъ изображенъ также и паропріемникъ (ресиверъ).

Направленіе паровыхъ каналовъ при золотниковомъ парораспредѣленіи изображено на черт. 706 и 707, а при клапанномъ — на черт. 708. Каналы подходятъ къ золотниковому зеркалу по направленію, къ нему перпендикулярному (на длинѣ около 1 cm), такъ что возможна обработка реберъ каналовъ.

Золотникъ и плоскость, по которой онъ движется въ коробкѣ, снабжаются направляющими. Плоскость золотника, подверженная полному давленію пара, должна быть разсчитана, допуская давленіе на золотникъ не больше 20 kg/qcm.

Золотникъ долженъ быть также снабженъ пружинами для надавливанія его на плоскость скольженія, что необходимо при сильномъ сжатіи пара въ цилиндрѣ и при работѣ машины безъ пара. Слѣдуетъ заботиться о достаточной смазкѣ золотниковъ.

Черт. 708.



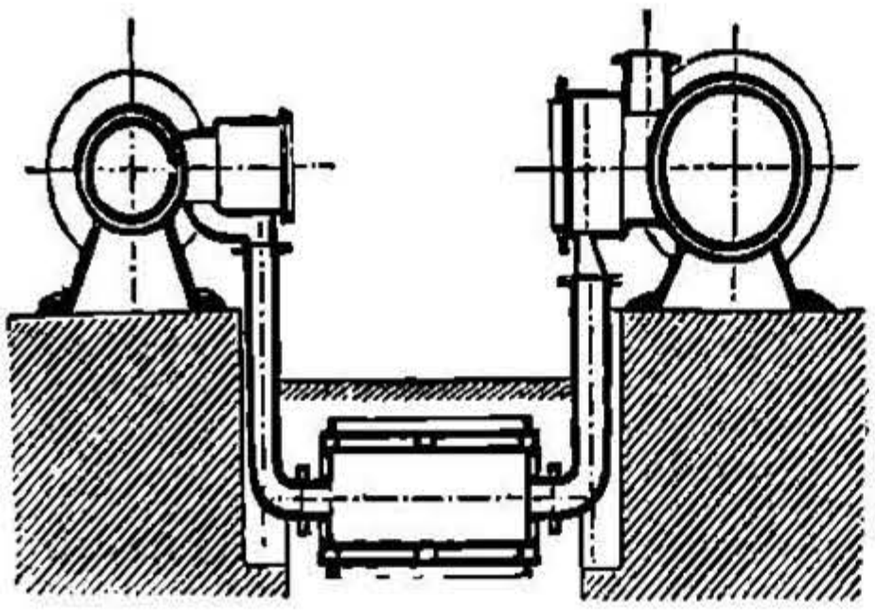
Соединеніе коробчатаго золотника съ золотниковой тягой не должно препятствовать надавливанію золотника на плоскость его скольженія отъ дѣйствія давленія пара. Приспособленіе для правильной установки и вывѣрки золотника устраивается или при соединеніи золотника съ золотниковой тягой, или же внѣ парораспредѣлительной коробки, при соединеніи эксцентрика съ эксцентриковой тягой.

Направленіе движенія золотника должно проходить черезъ ось эксцентрика; въ противномъ случаѣ, нужны особыя золотнико-

НТБ ДНУЗТ

выя тяги и рычаги или подвѣски. Давленіе въ шарнирныхъ болтахъ, опредѣленное при полномъ давленіи пара на плоскость скольженія золотника (коэффиціентъ тренія $\mu \sim 0{,}1$), а въ скороходныхъ машинахъ, принимая во вниманіе и силы инерціи массы золотника, не должно превосходить 10kg/qcm. Тѣми же соображеніями надо руководствоваться при опредѣленіи прочныхъ размѣровъ.

Черт. 709.



c. Рамы паровыхъ машинъ.

Рама паровой машины должна непосредственно подвергаться дѣйствію внѣшнихъ силъ машины, слѣдуетъ избѣгать передачи напряженій на фундаментъ. Плечи дѣйствія силъ (высота оси цилиндра надъ рамой) должны быть по возможности меньше; равнодѣйствующая давленія пара должна по возможности точно совпадать съ осью машины, вслѣдствіе чего отдается предпочтеніе круглымъ направляющимъ (параллелямъ), центрируемымъ по оси цилиндра. Цилиндръ, укрѣпляемый на рамѣ, долженъ имѣть возможность свободно расширяться въ одномъ направленіи.

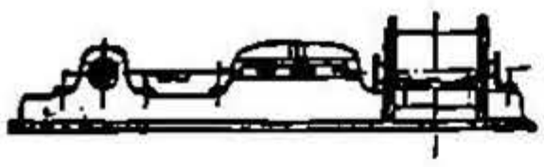
Примѣры: на черт. 710 и 714 (стр. 846) изображены рамы горизонтальныхъ машинъ; черт. 710 представляетъ горизонтальную плоскую раму съ прикрѣпленными къ ней 4-мя направляющими для крейцкопфа; черт. 711 изображаетъ раму съ круглыми направляющими, соединенными съ подшипниками для кривошипа сплошной балкой. Балка эта въ машинахъ старинной конструкціи находится на вѣсу; но она должна быть подперта непосредственно передъ паровымъ цилиндромъ, а въ машинахъ значительныхъ размѣровъ должны быть подперты и соединены съ фундаментомъ также и круглыя направляющія. Всего лучше, если рама прилегаетъ къ фундаменту по всей длинѣ отъ подшипника кривошипа до направляющихъ, а въ большихъ машинахъ—до цилиндра. Черт. 713 представляетъ одностороннюю раму съ плоскою направляющею для крестовины; черт. 712—вилкообразную раму для колѣнчатаго вала; черт. 714– вилкообразную раму съ круглыми направляющими. Круглыя направляющія предпочитаются плоскимъ, такъ какъ первыя могутъ быть центрированы по цилиндру, и само направленіе зависитъ отъ тщательности работы (расточки), а не отъ сборки.

Рамы изготовляются пустотѣлыми чугунными. Опорныя плоскости должны быть широки, въ особенности подъ подшипникомъ кривошипа. Давленіе на фундаментъ, опредѣленное по вѣсу ма-

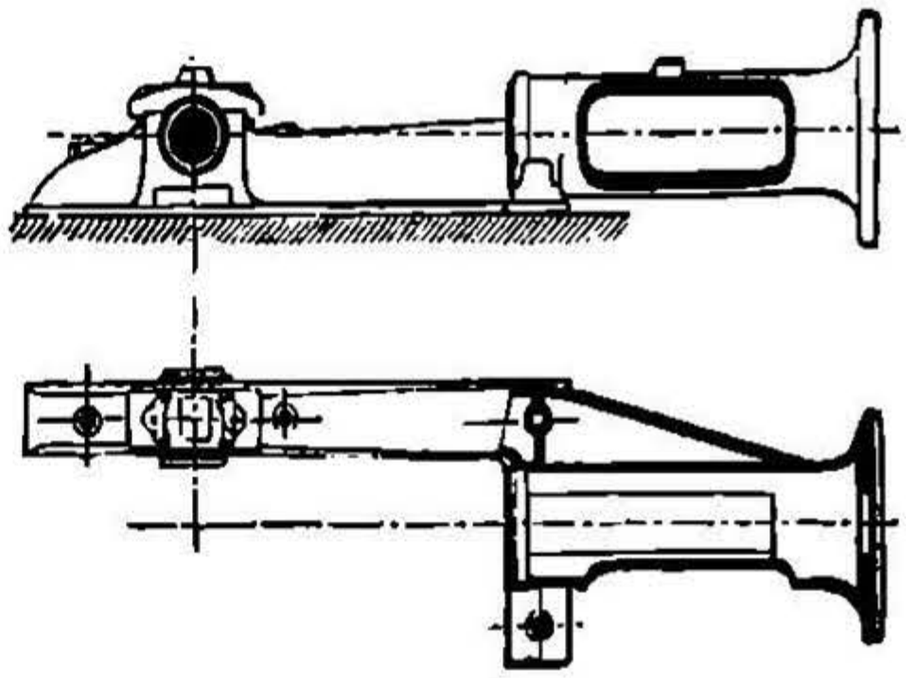
НТБ ДНУЗТ

шины и дѣйствующимъ силамъ, не должно превосходить 2 kg/qcm. Точная установка и надежное прилеганіе рамы къ фундаменту достигается точной обдѣлкой фундаментныхъ камней или подлив-

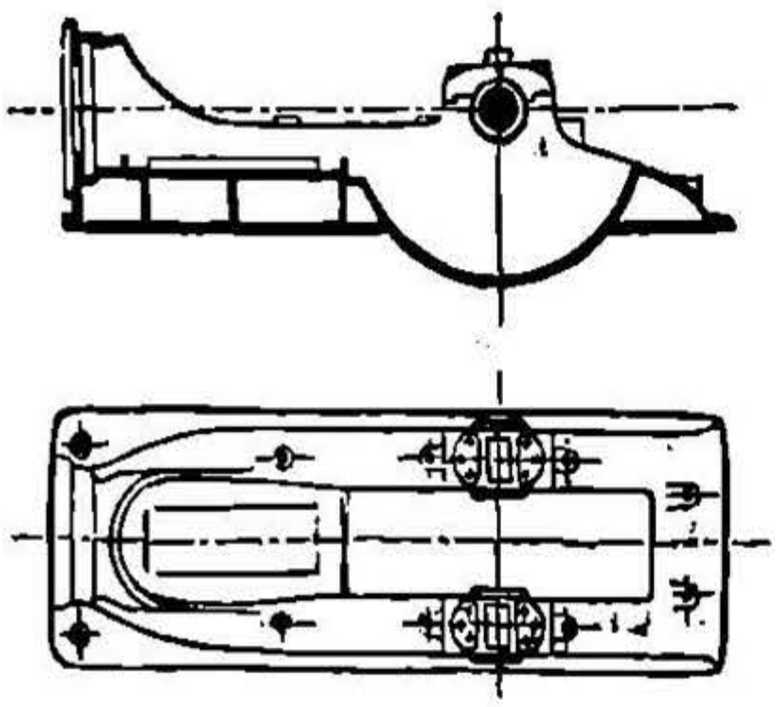
Черт. 710.



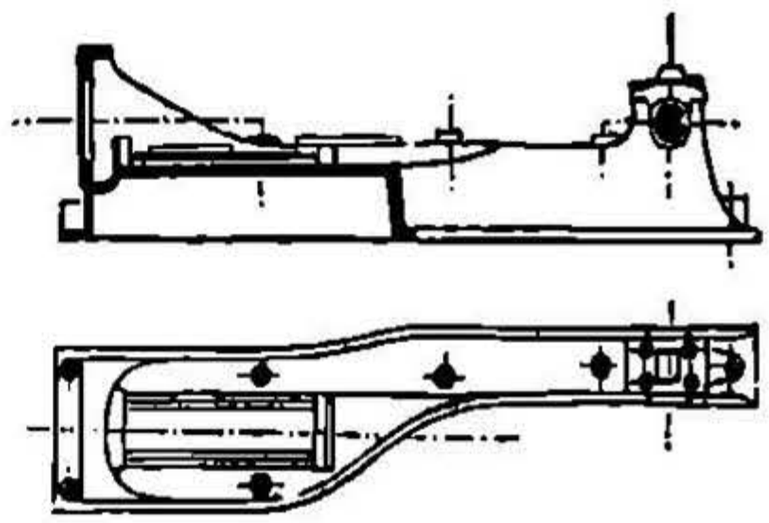
Черт. 711.



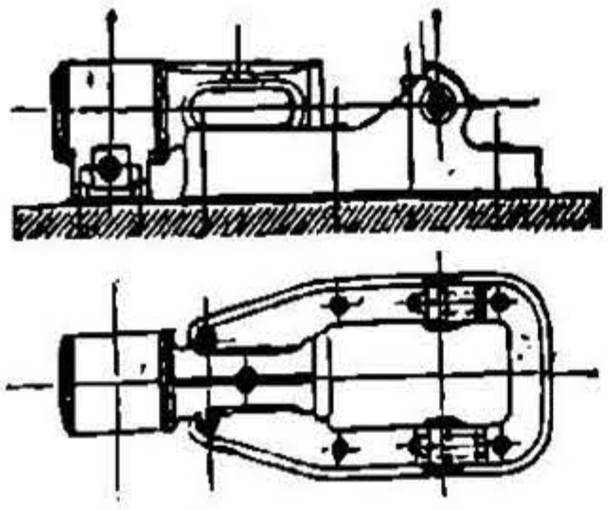
Черт. 712.



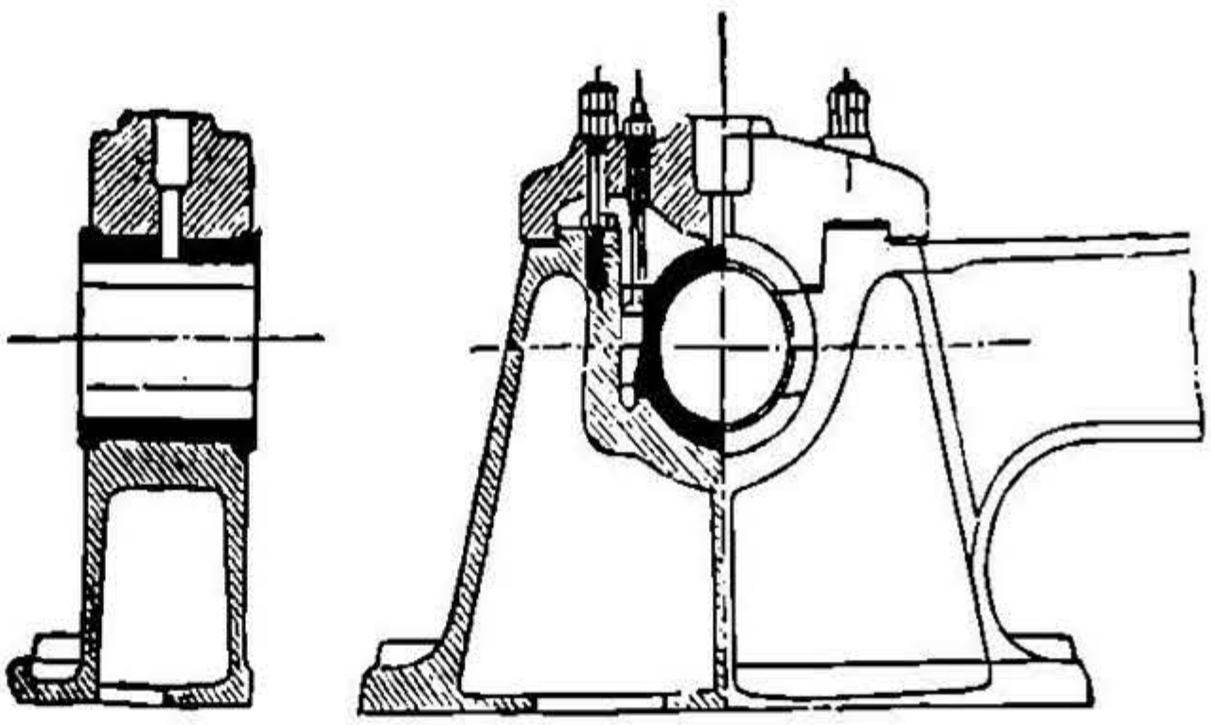
Черт. 713.



Черт. 714.



Черт. 715.



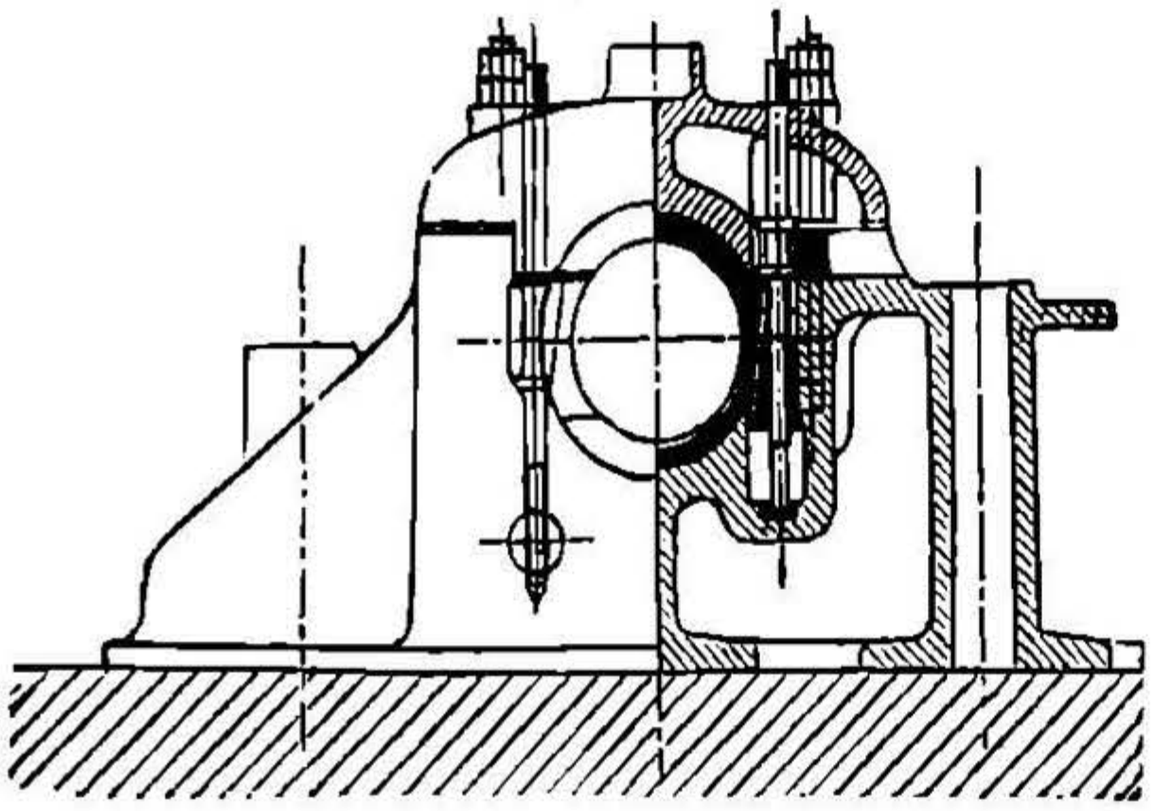
кой цемента. Давленіе фундаментныхъ болтовъ (см. стр. 435) воспринимается рамою посредствомъ вертикальныхъ реберъ внутри или прилитыхъ внутри рамы распорныхъ трубокъ. Соединеніе отдѣльныхъ частей рамы производится клиньями или стяжными кольцами, а лучше—болтами.

На черт. 715 изображенъ **подшипникъ** для кривошипнаго вала горизонтальной паровой машины; вкладышъ состоитъ изъ 4-хъ частей, установка одной боковой его части производится посредствомъ клиньевъ. На черт. 716 изображенъ тяжелый подшипникъ, гдѣ установка обѣихъ боковыхъ частей вкладыша производится независимо отъ крышки подшипника (черт. 716, лѣвая половина чертежа изображаетъ варіантъ конструкціи). Дѣленіе вкла-

НТБ ДНУЗТ

дыша на 4 части замѣняется въ небольшихъ горизонтальныхъ машинахъ наклоннымъ расположеніемъ (какъ на черт. 714) крышки подшипника, съ тѣмъ, чтобы дѣйствующія горизонтальныя силы не приходились въ мѣстѣ прорѣза вкладыша подшипника.

Черт. 716.



На черт. 717 представлено **общее расположеніе** частей машины компаундъ съ круглыми направляющими.

Черт. 717.

d. Проводка и отведеніе пара.

Труба, подводящая паръ отъ котла къ машинѣ, должна быть по возможности короче и окружена плохими проводниками теплоты. Запорные клапаны должны находиться какъ на котлѣ, такъ и у машины.

При длинныхъ паропроводахъ должны быть устроены особые **водоотдѣлители** передъ машиною (увеличеніе площади поперечнаго сѣченія трубы и вслѣдствіе этого уменьшеніе скорости). Водоотдѣлитель долженъ быть снабженъ самодѣйствующимъ приспособленіемъ для удаленія воды. Въ этомъ случаѣ рекомендуется давать трубѣ по возможности (небольшой) уклонъ по направленію отъ парового вентиля у котла къ машинѣ; въ другихъ случаяхъ (при соотв. діаметрѣ трубы) по направленію къ котлу.

Діаметръ паровой трубы долженъ быть такъ разсчитанъ, въ зависимости отъ длины трубопровода, сопротивленій въ трубопроводѣ и потерь вслѣдствіе охлажденія, чтобы средняя скорость движенія пара *u* была меньше 25 m въ сек. (см. стр. 301). Приблизительно размѣръ поперечнаго сѣченія *f* (въ qm) трубы при короткихъ паропроводахъ (10 до 20 m) опредѣляется (см. стр. 808) изъ:

НТБ ДНУЗТ

$f \sim 0{,}03\, F c_{max}$, когда водоотдѣлитель передъ машиною не великъ,
$f \sim 0{,}02\, F c_{max}$, когда водоотдѣлитель передъ машиной равенъ, по меньшей мѣрѣ, 30-кратному объему пара, входящему въ цилиндръ въ періодъ наполненія.

Въ длинныхъ паропроводахъ необходимо устраивать **приспособленія для компенсаціи** (расширенія), какъ-то: мѣдныя пружинящія трубы и колѣна (см. стр. 583), вставляемые въ паропроводъ сальники, шарнирныя трубы и т. д. Въ компенсаторахъ слѣдуетъ обращать вниманіе на измѣненіе по длинѣ, происходящее отъ давленія пара (см. также стр. 563).

Въ тѣхъ случаяхъ, когда количество расходуемаго пара мѣняется съ каждымъ ходомъ поршня, или расходъ пара быстро увеличивается на нѣкоторое время, непосредственно передъ машиной устанавливается парособиратель (одновременно служащій водоотдѣлителемъ), съ тѣмъ, чтобы паръ, движущійся въ паропроводныхъ трубахъ, не измѣнялъ скорости при измѣненіи расхода.

Внутренній діаметръ **пароотводной** трубы разсчитывается для средней скорости < 15 m въ секунду, по стр. 301 и слѣд.

Для приблизительнаго разсчета (см. выше) сѣченіе трубы:

$$f_1 \sim 0{,}05\, F c_{max} \text{ qm}.$$

Отработанный паръ при машинахъ безъ охлажденія примѣняется для цѣлей отопленія, а также для нагрѣванія питательной воды; при этомъ принимается въ разсчетъ увеличеніе противодавленія на поршень.

e. Охлажденіе пара (конденсація).

1. Системы холодильниковъ.

(См. также II часть, отдѣлъ XII, судовыя машины).

1. **Струйные холодильники (безъ воздушнаго насоса).** Исходящій паръ изъ пароотводной трубы попадаетъ черезъ многочисленныя косыя отверстія въ пароструйный аппаратъ, гдѣ встрѣчаетъ струю охлаждающей воды, которая притекаетъ черезъ особый конусъ. Въ зависимости отъ расхода пара паровой машиной, регулируются отверстія пароструйнаго аппарата при помощи рукоятки или винта.

Для пусканія въ ходъ холодильника имѣется еще третій конусъ, черезъ который пускается на короткое время свѣжій паръ въ смѣшивающій аппаратъ; отъ этого происходитъ всасываніе (на высоту 3 до 5 m) охлаждающей воды и нагнетаніе ея въ аппаратъ; когда послѣ этого пущена въ ходъ паровая машина, то аппаратъ работаетъ однимъ лишь мятымъ паромъ незначительнаго давленія, причемъ достигается вакуумъ (т.-е. давленіе ниже атмосфернаго) въ 0,80 до 0,86 атм. (60 до 65 cm ртутнаго столба). Количество охлаждающей воды въ среднемъ равно 25-кратному вѣсу пара.

Въ пароисходящей трубѣ между паровымъ цилиндромъ и холодильникомъ устанавливается обратный клапанъ и отвѣтвле-

НТБ ДНУЗТ

ніе трубы, при помощи котораго, при выключеніи холодильника, паръ можетъ быть выпущенъ въ атмосферу.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда расходъ пара машиной значительно мѣняется, охлаждающая вода подводится подъ напоромъ (5 до 6 m). Пароструйный аппаратъ имѣетъ тогда одно положеніе, и конусъ для свѣжаго пара не дѣлается. Холодильникъ устанавливается тогда вертикально.

Братья Кертингъ, въ Ганноверѣ, изготовляютъ подобные пароструйные аппараты трехъ типовъ: *A* — универсальные холодильники, всасывающіе воду — для машинъ, нагрузка которыхъ по временамъ колеблется; *B* — холодильники, работающіе подъ напоромъ — для машинъ, нагрузка которыхъ можетъ быть произвольно измѣняема; *C* — холодильники, работающіе подъ водой, — нагрузка остается равномѣрной въ теченіе продолжительнаго времени, вода всасывается автоматически, имѣется клапанъ для свѣжаго пара. *B* и *C* съ постояннымъ отверстіемъ смѣшивающаго конуса. Расходъ воды, въ зависимости отъ величины аппарата, отъ 1,2 до 300 cbm въ часъ.

2. **Поверхностные холодильники.** Въ этихъ холодильникахъ паръ и охлаждающая вода отдѣлены; вода протекаетъ по системѣ трубъ, въ промежуткахъ между которыми циркулируетъ паръ. Охлаждающая вода поднимается обыкновенно центробѣжными насосами. Продукты конденсаціи отводятся воздушнымъ насосомъ или двумя отдѣльными насосами, одинъ для воды, а другой для смѣси воздуха и пара. Объемъ его въ среднемъ = половинѣ объема насоса, употребляемаго при вспрыскивающихъ конденсаторахъ (см. ниже).

Въ среднемъ принимается на 1 kg пара, охлаждаемаго въ часъ, 0,02 до 0,03 qm охлаждающей поверхности и 50 kg охлаждающей воды. **Охлаждающія трубы** дѣлаются латунныя, діаметромъ 20 до 25 mm, съ возможно меньшей толщиной стѣнокъ; разстояніе между осями трубъ = 30 до 35 mm. Конденсаціонная вода утилизируется снова для питанія котла.

3. **Вспрыскивающіе холодильники съ параллельнымъ токомъ.** Въ этихъ холодильникахъ паръ непосредственно смѣшивается съ охлаждающей водой, вступающей въ холодильникъ въ мелко раздробленномъ состояніи. Струи воды и пара движутся въ одинаковомъ направленіи къ выходному отверстію. Давленіе въ холодильникѣ соотвѣтствуетъ общей конечной температурѣ смѣшанныхъ продуктовъ. Для начала дѣйствія требуется клапанъ для свѣжаго пара.

Охлаждающая вода должна подниматся въ холодильникъ по возможности исключительно вслѣдствіе разрѣженія воздуха въ послѣднемъ; если высота всасыванія > 7 m (при особенно длинныхъ трубопроводахъ), то подъемъ производится особыми насосами для холодной воды. Если высота подъема въ среднемъ больше 15 до 20 m, то конденсація не выгодна, вслѣдствіе значительной работы, поглощаемой насосомъ для холодной воды.

Разрѣженіе въ холодильникѣ достигается воздушнымъ насосомъ (см. 853).

Если машина должна выпускать паръ по временамъ и въ атмосферу, то можно посредствомъ запорнаго клапана производить от-

НТБ ДНУЗТ

дѣленіе холодильника. Выпуска пара въ атмосферу слѣдуетъ избѣгать, ибо начало сжатія, равно какъ и все пароraспредѣленіе, значительно разнятся при работѣ машины съ охлажденіемъ и безъ охлажденія пара. Пароraспредѣленіе поэтому можетъ быть сконструировано только для среднихъ условій работы, и то не вполнѣ точно.

Объемъ холодильника большею частью равенъ или больше объема воздушнаго насоса (простого дѣйствія).

Количество воды x kg, вспрыскиваемой въ конденсаторъ и необходимой для охлажденія 1 kg пара, опредѣляется (приблизительно) въ томъ предположеніи, что количества теплоты до и послѣ смѣшенія равны между собою, по уравненію:

$$J + tx = T(1 + x),$$

откуда

$$x = \frac{J - T}{T - t},$$

гдѣ t температура вспрыскиваемой воды, T общая конечная температура смѣси, J полное количество теплоты въ ед. тепл., заключающееся въ 1 kg пара. Въ среднемъ, для охлажденія 1 kg пара необходимо: $x = 25$ до 30 kg охлаждающей воды.

Насосъ для холодной воды долженъ доставлять небольшой избытокъ послѣдней, т.-е. оть 30 до 35 kg воды на 1 kg пара. Избытокъ дѣйствительно вспрыскиваемой воды увеличиваетъ работу воздушнаго насоса и, кромѣ того, въ холодильникъ попадаетъ большое количество воздуха,—почему невыгоденъ. Наиболѣе совершенное разрѣженіе въ холодильникѣ достигается возможно большимъ пониженіемъ температуры вспрыскиваемой воды, хорошимъ распыливаніемъ послѣдней, плотностью соединеній отдѣльныхъ частей и возможно полнымъ удаленіемъ всѣхъ продуктовъ конденсаціи.

Регулированіе (и прекращеніе) притока вспрыскиваемой воды производится отъ руки посредствомъ крана или коническаго клапана, а распыливаніе струи въ первомъ случаѣ производится сѣткой, а во второмъ—проще и лучше разбивать струю самимъ клапаномъ. Скорость вспрыскиваемой воды въ трубѣ 1 до 2 m, а при прохожденіи черезъ клапанъ 4 до 5 m въ сек.

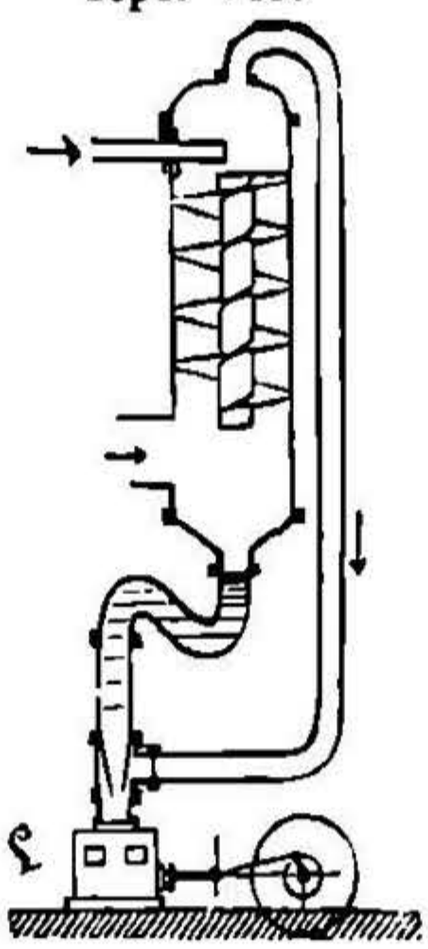
4. **Вспрыскивающіе холодильники съ обратнымъ токомъ** (E. I. Вейса, въ Базелѣ). Непосредственное смѣшиваніе пара съ охлаждающею водою такимъ образомъ, что паръ и вода двигаются въ противоположныхъ направленіяхъ. Вода вытекаетъ изъ нижняго помѣщенія холодильника и, отдѣльно отъ воды, смѣсь воздуха и пара удаляется высасываніемъ изъ верхняго помѣщенія холодильника. Давленіе въ холодильникѣ соотвѣтствуетъ приблизительно температурѣ охлаждающей воды при входѣ ея въ холодильникъ *).

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1888, стр. 9, и 1891, стр. 293.

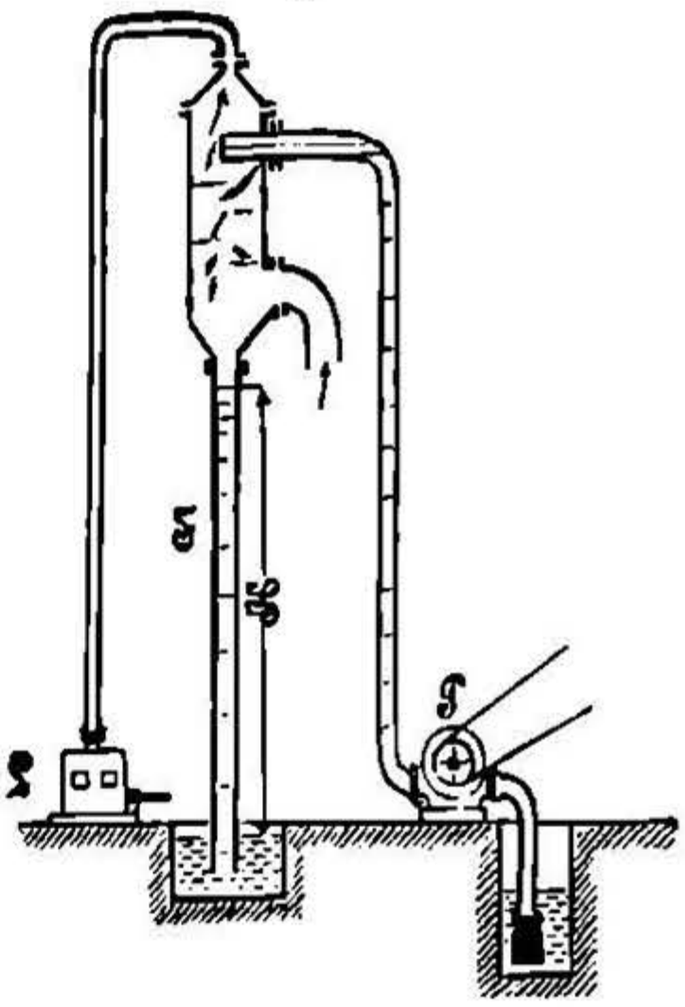
НТБ ДНУЗТ

Подъемъ охлаждающей воды: 1) непосредственнымъ всасываніемъ отъ разрѣженія воздуха въ холодильникѣ (черт. 718); продукты охлажденія удаляются (всѣ вмѣстѣ) при помощи воздушнаго насоса L; 2) когда наиболѣе пониженная точка холодильника можетъ быть помѣщена на высотѣ столба воды $H = 10$ m, соотвѣтствующей давленію атмосферы, то подъемъ воды достигается насосомъ P для холодной воды (черт. 719); конденсаціонная вода свободно стекаетъ по спускной трубѣ F, воздухъ и смѣсь воды и пара высасываются сухимъ насосомъ L'. Этимъ достигается нѣсколько лучшее разрѣженіе, чѣмъ въ 1).

Черт. 718.



Черт. 719.



Объемъ холодильника снабженъ горизонтальными перегородками (черт. 719) или винтовыми поверхностями (черт. 718), съ цѣлью уменьшенія скорости паденія охлаждающей воды.

Количество охлаждающей воды x на 1 kg пара получается $= {}^1/_2$ до ${}^2/_3$ того количества, которое требуется для холодильниковъ съ параллельнымъ токомъ при той же степени разрѣженія, т.-е. для среднихъ условій $x = 15$ до 20 kg охлаждающей воды на 1 kg пара; почему для этихъ холодильниковъ требуется меньшая работа насосовъ, чѣмъ у холодильниковъ съ параллельнымъ токомъ.

2. Конденсація при искусственномъ охлажденіи воды.

Если необходимое для вспрыскивающихъ или поверхностныхъ холодильниковъ количество воды не имѣется въ достаточномъ количествѣ или достать ее слишкомъ дорого, или вода изъ холодильника не можетъ быть отведена, то выгода отъ работы пара съ охлажденіемъ можетъ быть достигнута искусственнымъ охлажденіемъ воды слѣдующими способами:

1. **Охлаждающими прудами.** Воздушный насосъ выливаетъ воду непосредственно въ прудъ, а насосъ для холодной воды выкачиваетъ воду изъ пруда. Устройство простое, но требуетъ для своего осуществленія большой площади, почему, при необходимости устраивать каменныя работы для пруда, выходитъ дорогимъ. Охлажденіе воды не достигается въ достаточной мѣрѣ, особенно лѣтомъ. На 1 лош. силу требуется около 3 qm охлаждающей поверхности воды.

НТБ ДНУЗТ

2. **Рѣшетками съ естественною тягою воздуха (градирнями).** Состоятъ изъ хвороста, планокъ, желѣзныхъ полосъ и т. д. Необходимая площадь охлажденія значительно меньше, чѣмъ въ охлаждающихъ прудахъ; занимаютъ много мѣста въ длину и высоту при малой ширинѣ. Высота 8 до 10 m. Пониженіе температуры зависитъ отъ состоянія атмосферы и количества конденсаціонной воды. На 1 лош. силу требуется около 0,30 qm площади въ планѣ при охлажденіи на 20 до 30°, и 0,1 qm при охлажденіи на 10 до 15°. Появляющіяся по временамъ испаренія и мелкій дождь весьма непріятны для сосѣднихъ жилыхъ помѣщеній.

3. **Рѣшетками съ искусственною тягою** (Клейнъ). Вода, которая должна быть охлаждаема, стекаетъ по большому числу вертикальныхъ досчатыхъ перегородокъ, причемъ по направленію, противоположному движенію воды, вдувается струя воздуха посредствомъ вентилятора. Необходимая площадь этимъ устройствомъ значительно сокращается. На 1 лош. силу требуется около 0,035 qm. Высота рѣшетки (градирни) 6 до 10 m = высотѣ нагнетанія для воздушнаго и водяного насосовъ. Искусственная тяга вентилятора въ среднемъ = 5 mm водяного столба. Общій расходъ работы для подъема воды и для вентилятора 4,5 до 6% всей работы паровой машины.

4. **Вращающимися дисками съ искусственной тягой.** Большое число параллельныхъ между собою металлическихъ дисковъ, въ небольшомъ разстояніи другъ отъ друга, насажены на общій валъ. Валъ вмѣстѣ съ этими дисками, на $^1/_3$ своей поверхности опущенными въ подлежащую охлажденію воду, приводится во вращеніе. Испареніе, необходимое для интенсивнаго охлажденія воды, достигается струей воздуха, вдуваемой въ промежутки между отдѣльными дисками.

Въ соединеніи съ вспрыскивающей конденсаціей расходъ работы на движеніе вала съ дисками настолько великъ, что система эта является невыгодною. (Количество воды $\geqq 25$ разъ взятому расходу пара паровой машины, причемъ вода охлаждается до температуры вспрыскиваемой въ холодильникъ воды).

Въ соединеніи съ поверхностной конденсаціей (Тейзенъ) расходъ работы на вращеніе дисковъ и на вентиляторъ малъ, $\sim 2{,}5\%$ работы паровой машины. (Количество воды, во всякомъ случаѣ, не больше обыкновеннаго расхода пара паровой машины, причемъ температура охлаждаемой воды постоянна).

5. **Самоохлаждающими рѣшетнами** (Поппер ъ). Охлаждаемая вода проходитъ черезъ нѣсколько ситъ, расположенныхъ на разныхъ высотахъ, вслѣдствіе чего она при паденіи обращается въ мелкій дождь. Этотъ дождь и общій вытяжной каналъ для паровъ и воздуха производятъ усиленную циркуляцію воздуха; причемъ скоростъ воздуха доходитъ до 3 m въ сек. Необходимая площадь рѣшетки на 1 лош. силу составляетъ около 0,04 qm при холодильникахъ съ параллельнымъ токомъ и около 0,03 qm при хо-

НТБ ДНУЗТ

лодильникахъ съ обратнымъ токомъ (напр. Вейса). Высота охлаждающей башни приблизительно 10 m. Работа насоса составляетъ 2 до 3% работы паровой машины; уходъ весьма простой.

6. **Пароструйными конусами** (Кертинга). Состоятъ изъ конуса, въ задней уширенной части котораго находится двухоборотная спираль, послѣдняя распыливаетъ и радіально разбрасываетъ подводимую подъ напоромъ воду во время ея истеченія. Вода изъ конденсатора при помощи центробѣжнаго насоса нагнетается въ трубу, на которой эти конуса располагаются въ достаточномъ количествѣ и необходимомъ другъ отъ друга разстояніи. Если мѣсто позволяетъ, то эту трубу располагаютъ надъ резервуаромъ (прудомъ), въ который охлажденная вода падаетъ въ видѣ мелкаго дождя. Если же мѣсто недостаточно, то вокругъ пароструйныхъ конусовъ устраиваютъ стѣнку изъ жалузи (рѣшетку). Необходимое давленіе воды въ трубѣ $p = 1{,}0$ до $1{,}5$ атм.

Нижеслѣдующая таблица содержитъ объемы воды (cbm въ часъ), разбрасываемой пароструйными конусами Кертинга (въ Ганноверѣ). Конуса, имѣющіе діаметръ выпускного отверстія 30 до 50 mm, для большихъ устройствъ, изготовляются двойными.

Объемъ воды въ cbm въ часъ при:	Діаметръ выпускного отверстія конуса въ mm:												
	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50
$p = 1{,}0$ атм.	2,34	3,83	5,36	7,50	9,70	12,3	15,2	23,8	23,4	31,1	40,5	51,4	62,7
$p = 1{,}5$ атм. .	3,00	4,65	6,70	9,20	12,7	15,2	18,6	29,0	25,8	39,2	51,2	64,8	80,0

Охлажденная вода течетъ по обратной трубѣ въ резервуаръ для холодной воды конденсатора.

При установкѣ на открытомъ мѣстѣ необходимая площадь на одинъ конусъ діаметромъ отъ 8 до 10 mm составляетъ около 6 qm, для конуса діаметромъ 12 до 18 mm—отъ 9 до 10 qm. Вода охлаждается лѣтомъ приблизительно до температуры воздуха, зимою до 15—18°. Устройство дешево и долговѣчно; работа насоса составляетъ 1,5 до 2% производительности паровой машины.

3. Воздушный насосъ.

Воздушный насосъ (**мокрый**) долженъ отводить изъ холодильника конденсаціонную воду, вспрыскиваемую воду, воздухъ и получающійся паръ температурой, соотвѣтствующей температурѣ въ холодильникѣ.

Въ холодильникахъ съ параллельнымъ токомъ S kg пара въ среднемъ требуютъ $25\,S$ kg вспрыскиваемой воды, которая на 1 kg въ среднемъ содержитъ 0,07 литр. механически примѣшаннаго воздуха.

Давленіе въ холодильникѣ составляется изъ давленія этого количества воздуха и пара въ холодильникѣ; послѣднее давленіе находится въ зависимости отъ температуры смѣси. При 0,1 атм. давленія въ холодильникѣ, повышеніи температуры на 25° и температурѣ смѣси 35° (0,055 атм. давл. пара), необходимо отвести количество воздуха и воды:

НТБ ДНУЗТ

$$0{,}07 \,.\, 25\ S \frac{1}{0{,}1 - 0{,}055} \,.\, (1 + 0{,}00367 \,.\, 25) \sim 42\ S \text{ литр. въ сек.;}$$

сюда прибавляется еще 26 S kg воды; слѣд., при расходѣ пара S kg всего около 70 S литр. въ сек.

Діаметръ воздушнаго насоса D, при ходѣ поршня s, опредѣляется, поэтому, изъ уравненія:

$$70\,S = i\,\lambda \frac{\pi\,D^2}{4} s \frac{n}{60},$$

гдѣ n число оборотовъ (двойныхъ ходовъ) въ минуту, $i = 1$ или 2, смотря по тому, будетъ ли воздушный насосъ простого или двойного дѣйствія. Объемный коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\lambda \sim 0{,}7$.

Въ горизонтальныхъ воздушныхъ насосахъ двойного дѣйствія (для которыхъ, слѣд., $n\,s = 30\,c$) средняя скорость поршня, большею частью, отъ 2 до 3 m въ сек. (при $n = 80$ до 100 оборотовъ въ минуту); однако, въ послѣднее время эту скорость выбираютъ до $c = 6{,}5$ m въ сек. (при ходѣ поршня $s = 1{,}5$ и $n = 130$). Скорость воды при проходѣ черезъ клапаны: 1,0 до 1,5 m въ сек. при $c =$ до 3,0 m въ сек. и 1,5 до 2,0 m при $c = 3{,}0$ до 6,5 m. Въ вертикальныхъ воздушныхъ насосахъ простого дѣйствія $c = 1{,}0$ до 1,3 m въ сек. — Ударовъ въ насосѣ не слѣдуетъ допускать, избѣгая перемѣны направленія движенія воды внутри насоса *).

Работа, расходуемая насосомъ, составляетъ приблизительно 4 до 5% работы машины.

При холодильникахъ съ обратнымъ токомъ S kg пара требуютъ въ среднемъ 15 S kg вспрыскиваемой воды. При воздушномъ насосѣ (мокромъ), откачивающемъ воду, количество подлежащихъ удаленію воздуха и пара, равно какъ и работа насоса, уменьшается въ отношеніи 3 : 5 (точнѣе 41 : 68).

Въ холодильникахъ съ обратнымъ токомъ воздушный насосъ (**сухой**) удаляетъ только воздухъ и паръ.

При температурѣ всасыванія 20°, температурѣ входящей охлаждающей воды 15° (давленіе пара при 20° = 0,023 атм.), количество подлежащей удаленію смѣси равно

$$0{,}07 \,.\, 15\ S \,.\, \frac{1}{0{,}1 - 0{,}023} (1 + 0{,}00367 \,.\, 5) \sim 15\ S \text{ литровъ въ секунду.}$$

Воздушные насосы горизонтальныхъ машинъ располагаются удобнѣе всего сзади машины и приводятся въ дѣйствіе непосредственно отъ сквозного стержня поршня, или отъ него же посредствомъ системы рычаговъ; иногда воздушный насосъ получаетъ движеніе отъ вала машины или отъ крейцкопфа. Въ этомъ случаѣ ходъ поршня воздушнаго насоса выбирается по возможности меньше, съ тѣмъ, чтобы уменьшить ускореніе и получить достаточную для помѣщенія клапановъ площадь поршня.

Детали воздушныхъ насосовъ (**мокрыхъ**). **Горизонтальные воздушные насосы** большею частью двойного дѣйствія, а **вертикальные**— простого. Для плотности соединеній цѣлесообразно окружать холодильникъ и воздушный насосъ общимъ резервуаромъ, внутри котораго находится охлаждающая вода; большею частью бываетъ

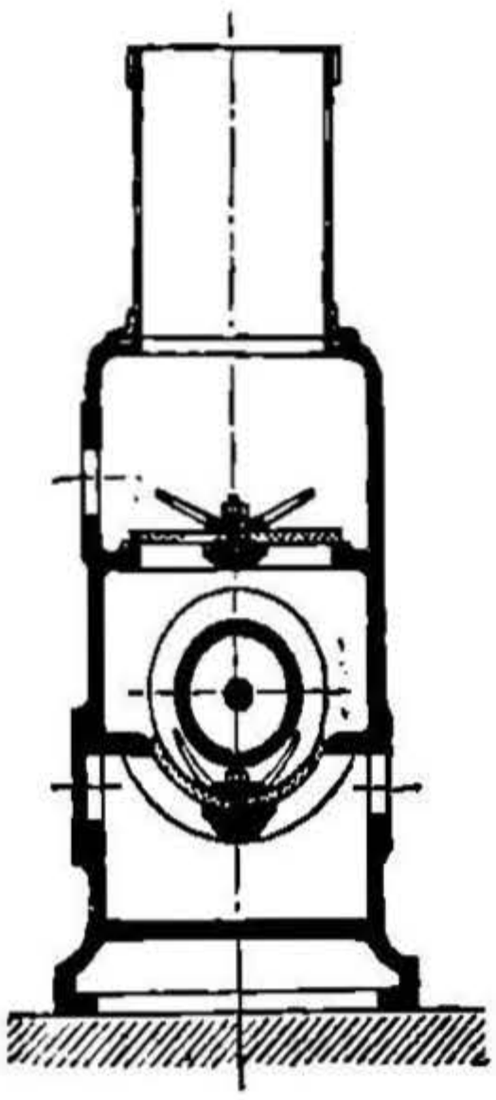
*) См. v. Ihering, Zeitschr d. V. d. Ing. 1895, стр. 539 и 1269.

НТБ ДНУЗТ

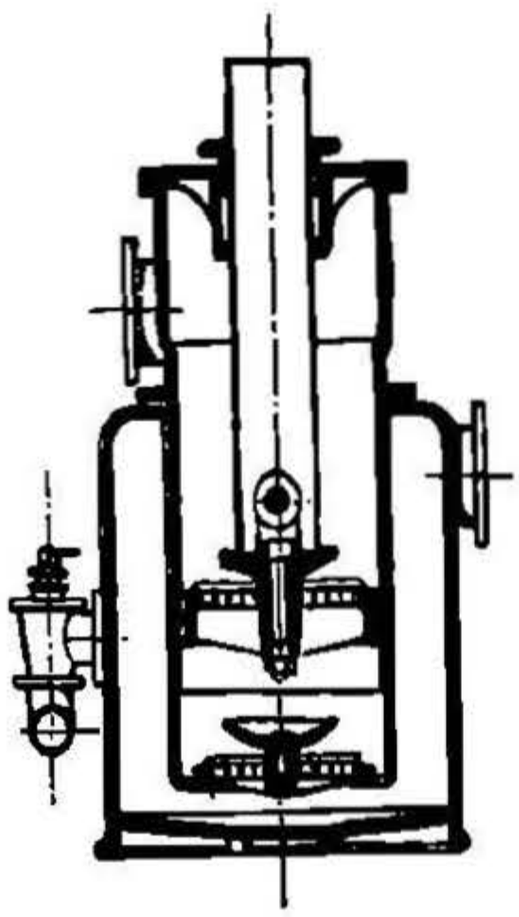
достаточно помѣстить подъ водою сальники ныряла или поршневого стержня.

Клапаны большей частью резиновые—четыреугольные или круглые. Площадь клапана разсчитывается по наибольшей скорости воды (< 2 m въ сек.), и въ томъ предположеніи, что весь объемъ цилиндра наполненъ водой. Всасывающіе клапаны имѣютъ площадь равную $^1/_2$ до $^2/_3$ площади нагнетательныхъ клапановъ. Клапаны должны быть такъ устроены, чтобы протекающая вода всегда оставляла часть поперечнаго сѣченія клапана свободной для прохода воздуха; иногда для прохода воздуха устраиваются спеціальные клапаны.

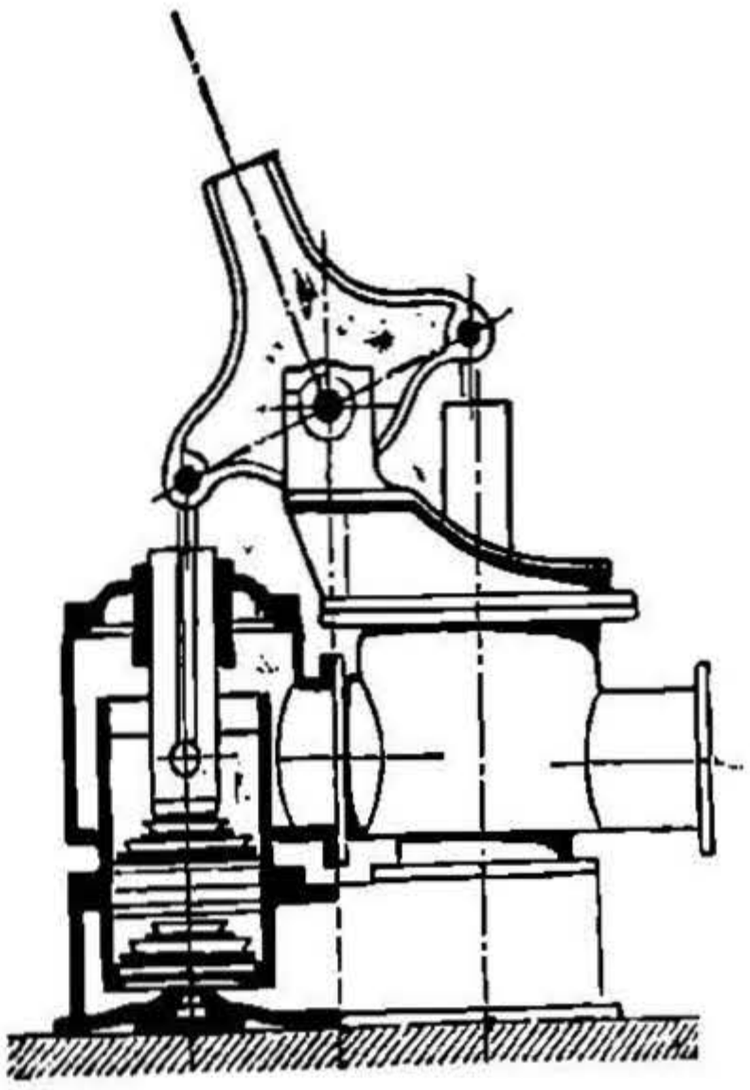
Черт. 720.



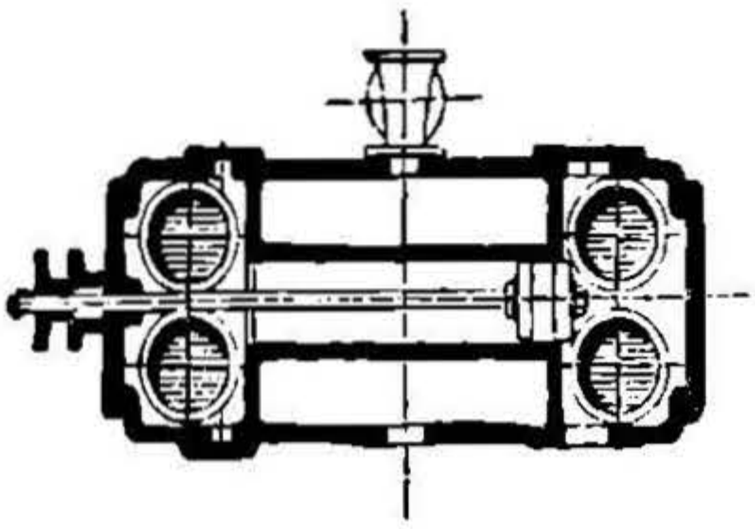
Черт. 721.



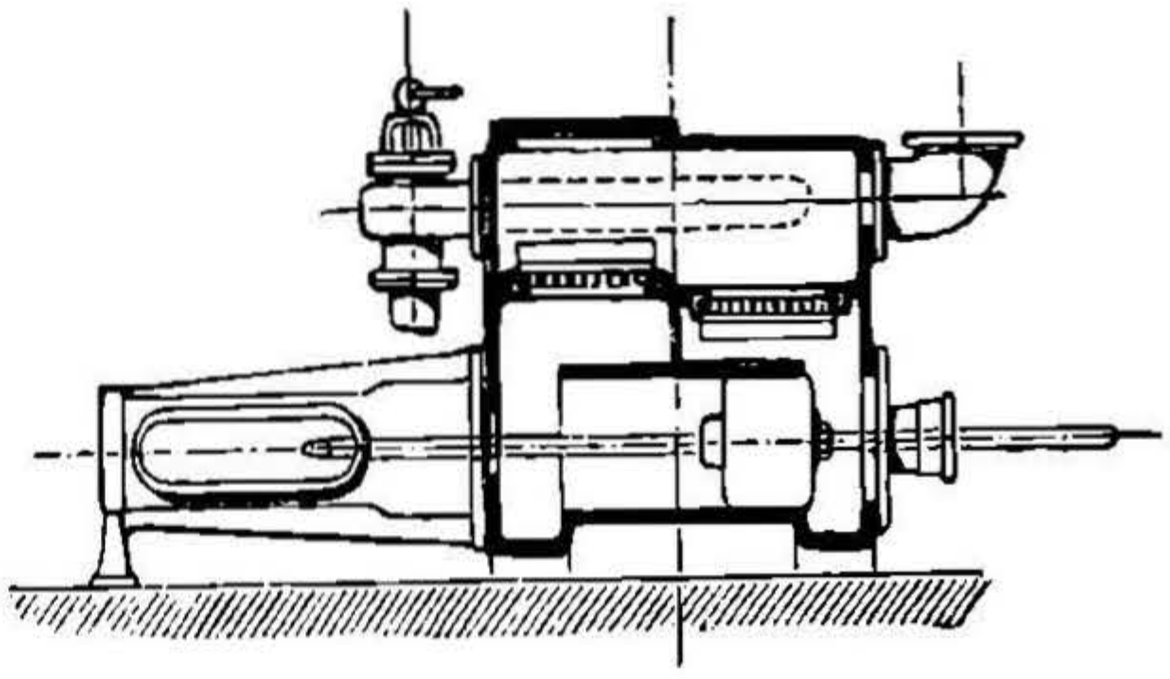
Черт. 722.



Черт. 723.



Черт. 724.



Въ движущихся частяхъ допускается на растяженіе k_z не больше 300 kg/qcm и давленіе на поверхность цапфы $k < 20$ kg/qcm.

Примѣры горизонтальныхъ воздушныхъ насосовъ двойного дѣйствія изображены на черт. 720, 723 и 724. На черт. 720 и 724 (продольный разрѣзъ частью по всасывающему, частью по нагнетающему пространству) изображены четыреугольные резиновые клапаны, на черт. 724—всасывающій клапанъ на вѣсу. На черт. 723 показано по 2 круглыхъ клапана. Черт. 721 изображаетъ

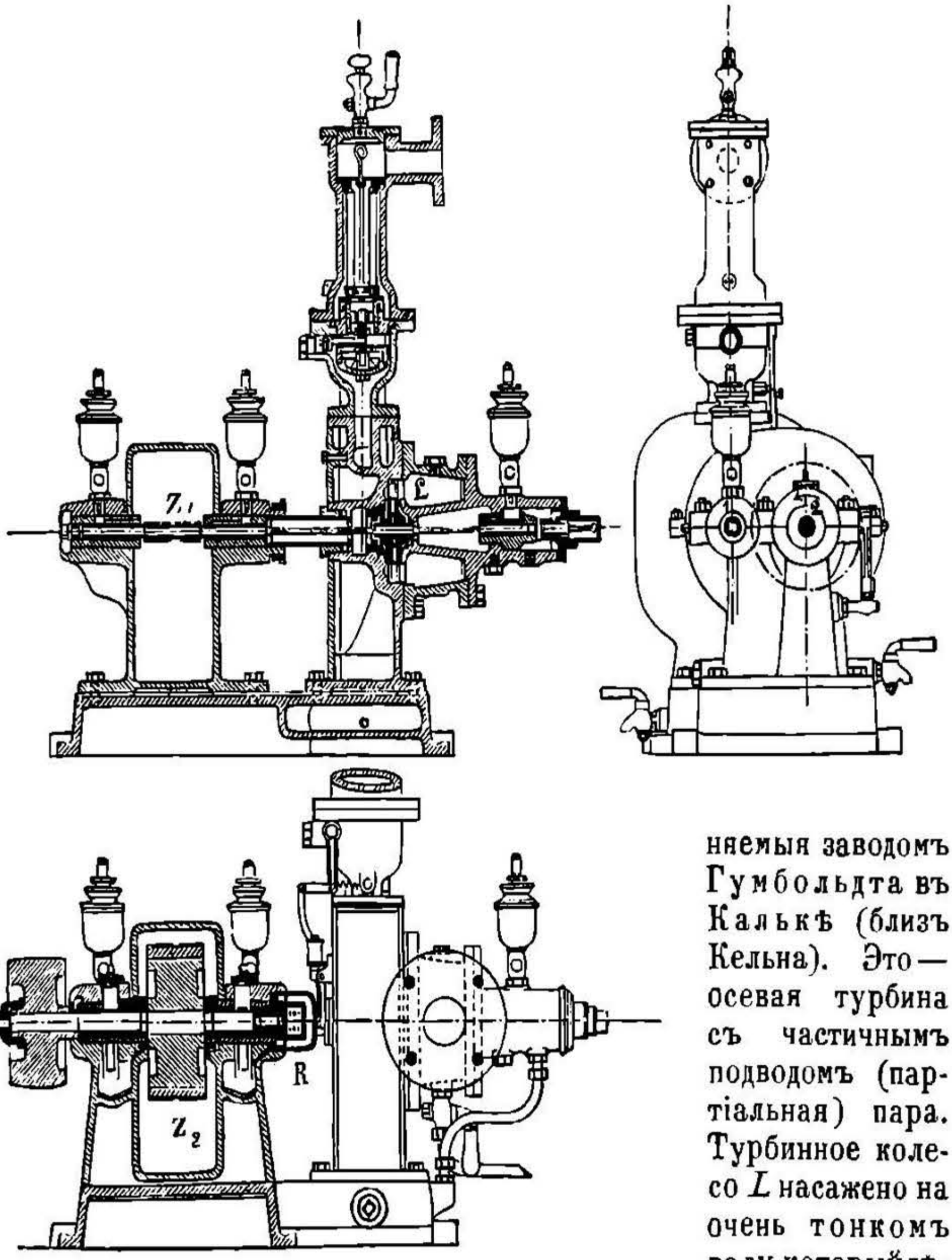
НТБ ДНУЗТ

вертикальный воздушный насосъ простого дѣйствія съ круглыми резиновыми клапанами и клапаннымъ поршнемъ. Черт. 722 представляетъ соединеніе двухъ такихъ насосовъ.

D. Паровыя турбины *).

Въ новѣйшее время, для нѣкоторыхъ цѣлей, вмѣсто поршневыхъ паровыхъ машинъ, стали примѣняться паровыя турбины, въ Германіи преимущественно паровыя турбины де-Лаваля, испол-

Черт. 725.



няемыя заводомъ Гумбольдта въ Калькѣ (близъ Кельна). Это — осевая турбина съ частичнымъ подводомъ (партіальная) пара. Турбинное колесо *L* насажено на очень тонкомъ валу, который дѣлаетъ 10000 до 30000 оборотовъ въ минуту. Пара зубчатыхъ ко-

*) См. Л. Клейнъ, Theorie, Konstruktion und Nutzeffekt der Dampfturbinen, Zeitschr. d. V. d. Ing., 1895, стр. 1189.

НТБ ДНУЗТ

лесъ z_1, z_2 имѣетъ передаточное число 10 до 13 на медленный ходъ, такъ что ременной шкивъ дѣлаетъ около 750 до 3000 оборотовъ въ минуту.

Паръ вытекаетъ изъ коническихъ насадокъ со скоростью 600 до 1200 m въ секунду, смотря по тому, работаетъ ли турбина безъ охлажденія или съ охлажденіемъ. Скорость на окружности турбиннаго колеса 300 до 350 m въ сек.

Черт. 726.

Паровыя турбины имѣютъ слѣдующія преимущества: дешевая и простая установка, слѣд., дешевые фундаменты, занимаютъ мало мѣста, спокойный, безъ ударовъ, и очень равномѣрный ходъ. Благодаря послѣднему, онѣ въ особенности примѣняются для непосреднаго приведенія въ движеніе динамо-машинъ, а также, вслѣдствіе большого числа оборотовъ, для непосреднаго приведенія въ дѣйствіе центробѣжныхъ насосовъ и вентиляторовъ. Для передачи работы на тихоходныя рабочія машины или приводные валы рекомендуются возможно легкіе ремни, въ особенности тканые пеньковые или хлопчатобумажные ремни безъ шва; при этомъ, вслѣдствіе необходимаго большого передаточнаго числа, слѣдуетъ устанавливать натяжные ролики (черт. 726).

Данныя относительно расхода пара и главныхъ размѣровъ турбинъ приведены въ нижеслѣдующихъ таблицахъ.

Расходъ пара въ турбинахъ де-Лаваля

на 1 полезную лош. силу въ kg въ 1 часъ.

Производит. Лош. силъ.	Число оборотовъ въ мин. вала передачи.	4 атм.		6 атм.		8 атм.		10 атм.		12 атм.	
		Безъ охлажд.	Съ охлажд.	Безъ охлажд.	Съ охлажд.	Безъ охлажд.	Съ охлажд.	Безъ охлажд.	Съ охлажд.	Безъ охлажд.	Съ охлажд.
5	3000	30	18	24	16,8	22,1	16	20,5	15,3	19,5	14,9
10	2400	27	16,1	22	15,1	20,7	14,3	19,2	13,7	18,5	13,4
15	2400	25	14,5	20,9	13,7	19,4	13	18,2	12,5	17,6	12,1
20	2000	23,5	13,3	20	12,6	18,5	12	17,3	11,6	16,7	11,2
30	2000	22	12,3	19,3	11,7	17,8	11,2	16,7	10,8	16,1	10,5
40	2000	21	11,6	18,7	11,1	17,2	10,6	16,2	10,3	15,6	10
50	1500	20	11	18,2	10,5	16,7	10,1	15,7	9,8	15,1	9,5
75	1250	19,5	10,5	17,8	10,1	16,3	9,7	15,3	9,4	14,7	9,2
100	1050	19,2	10,2	17,5	9,8	16	9,5	15	9,3	14,3	9,1
200	750	17,6	9,8	16,4	9,3	15,3	9	14,4	8,9	13,9	8,8

Данныя относительно расхода пара для турбинъ съ охлажде-

НТБ ДНУЗТ

ніемъ относятся къ разрѣженію воздуха въ 64,6 cm ртутнаго столба. Если для охлажденія служитъ непосредственно соединенный съ турбиной воздушный насосъ или центробѣжный насосъ, питающій струйный конденсаторъ, то расходъ пара увеличивается на 12% при 20 лош. сил., на 10% при 30, на 7% при 50, на 5% при 100 и на 4% при 200 лош. сил.

Размѣры турбинъ де-Лаваля

завода Гумбольдта въ Калькѣ (близъ Кёльна).

Полезныя лош. силы . . .			5	10	15	20	30	40*)	50*)	75*)	100*)	200*)	300*)
Заним. мѣсто.	Длина . .	mm	920	1030	1060	1350	1460	1950	2290	2750	3210	3590	4070
	Ширина . . .	„	550	650	650	730	750	840	980	1040	1320	1600	1950
	Вышина .	„	800	1000	1000	1100	1100	1100	1360	1320	1460	1700	1800
Ременный шкивъ на двигателѣ.	Число обор. въ мин.		3000	2400	2400	2000	2000	2000	1500	1250	1050	920	850
	Діаметръ . .	mm	160	200	200	240	240	240	350	390	340	520	720
	Ширина . .	„	80	100	115	130	155	130	230	300	360	400	480
Валъ передачи.	Число обор. въ мин.		480	480	480	480	480	400	360	350	320	280	240
	Діам. рем. шкива.	mm	230	230	300	300	300	500	635	650	700	1200	1400
	Ширина его	„	230	230	270	270	270	320	375	480	500	680	760

IV. ПАРОВЫЕ КОТЛЫ.

Особыя данныя относительно **паровозныхъ** котловъ приведены во II части (желѣзнодорожное дѣло), относительно **пароходныхъ** котловъ — во II части (судостроеніе).

Обозначенія.

T температура сгоранія горючаго матеріала на колосниковой рѣшеткѣ,
T_1 температура продуктовъ горѣнія при выходѣ ихъ изъ дымоходовъ котла,
t температура воды въ котлѣ,
t_0 температура воды, питающей котелъ,
p абсолютная теплопроизводительность горючаго матеріала въ калоріяхъ для 1 kg (см. стр. 323 и слѣд.); при этомъ потеря теплоты вслѣдствіе охлажденія для одиночныхъ котловъ принимается 5%, для батарейныхъ котловъ 8%; эти потери должны быть предварительно вычтены,
λ_0 количество теплоты въ калоріяхъ, необходимое для полученія 1 kg пара температурой t^0 изъ воды температурой t_0^0,
R общая площадь колосниковой рѣшетки въ qm,
R_f свободная площадь рѣшетки въ qm,
$m = R_f : R$ отношеніе свободной площади рѣшетки къ общей,
H поверхность нагрѣва котла въ qm,
B количество горючаго матеріала въ kg, расходуемое въ часъ,

НТБ ДНУЗТ

D количество пара, производимое котломъ въ часъ, въ kg,
L количество воздуха въ kg, практически необходимое для сгоранія 1 kg горючаго матеріала (см. стр. 323 до 326),
F мѣсто, занимаемое въ планѣ котломъ, на 1 qm его поверхности нагрѣва въ qm,
V поверхность (зеркало) испаренія (площадь уровня воды) на 1 qm поверхности нагрѣва въ qm,
J_w объемъ воды въ котлѣ на 1 qm поверхности нагрѣва въ литр.,
J_d объемъ пара въ котлѣ на 1 qm поверхности нагрѣва въ литр.,
η коэффиціентъ полезнаго дѣйствія всего котла, т.-е. отношеніе количества теплоты, отданной котлу 1 kg горючаго матеріала, къ теплопроизводительности его p,
$\eta_1 = 0{,}8$ до $0{,}9$ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія топки,
η_2 коэффиціентъ полезнаго дѣйствія поверхности нагрѣва,
$c_p = 0{,}24$ теплоемкость продуктовъ горѣнія при постоянномъ давленіи (см. стр. 318),
σ коэффиціентъ лучеиспусканія $= 0{,}2$ до $0{,}3$,
v скорость воздуха, проходящаго черезъ прозоры колосниковъ, въ m въ сек.,
k коэффиціентъ теплопроводимости, т.-е. количество теплоты, проходящее въ часъ черезъ 1 qm поверхности нагрѣва при 1^0 разности температуръ между газами и водой, въ ед. теплоты; въ среднемъ $k = 23$,
e основаніе натуральныхъ логариѳмовъ (см. стр. 40 и 46).

A. Общія данныя.

a. Разсчеты.

1. Температура горѣнія T, развиваемая на колосниковой рѣшеткѣ въ топкѣ, при температурѣ 0^0 въ котельномъ помѣщеніи:

$$T = \eta_1 \frac{(1-\sigma)p}{(1+L)c_p}.$$

Для постоянныхъ котловъ $\eta_1 = 0{,}8$ до $0{,}9$.

Коэффиціентъ лучеиспусканія:

$$\sigma = \frac{\text{теплота лучеиспусканія}}{\text{полезная теплота на колосниковой рѣшеткѣ}}$$

составляетъ по Пекле: для внутренней тонки $\sigma = 0{,}25$ до $0{,}30$, а для тонки снизу $\sigma = 0{,}20$ до $0{,}25$.

2. Поверхность нагрѣва H. Требуемая поверхность нагрѣва H приблизительно опредѣляется по слѣдующимъ даннымъ.

Пусть въ часъ расходуется D kg пара, и для образованія 1 kg пара требуется 600 калорій, соотвѣтственно температурѣ питающей воды $t_0 = 50^0$ и 5 атм. рабочаго давленія; тогда, если на 1 qm площади рѣшетки R должно сгорать въ часъ 80 kg угля, имѣющаго абсолютную теплопроизводительность $p = 7500$ калорій,

то при $H : R =$	20	25	30	40	50	60	70,
$D : H =$	25	22,5	20	16	14	12	10,

откуда находимъ величину H.

НТБ ДНУЗТ

Точнѣе будемъ имѣть, если положить $\frac{B(1+L)c_p}{k} = \Theta$:

Величина.	По Ф. Редтенбахеру: (прохожденіе теплоты пропорціонально разности температуръ):	По Р. Вернеру: (прохожденіе теплоты пропорціонально квадрату разности температуръ):
Поверхность нагрѣва $H =$	$\Theta \ln \frac{T-t}{T_1-t}$; $(k = 23.)$	$\Theta \frac{T-T_1}{(T_1-t)(T-t)}$. $(k = 0{,}0603.)$
Конечн. темп. горючихъ газовъ $T_1 =$	$t + (T-t)\, e^{-\frac{H}{\Theta}}$;	$T - \frac{\frac{H}{\Theta}(T-t)^2}{1+\frac{H}{\Theta}(T-t)}$.
Коэф. полез. дѣйствія поверхности нагрѣва $\eta_2 =$	$1 - e^{-\frac{H}{\Theta}}$;	$1 - \frac{1}{1+\frac{H}{\Theta}(T-t)}$.

$$\eta_2 = \sigma + (1-\sigma)(1 - T_1 \quad T).$$

Для постоянныхъ котловъ $\eta_2 = 0{,}61$ до $0{,}87$,
для паровозныхъ котловъ $\eta_2 = 0{,}60$ до $0{,}75$ (см. ч. II, отдѣлъ XI).
Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія котла $\eta = \eta_1 \eta_2$.

3. Степень напряженія топки $B : H$. Чѣмъ меньше отношеніе $B : H$, тѣмъ лучше утилизируется теплота, т.-е. тѣмъ больше коэффиціентъ полезнаго дѣйствія η_2 поверхности нагрѣва (см. **2**).

Величина отношенія $B : H$ находится въ зависимости отъ цѣны горючаго матеріала на мѣстѣ, а также отъ того, предполагается ли впослѣдствіи болѣе усиленная работа котла или нѣтъ.

Значенія $B : H$.

Топливо.	Способы горѣнія: при очень медленномъ сгораніи.	при медленномъ сгораніи.	при нормальномъ сгораніи.	при быстромъ сгораніи.
Каменный уголь .	1	2	3	5
Лучшій бурый уголь . . .	3,33	5,55	8,75	12,85.

4. Производительность горючаго матеріала. Количество пара (въ kg), получаемое отъ 1 kg топлива, опредѣляется

$$\frac{D}{B} = \eta_1 \eta_2 \frac{p}{\lambda_0} = \eta \frac{p}{\lambda_0}.$$

Полагая $\lambda_0 = 600$ калорій, найдемъ слѣдующія величины отношенія $D : B$, зависящія отъ степени напряженія топки и теплотворной способности горючаго матеріала.

НТБ ДНУЗТ

Значенія $D:B$

для нормальныхъ нефтяныхъ остатковъ 12 до 12,85.

для каменнаго угля	5,5 до 10	для дровъ	2,5 до 3,5
„ кокса	4,5 „ 8	„ соломы.	1,5 „ 2,0
„ бураго угля	2,0 „ 4,5	„ коры.	1,0 „ 1,1.
„ торфа	1,5 „ 3,0		

Точнѣе: $\lambda_0 = \lambda - q_0 + (t - t_0)\,w$, гдѣ λ общее количество теплоты (см. стр. 283), q_0 теплота жидкости, соотвѣтствующая температурѣ t_0^0 питательной воды, w количество воды (въ kg), увлекаемое 1 kg пара (3 до 6%, въ паровозахъ 20%).

5. Подогрѣватели. Пусть H_v поверхность нагрѣва подогрѣвателя, который, понижая температуру продуктовъ горѣнія отъ T_1 до T_2, нагрѣваетъ питающую воду отъ температуры t_0 до t_1, тогда:

$$\frac{H_v}{D} = \frac{2\,(t_1 - t_0)}{k\,(T_1 + T_2 - t_1 - t_0)}, \quad \left(\text{точнѣе: } \frac{H_v}{D} = \Theta \ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1}\right).$$

При этомъ коэффиціентъ передачи теплоты $k = 12$ до 18 для такихъ подогрѣвателей, которые неразрывно соединены съ котломъ и хорошо могутъ быть очищаемы какъ снаружи, такъ и внутри; $k = 10$ до 15 для экономейзеровъ Грина (изъ чугунныхъ трубъ съ самодѣйствующими скребками); $k = 5$ для экономейзеровъ безъ скребковъ.

Подогрѣваніе воды возможно до $80^0 - 100^0$ (и даже до 130^0), при этомъ въ среднемъ $T_2 = 150^0$.

При хорошемъ подогрѣваніи, (по Грове), $H_v = 1/3$ до $1/2\,H$; объемъ подогрѣвателя равенъ 0,5 до 1,25 объема воды, расходуемой въ часъ для питанія котла.

(Трубы въ экономейзерахъ Грина сильно ржавѣютъ на нижнемъ концѣ, гдѣ вступаетъ питающая вода, въ особенности, если она холодна).

Большая часть горизонтальныхъ желѣзныхъ подогрѣвателей, діаметромъ не менѣе 500 mm, сильно разъѣдаются изнутри. Для предохраненія отъ разъѣданія ржавчиной, подогрѣватели изнутри покрываются сурикомъ послѣ каждой промывки, или же листы вытравливаются.

6. Перегрѣватели. При опредѣленіи поверхности нагрѣва перегрѣвателя надо имѣть въ виду не только количество перегрѣваемаго пара, но и количество воды, имъ увлекаемой изъ котла; вода эта должна быть испарена, для чего на 1 kg ея требуется $(606{,}5 - 0{,}717\,t)$ калорій. Чтобы перегрѣть 1 kg сухого пара на 1^0 требуется 0,475 калорій (см. стр. 318).

По Гирну, $k = 10$ до 15 калорій въ часъ для 1 qm перегрѣвающей поверхности (чугунныя трубы) при разности температуръ въ 1^0.

Преимущества перегрѣвателя слѣдующія:

1) испареніе (послѣдующее) увлекаемой паромъ воды,

(Продолженіе см. стр. 864.)

НТБ ДНУЗТ

Таблица размѣровъ топки и поверхности нагрѣва паровыхъ котловъ (отапливаемыхъ каменнымъ углемъ).

Типъ котла и родъ горѣнія.	Въ 1 часъ: На 1 qm поверхности нагрѣва сгораетъ угля (kg) [степень напряж.] $B:H$	Въ 1 часъ: На 1 qm поверхности колосн. рѣшетки сгораетъ угля (kg). $B:R$	Отношеніе поверхности нагрѣва къ поверхности колосн. рѣшетки. $H:R$	Количество притекающаго въ часъ воздуха на 1 kg угля. L (kg)	Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія топки. η_1	Температура сгоранія въ градусахъ. T	Темп. продукт. горѣнія въ боровѣ. T_1	Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія поверхности нагрѣва. η_2	Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія котла. η	Производительность котла: 1 kg горючаго матеріала производитъ пара (kg) $D:B$ безъ подогрѣват.	Производительность котла: 1 kg горючаго матеріала производитъ пара (kg) $D:B$ съ подогрѣват.	Напряженіе котла: 1 qm поверхности нагрѣва производитъ пара (kg) въ часъ. $D:H$ безъ подогрѣват.	Напряженіе котла: 1 qm поверхности нагрѣва производитъ пара (kg) въ часъ. $D:H$ съ подогрѣват.	Расположеніе топки.
Постоянные котлы.														
горѣніе очень медленное (горючій матеріалъ очень дорогъ; эти соотношенія выбираются въ исключительныхъ случаяхъ).		40 до 50 (50)	40 до 50 (50)	22,0	0,90	856	169	0,862	0,776	8,95	10,01	8,95	10,01	Внутренняя топка; $\sigma=0{,}3$.
						978	170	0,861	0,775	8,94	10,00	8,94	10,00	Топка снизу; $\sigma=0{,}2$.
						1223	174	0,858	0,762	8,79	9,83	8,79	9,83	Топка отдѣльная спереди; $\sigma=0$.
горѣніе медленное (вновь установленные котлы при нормальныхъ условіяхъ).	2	50 до 70 (50)	25 до 35 (25)	20,5	0,85	865	233	0,811	0,689	7,95	8,89	15,90	17,78	Тоже, какъ выше.
						988	246	0,801	0,681	7,86	8,78	15,72	17,56	
						1235	272	0,780	0,663	7,65	8,55	15,30	17,10	
горѣніе нормальное.	3	70 до 100 (75)	23 до 33 (25)	19,0	0,85	930	314	0,764	0,649	7,49	8,37	22,47	25,11	
						1062	341	0,743	0,631	7,28	8,14	21,84	24,42	
						1328	394	0,713	0,596	6,88	7,69	20,64	23,07	
усиленное горѣніе (при усиленной работѣ; котлы локомобилей).	5			17,5	0,80	946	434	0,679	0,543	6,27	7,00	31,35	35,00	
						1081	482	0,643	0,514	5,93	6,63	29,65	33,15	
						1351	586	0,567	0,454	5,24	5,86	26,20	29,30	

НТБ ДНУЗТ

Пароходные котлы:	среднее искусств. дутье.	3—3,5	85 до 95	28	17,5	0,80	946	319 до 358	0,821 до 0,770	0,657 до 0,616	7,17 до 6,73	21,05 до 24,56	$\sigma = 0,3$
		4	130 до 140	33				391	0,728	0,582	6,36	25,44	
Паровозные котлы:	8-ми колесныхъ и наровоз. горныхъ дорогъ.	5—6	350 до 500 (400)	70 до 100	15	0,80	1094	374 до 431	0,760 до 0,724	0,609 до 0,579	6,81 до 6,43	34,04 до 38,57	
	товарныхъ паровозовъ	6—8		50 до 70				431 до 527	0,724 до 0,663	0,579 до 0,532	6,43 до 5,92	38,57 до 47,36	
	пассажирск. паровоз.	8—10		35 до 55				527 до 591	0,663 до 0,622	0,532 до 0,497	5,92 до 5,46	47,36 до 54,6*)	

Примѣчаніе. Данныя вышеприведенной таблицы разсчитаны по формуламъ, указаннымъ въ текстѣ для каменнаго угля среднихъ качествъ (сред. составъ: 0,766 C + 0,041 H + 0,163 H_2O + 0,030 золы) съ абсолютной теплотворной способностью $p = 7500$ един. тепла на kg. Потеря теплоты отъ охлажденія (= 5 до 8%) не принята въ разсчетъ. Теоретически расходуемое однимъ kg угля количество воздуха $L = 10,4$ kg. Температура пара = 158° (въ паровозныхъ и пароходныхъ котлахъ 183° = 10 атм. раб. давленія). Содержаніе воды въ парѣ = 5%, въ паровозахъ 20%. Температура питающей воды $t_0 = 10°$; при подогрѣвателяхъ = 80°. Нагрѣваніе воды въ паровозахъ паромъ отъ дѣйствія инжектора здѣсь въ разсчетъ не принимается. Температура наружняго воздуха $T_0 = 0°$. Теплоемкость продуктовъ горѣнія $c_p = 0,24$, коэффиціентъ теплопроходимости $k = 23$, для паровозовъ $k = 30$. Числа, заключенныя въ скобки, представляютъ среднія значенія.

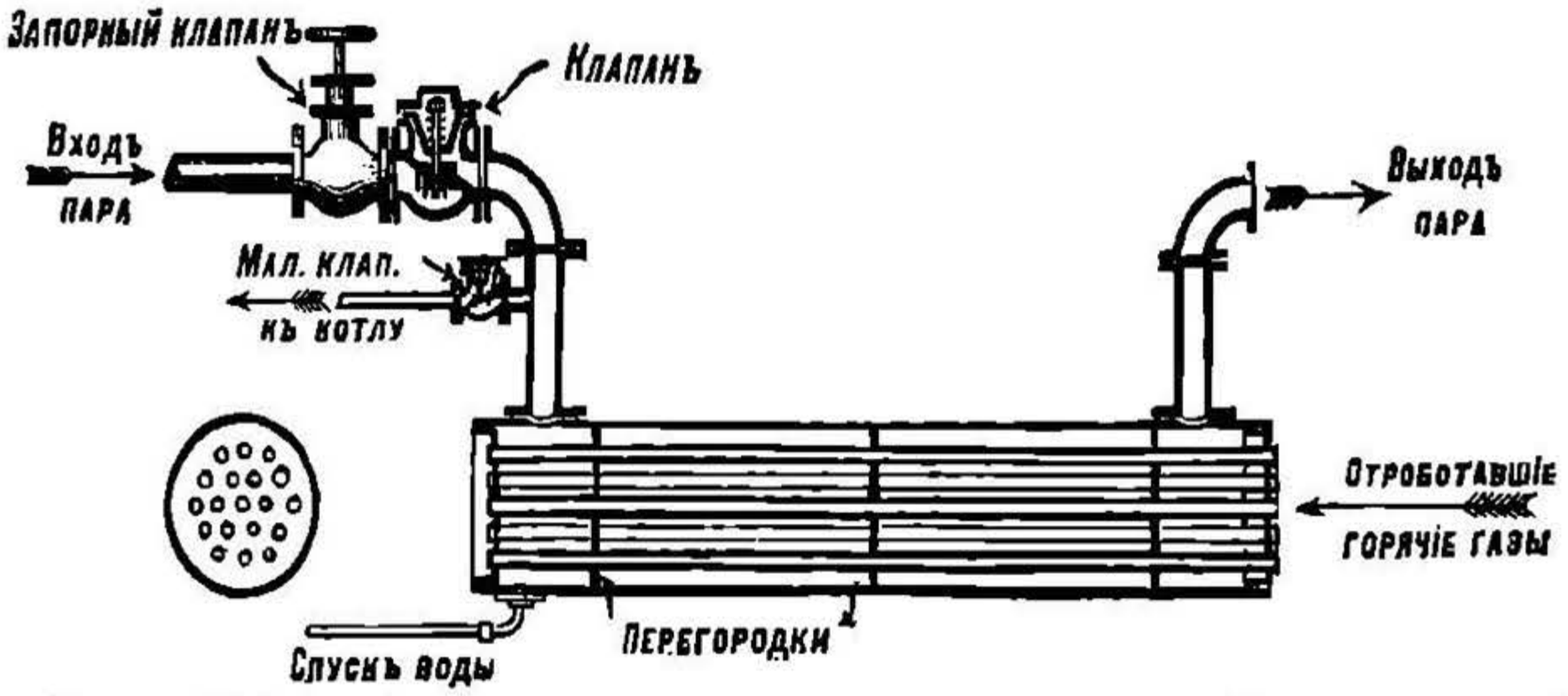
*) У нормальнаго пассажирскаго паровоза прусскихъ правительственныхъ дорогъ . $D : H =$ 54 до 58.
Для курьерскихъ паровозовъ . . . $D : H =$ до 65.

НТБ ДНУЗТ

2) увеличеніе объема пара, получаемаго изъ котла и изъ воды, увлекаемой паромъ.

Если паромъ приводятся въ дѣйствіе машины, то выгода перегрѣвателя заключается въ уменьшеніи количества воды, осаждающейся въ цилиндрахъ, и, слѣд., въ увеличеніи средняго давленія пара въ послѣднихъ. Температура пара, приводящаго въ дѣйствіе машины, можетъ доходить до 350°.

Черт. 727.



Черт. 727 изображаетъ перегрѣватель системы Гере, который можетъ быть установленъ какъ горизонтально, такъ и вертикально.

b. Топка паровыхъ котловъ *).

1. Количество горючаго матеріала, сгорающаго въ часъ на 1 qm рѣшетки, въ kg: $\frac{B}{R} = \frac{4680\, m\, v}{L}$;

v скорость воздуха, проходящаго черезъ прозоры рѣшетки, въ секунду: для каменнаго угля = 0,75 до 1,6 m (въ зависимости отъ степени напряженія топки или толщины слоя топлива); при искусственной тягѣ (въ паровозахъ) v доходитъ до 4 m въ секунду.

Употребительныя величины $B : R$ для каменнаго угля приведены въ **таблицѣ на стр. 862 и 863**; величины эти должны быть умножены для кокса на $^2/_3$, для бураго угля на 1,5 до 2,5, для дровъ и торфа на 1,33.

Отношеніе m площади прозоровъ ко всей площади рѣшетки должно быть по возможности больше: обыкновенно:

для каменнаго угля	$m = {}^1/_4$ до $^1/_2$	для кокса	$m = {}^1/_3$ до $^1/_2$
бураго угля	$m = {}^1/_5$ „ $^1/_3$	для дровъ и торфа . .	$m = {}^1/_7$ „ $^1/_5$.

2. Высота рѣшетки надъ поломъ котельнаго помѣщенія отъ 700 до 750 mm; разстояніе рѣшетки отъ поверхности котла не менѣе 350 mm, обыкновенно отъ 500 до 600 mm. Колосники см. ниже.

Спереди топочное пространство ограничивается порогомъ. Разстояніе верхняго края порога отъ поверхности котла не менѣе 250 mm; порогъ долженъ быть нормаленъ къ поверхности рѣшетки.

*) Данныя для нефтяныхъ остатковъ см. стр. 865 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

c. Дымоходы.

Кирпичные дымоходы должны удовлетворять: 1) условію хорошаго и продолжительнаго соприкасанія продуктовъ горѣнія съ поверхностью нагрѣва котла и 2) условію легкой ихъ очистки и удобнаго осмотра стѣнокъ котла.

Выполненіе условія 1) достигается задѣлываніемъ въ кладку особыхъ оконъ на разстояніяхъ 1,5 до 2 m, которыя производятъ нажатіе горячихъ газовъ къ стѣнкамъ котла, или направленіемъ движенія газовъ вокругъ котла по кривымъ (змѣеобразнымъ) линіямъ, черт. 731, 732 и 733.

Скорость продуктовъ горѣнія въ дымоходахъ при естественной тягѣ не должна быть выше 6 m, а лучше 3 до 4 m въ сек.; одинаковая скорость на всемъ пути движенія газовъ необязательна.

Вообще, при устройствѣ 3 дымоходовъ и при напряженіи рѣшетки $B:R = 60$ до 120 kg угля въ часъ на 1 qm, поперечное сѣченіе послѣдняго дымохода $= 0{,}25\,R$, перваго—1,5 до 1,75 и второго—1,25 до 1,5 сѣченія послѣдняго дымохода. Отступленіе отъ этихъ размѣровъ въ сторону уменьшенія допускается въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ на небольшой длинѣ дымохода устроено суженіе его сѣченія, составляющее $^1/_8\,R$ до $^1/_{10}\,R$, напр. у пороговъ, равно и въ дымогарныхъ (жаровыхъ) трубахъ малаго діаметра. Вышеприведенные размѣры должны быть, напротивъ того, увеличены въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ происходитъ измѣненіе направленія движенія горячихъ газовъ.

Если $B:R$ количество угля (въ kg), сжигаемое въ часъ на 1 qm площади рѣшетки (стр. 864),

G объемъ продуктовъ горѣнія, образующихся при сгораніи 1 kg топлива соотвѣтственно температурѣ (см. стр. 323) въ cbm,

a отношеніе сѣченія дымохода ко всей площади рѣшетки,

то скорость v_g горючихъ газовъ въ дымоходахъ:

$$v_g = \frac{B}{R}\,\frac{G}{3600\,a} \text{ метр. въ секунду.}$$

d. Отопленіе котловъ нефтяными остатками.

Отопленіе паровыхъ котловъ нефтяными остатками производится посредствомъ пульверизаторовъ, такъ назыв. **форсунокъ**, которыя имѣютъ цѣлью раздѣлить струю нефти на мельчайшія частицы. Измельченіе производится форсункою посредствомъ пара, который берется изъ того же котла — по возможности изъ сухопарника или при помощи сжатаго воздуха. Существенное различіе между различными типами форсунокъ заключается въ способѣ пульверизаціи нефти.

Въ зависимости отъ этого, всѣ виды употребляемыхъ форсунокъ могутъ быть приведены къ тремъ типамъ:

1. Нефть выходитъ изъ кольцевого отверстія, внутри котораго проходитъ паръ, цилиндрической струей (**типъ Уригардта**).

НТБ ДНУЗТ

2. Нефтъ выходитъ цилиндрическою струей и распыливается паромъ, выходящимъ изъ кольцевого отверстія (**типъ В. Г. Шухова**).

3. Паръ выходитъ изъ двухъ параллельныхъ щелей, между которыми расположена щель для нефти (**типъ В. И. Береснева**).

Болѣе или менѣе совершенное сгораніе нефти зависитъ менѣе отъ типа форсунки, а главнымъ образомъ отъ способа ея установки и устройства кирпичной кладки въ топкѣ.

1. Типъ Уркгардта. Форсунки этой системы имѣютъ постоянное отверстіе для выхода пара и нефти, а количество того и другого регулируется для нефти выдвижнымъ конусомъ, измѣняющимъ по желанію сѣченіе кольцевого прохода для нефти, а для пара—особымъ паровпускнымъ клапаномъ. Расходъ пара на пульверизацію $2^1/_2$ до $5^0/_0$ отъ вѣса сжигаемой нефти. На черт. 728a показанъ типъ устройства кирпичной кладки въ котлахъ локомобильнаго типа.

Въ котлахъ съ жаровыми трубами часто не дѣлаютъ свода, а внутренняя поверхность трубы выкладывается огнеупорнымъ кирпичемъ у самыхъ стѣнокъ трубы; причемъ этой кирпичной трубѣ полезно придавать конусъ, соотвѣтственно формѣ нефтяной струи.

2. Форсунки **типа В. Г. Шухова** изготовляются пяти размѣровъ, въ зависимости отъ діаметра цилиндрическаго отверстія для прохода нефти. А именно, при помощи форсунки:

діам. отв.	для	нефти	$^1/_8''$	испаряется	въ	часъ	500	фунтовъ	воды
„	„	„	$^1/_4''$	„	„	„	1500	„	„
„	„	„	$^3/_8''$	„	„	„	2500	„	„
„	„	„	$^1/_2''$	„	„	„	3500	„	„
„	„	„	$^5/_8''$	„	„	„	5000	„	„

Способы установки форсунокъ этой системы и устройства кирпичной кладки для водотрубныхъ котловъ: черт. 728b для 430 кв. фут. поверхности нагрѣва, черт. 728c — 892 кв. фут. поверхности нагрѣва. (Болѣе густой штриховкой показанъ англійскій или боровичскій кирпичъ).

Размѣры топки для котла поверхностью нагрѣва 430 кв. фут.—1 форсунка. Ширина топки внутри (въ свѣту) $22^1/_4''$, длина внутри (въ свѣту) 7′6″. Толщина внутреннихъ стѣнокъ 5″, слой воздуха кругомъ 2″, толщина наружней стѣнки 15″ (черт. 728b). Воздухъ входитъ снизу и съ боковъ и проходитъ въ тонкія щели во многихъ мѣстахъ; ширина щелей около $^1/_2''$, высота ихъ $2^1/_2''$.

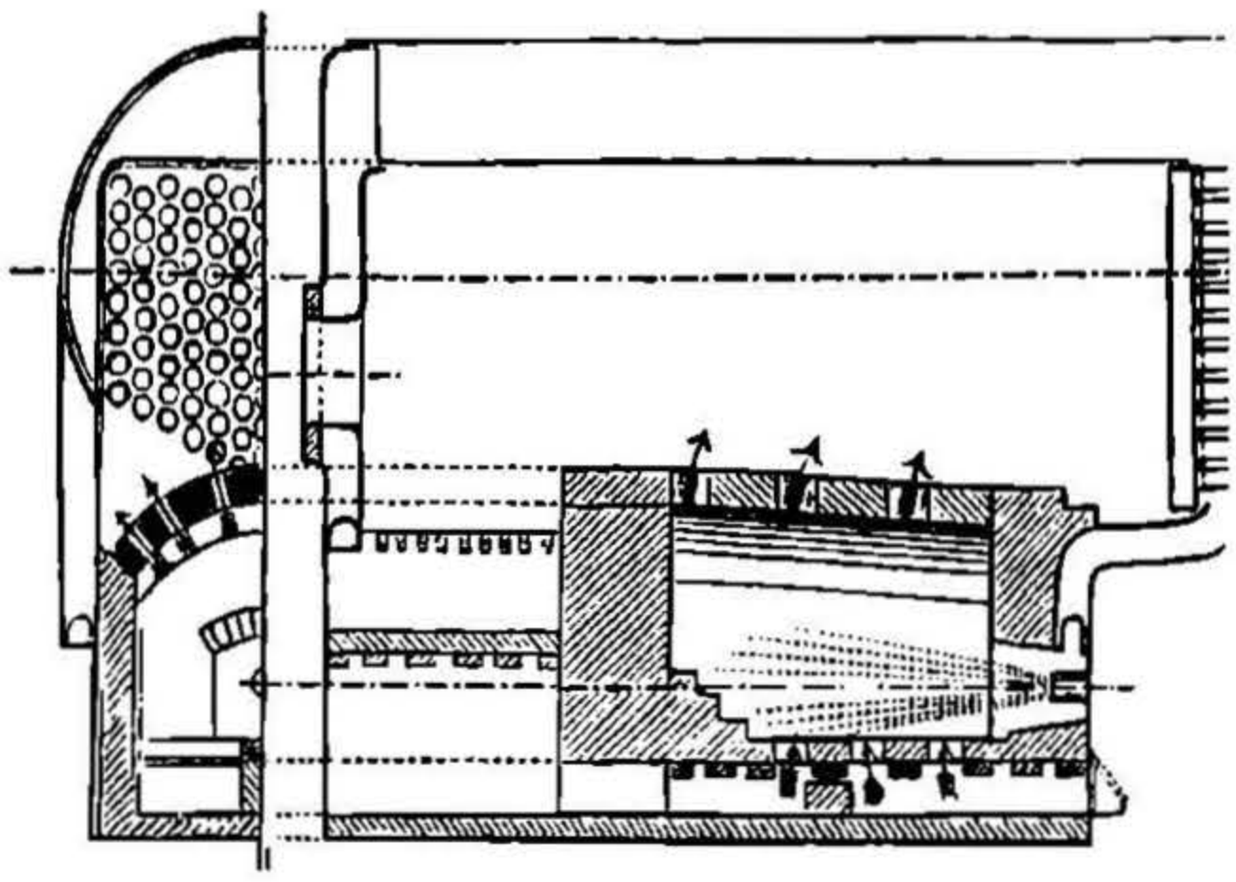
Размѣры для котла поверхностью нагрѣва 892 кв. фута съ 2 форсунками. Ширина топки $48^1/_4''$, длина внутри 8′5″, толщина стѣнокъ 5″, слой воздуха 3″, толщина наружней стѣнки 15″.

3. Въ **форсункахъ В. И. Береснева** имѣются три горизонтальныхъ щелй, расположенныя одна надъ другой; паръ выходитъ изъ двухъ щелей сверху и снизу нефтяной струи (выходящей изъ средней щели). Струи этого пара, пересѣкаясь, распыливаютъ и разбра-

НТБ ДНУЗТ

сываютъ нефть какъ въ ширину, такъ вверхъ и внизъ, раскидывая ее равномѣрно по всему объему топки. При такомъ способѣ распыливанія горячіе газы уже на разстояніи 5—6 фут. отъ форсунки имѣютъ скорость не большую той, которая получается отъ тяги дымовой трубы.

Черт. 728[a].



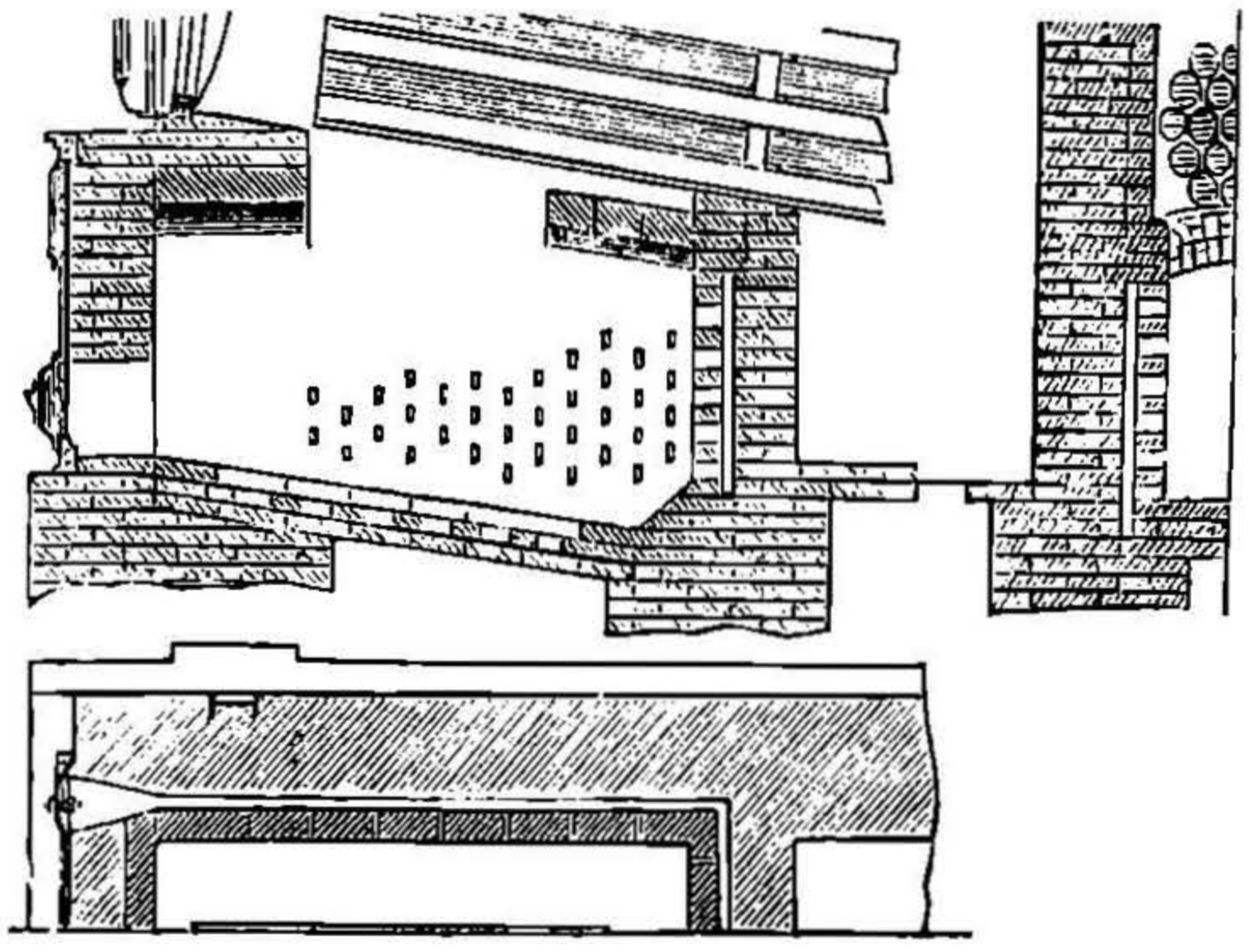
Форсунки этого типа изготовляются для расхода нефти 3, 6 и 12 пуд. въ часъ.

Расходъ пара на пульверизацію составляетъ $^1/_2$ фунта на 1 фунтъ нефти; хорошая пульверизація достигается при давленіи пара отъ 1 до 3 атмосферъ *).

Устройство сводика. На разстояніи 5 до 8 фут. отъ форсунки, считая по длинѣ топки, внутри топки устраивается горка, а надъ нею сводикъ, и такимъ образомъ уменьшается поперечное сѣченіе топки. Цѣль уменьшенія сѣченія топки придать продуктамъ горѣнія наибольшую скорость, которую можно достичь при существующей естественной тягѣ въ дымовой трубѣ. Сводикъ надъ

Черт. 728[b].

Масштабъ 1 : 72.



*) По Бересневу. Руководство при устройствѣ нефтеотопленія паровыхъ котловъ.

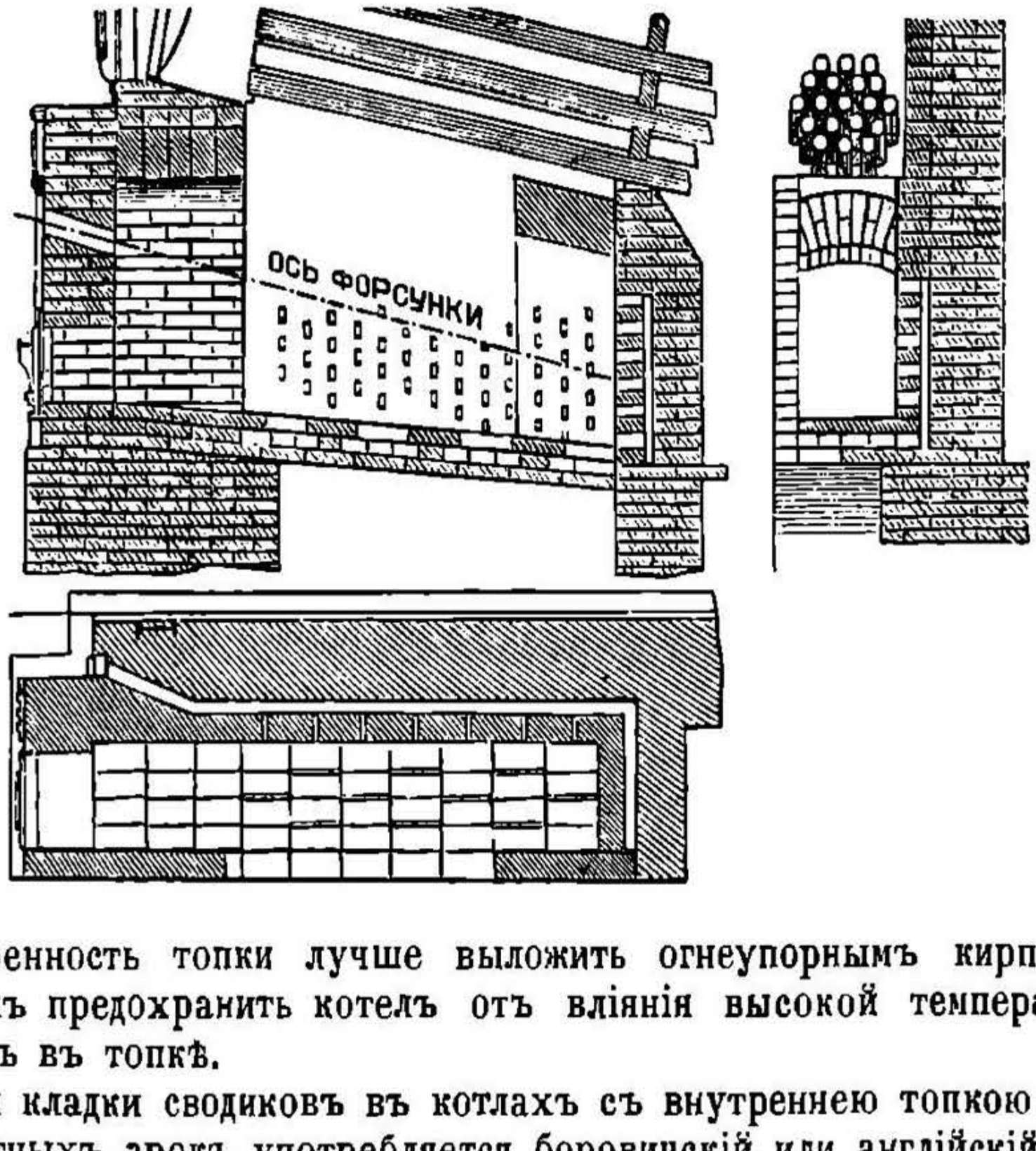
НТБ ДНУЗТ

горкой дѣлается съ забутовкой верхней его части вплоть до котла такъ, чтобы продукты горѣнія могли проходить изъ топки въ дымоходъ лишь черезъ окно подъ сводикомъ. Сводикъ весьма пологій, при пролетѣ $4^1/_2$ фута стрѣла свода 7′ Устройствомъ сводика достигается: 1) удаленіе горючихъ газовъ отъ стѣнокъ котла, отчего стѣнки эти не такъ сильно накаливаются, 2) лишній воздухъ, попавшій въ топку, не уходитъ безполезно въ дымоходъ, а, поворачиваясь подъ сводикомъ, улучшаетъ горѣніе. Желательно, чтобы сводикъ закрывалъ шовъ котла; если этого нельзя сдѣлать даже при нѣкоторомъ удлиненіи сводика, то для защиты шва выводится отдѣльная арка; послѣдняя можетъ быть устроена безъ забутовки.

У котловъ съ внутреннею топкою, обыкновенно весьма тѣсною, сводикъ устанавливается въ случаѣ крайности, т.-е. когда надъ горкою, или вблизи ея, приходится шовъ; тогда сводикъ дѣлается по возможности легкимъ, не болѣе $^1/_2$ кирпича (т.-е. $4^1/_2''$), а горку соотвѣтственно понижаютъ. Если же внутренняя топка имѣетъ площадь большую, нежели указано въ таблицѣ (стр. 871), то всю

Черт. 728с.

Масштабъ 1 : 72.



внутренность топки лучше выложить огнеупорнымъ кирпичемъ и тѣмъ предохранить котелъ отъ вліянія высокой температуры газовъ въ топкѣ.

Для кладки сводиковъ въ котлахъ съ внутреннею топкою и для защитныхъ арокъ употребляется боровичскій или англійскій кирпичъ; во всѣхъ другихъ случаяхъ употребляется простой бѣлый кирпичъ.

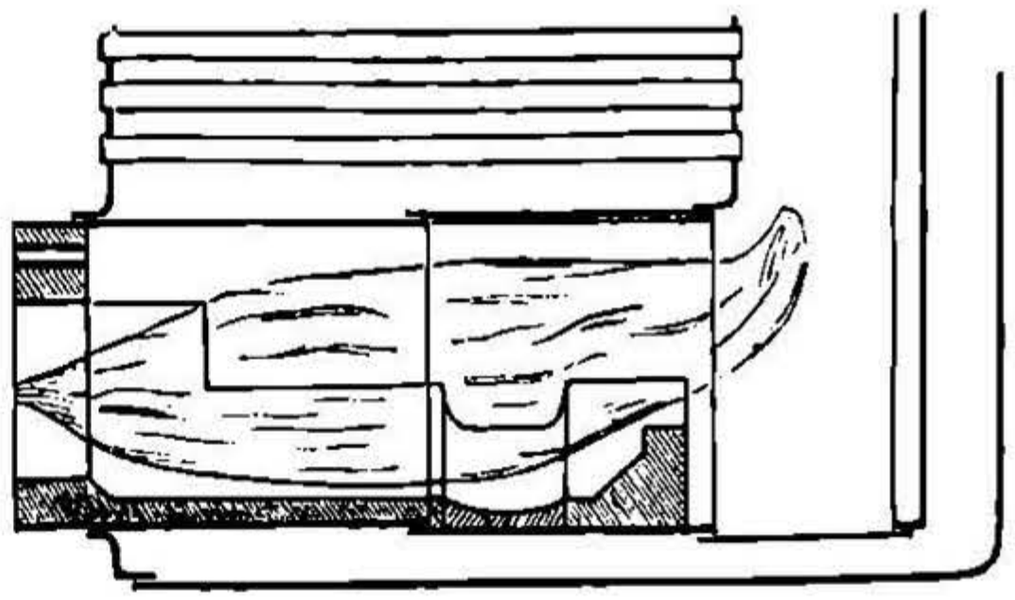
НТБ ДНУЗТ

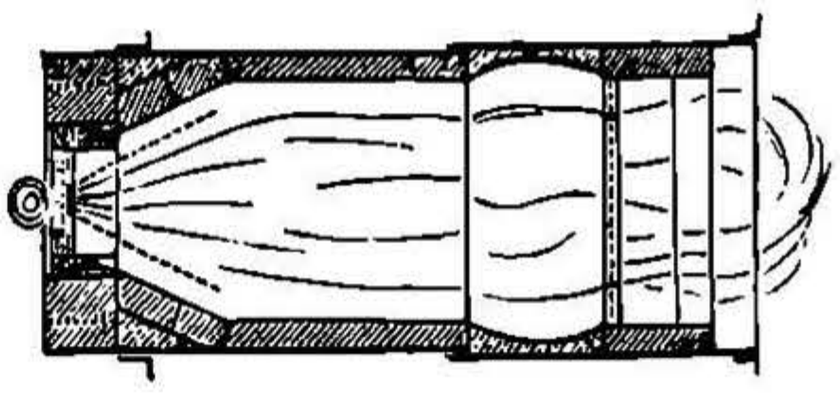
Ширину топки слѣдуетъ дѣлать не менѣе указанной въ таблицѣ наименьшей. Наименьшими размѣрами слѣдуетъ пользоваться лишь въ крайнихъ случаяхъ, когда нѣтъ возможности увеличить размѣръ.

Площадь поперечнаго сѣченія топки въ кв. футахъ тамъ, гдѣ она сужена (между сводикомъ и горкой), слѣдуетъ назначать по наибольшимъ размѣрамъ, и затѣмъ, если окажется, что при пробномъ отопленіи, при наибольшемъ расходѣ нефти въ часъ, температура въ топкѣ меньше краснаго каленія, то убавить площадь, приподнявъ горку наложеніемъ на нее одного или нѣсколькихъ рядовъ кирпичей.

Черт. 728d.

Масштабъ 1 : 72.

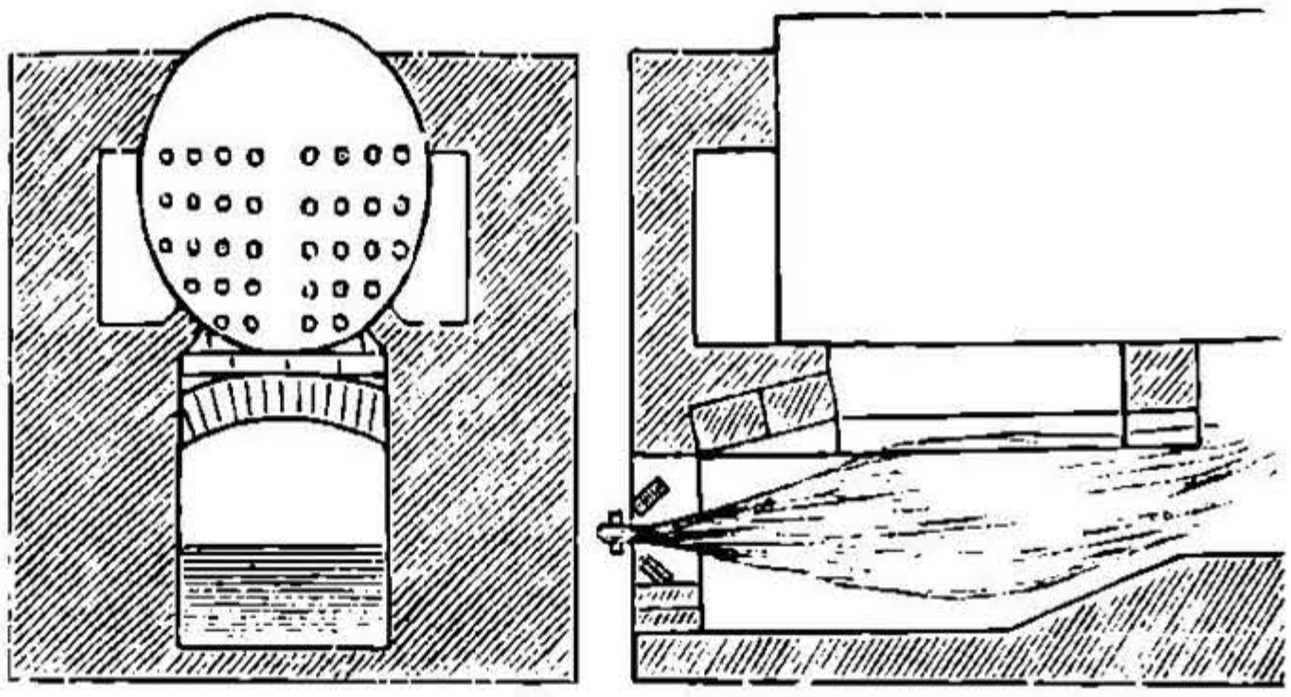




Черт. 728c.

Масштабъ 1 : 72.

На черт. 728d показано устройство топки для пароходнаго котла, на черт. 728e — для обыкновеннаго цилиндрическаго котла, а на черт. 728f — для котла съ жаровой трубой.



Размѣры отверстій для прохода воздуха, необходимаго для горѣнія, опредѣляются по количеству нефти, которое должно сгорать къ котлѣ въ 1 часъ. Количество воздуха, необходимое для сгоранія, см. ниже.

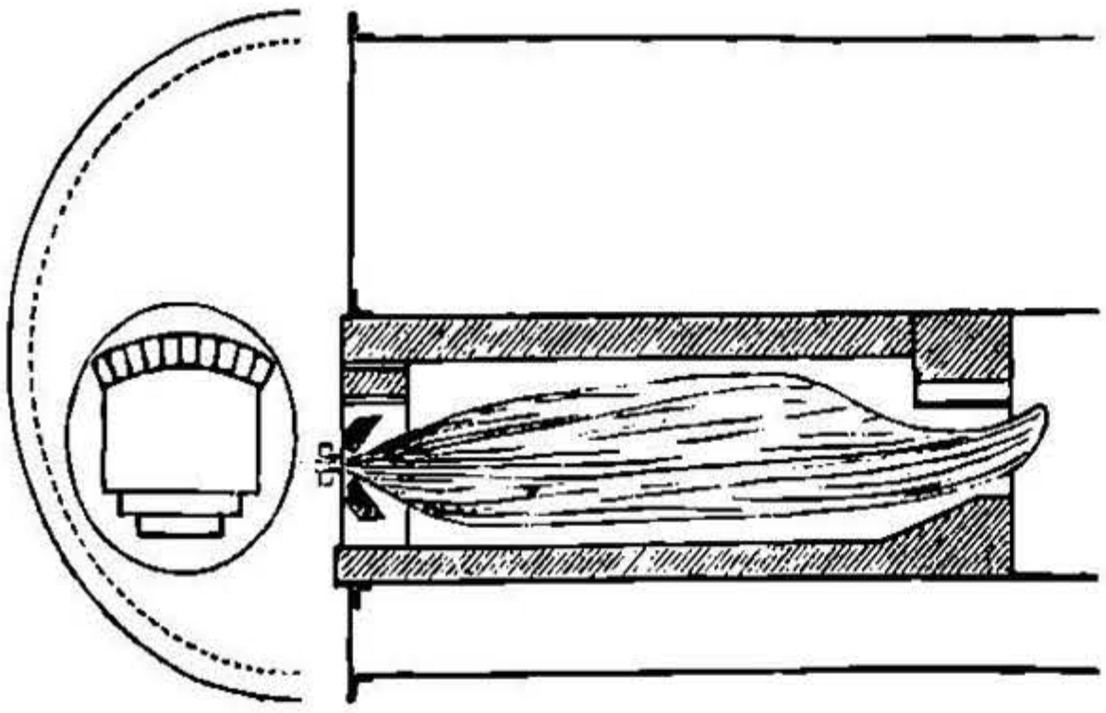
При проектированіи топокъ для нефтяного отопленія необходимо обращать вниманіе на то, чтобы съ легкостью можно было весьма точно регулировать притокъ воздуха въ топку, смотря по необходимости, для чего отверстія въ поддувалахъ имѣютъ крышки съ установительными механизмами. Очень часто поддувала не дѣлаются, а въ топочныхъ дверцахъ устраивается подвижной щитъ съ радіальными или параллельными щелями, въ которыя

НТБ ДНУЗТ

проходитъ наружній воздухъ. Величина открытія щелей регулируется до тѣхъ поръ, пока сгораніе нефти будетъ почти бездымное.

Черт. 728[f].

Масштабъ 1



Нефть подходитъ къ форсункѣ подъ нѣкоторымъ напоромъ 1,5 до 1,75 m. Труба, подводящая нефть къ форсункѣ, имѣетъ діаметръ 20 до 32 mm, а проводящая паръ для пульверизаціи нефти 9 mm. Передъ поступленіемъ въ форсунку нефть обязательно должна быть пропущена сквозь мелкую сѣтку, гдѣ она тщательно очищается отъ примѣсей. Между очистительной сѣткой и форсункой въ нефтепроводной трубкѣ помѣщается кранъ.

Нагрѣваніе нефти до поступленія ея въ форсунку весьма раціонально, достигается при помощи змѣевиковъ красной мѣди паромъ изъ котла. Нагрѣваніе нефти по возможности до 50°C, лучше до 80° C.

Всѣ данныя относительно размѣровъ дымоходовъ, борова и дымовыхъ трубъ, приведенныя для каменноугольнаго отопленія, могутъ также служить и для нефтяного отопленія.

Паропроизводительность. При опредѣленіи паропроизводительности нефтяныхъ остатковъ (уд. вѣса 0,916 до 0,926) можно принимать, что:

при теми. питающ. воды 1° C 1 kg нефт. остат. испар. 12,8 kg воды
„ „ „ „ 60° C 1 kg „ „ „ 13,6 kg „
„ „ „ „ 100° C 1 kg „ „ „ 14,75 kg „

Въ среднемъ, при обыкновенной температурѣ питающей воды 13° до 15° C, можно принимать, что 1 kg нефтяныхъ остатковъ испаряетъ 12,5 kg воды. По опытамъ на Московско-Казанской дорогѣ (Вмазка топки, см. II часть, одиннадцатый отд. Паровозы), 1 kg нефтяныхъ остатковъ въ паровозномъ котлѣ испаряетъ до 12,8 kg воды, температурой 14° — 15° C, при условіи испаренія воды съ одного квадратнаго метра поверхности нагрѣва 16 до 18 kg въ часъ *).

Для сжиганія 1 фунта нефтяныхъ остатковъ требуется (теоретически) 178,6 куб. фута воздуха или 16 фунтовъ воздуха. Дѣйствительный расходъ равенъ $1^1/_2$ теоретическаго.

---

*) Болѣе подробно о нефти и ея свойствахъ см. II часть, тринадцатый отдѣлъ, топливо.

НТБ ДНУЗТ

Таблица размѣровъ отверстій въ форсункѣ и размѣровъ топки по В. И. Бересневу.

При сгораніи нефти въ 1 часъ, въ пудахъ.	Нефтяное отверстіе.				Паровыя отверстія.	Отверстія для входа воздуха				Ширина топки въ футахъ		Разстояніе отъ дна котла до центра форсунки, въ дюймахъ.	Наивыгоднѣйшее разстояніе сводика и горки отъ форсунки по длинѣ топки, въ футахъ.	Высота сводика отъ котла до замка, въ дюймахъ.	Площадь поперечнаго сѣченія топки по сводику		Разстояніе отъ дна котла до пода топки.	Выпариваетъ въ 1 часъ воды, темпер. 0°.	Необходимая поверхность нагрѣва.
	Ширина въ дюймахъ		Высота въ миллиметр.			до													
	отъ	до	отъ	до		Высота.	Ширина.	Высота.	Ширина.	отъ	до				отъ	до			
пуд.	д.	д.	м/м.	м/м.	Длина паровой щели на $\frac{1}{8}$ д. болѣе длины нефтяной. Высота паровой щели около $\frac{1}{4}$ высоты нефтяной.	д.	д.	д.	д.	ф.	ф.	д.	ф.	д.	кв. ф.	ко. ф.	д.	пуд.	кв. ф.
2	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	1		2	6	2	8	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	26	5	$7\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	33	24	210
4	$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{8}$		3	8	$3\frac{1}{4}$	10	$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	31	$6\frac{1}{2}$	12	4	$4\frac{3}{4}$	40	48	420
6	$1\frac{1}{2}$	2	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{4}$		$3\frac{1}{2}$	10	4	12	$3\frac{1}{4}$	4	34	$7\frac{1}{2}$	14	6	7	45	72	630
8	2	$2\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$		4	12	4	15	4	$4\frac{3}{4}$	37	8	$15\frac{1}{2}$	8	9	49	96	840
10	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$		4	15	$4\frac{1}{2}$	18	$4\frac{3}{4}$	$5\frac{1}{2}$	39	$8\frac{1}{4}$	17	10	11	52	120	1050
12	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$		$4\frac{1}{2}$	17	$4\frac{1}{2}$	20	$5\frac{1}{4}$	6	40	$8\frac{1}{2}$	18	12	13	54	144	1260
14	$1\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$		4	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	168	1470
16	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$		4	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	192	1680
18	$1\frac{5}{8}$	$1\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$		$4\frac{1}{4}$	12	—		—	—	—	—	—	—	—	—	216	1890

При сгораніи въ 1 часъ: 10, 12, 14, 16 и 18 пуд. слѣдуетъ дѣлать въ форсункѣ по два нефтяныхъ отверстія, каждое размѣрами, показанными въ таблицѣ.

НТБ ДНУЗТ

e. Дымовыя трубы.

1. Пусть:

O площадь верхняго отверстія (въ свѣту) дымовой трубы въ qm,

d внутренній діаметръ (или сторона квадрата) верхняго сѣченія трубы; при восьмигранной трубѣ діаметръ вписаннаго круга въ m,

h высота трубы надъ колосниковой рѣшеткой въ m,

R общая площадь рѣшетки въ qm,

B количество горючаго матеріала, сгорающаго въ часъ въ kg; тогда, по Рейхе *), при сооруженіяхъ, гдѣ ожидается расширеніе производства примѣрно на $30^0/_0$:

$$d = 0{,}1\left(\frac{B}{R}\cdot R\right)^{0{,}4} = 0{,}1\,B^{0{,}4} \quad \text{и} \quad h = 0{,}00277\left(\frac{B}{R}\right)^2 + 6\,d.$$

Давленіе, подъ вліяніемъ котораго въ такихъ трубахъ воздухъ стремится пройти черезъ прозоры рѣшетки, выраженное въ mm водяного столба, равно:

$$h_\delta = (h - 6\,d)\,\frac{1000}{2{,}93}\left(\frac{1}{273 + T_0} - \frac{1}{273 + T_1}\right),$$

гдѣ T_0 средняя температура наружняго воздуха ($\sim 14^0$), T_1 средняя температура газовъ въ дымовой трубѣ ($\sim 300^0$).

Температура T_1, при которой уходящіе газы дымовой трубы даютъ наиболѣе выгодное дѣйствіе на колосниковую рѣшетку, равна $T_1 = 273 + 2\,T_0$.

Размѣры дымовыхъ трубъ по вышеприведеннымъ формуламъ (отопленіе каменнымъ углемъ).

	Для $B : R =$	40	60	80	100
При:	$h_\delta =$ mm вод. столба	2,6	5,9	10,5	16,4
$R = 1$	высота трубы / діаметръ верхняго отверстія $= \frac{h}{d} =$	16	26	37	50
$R = 4$		12	17	24	34
$R = 20$		9	12	16	19
$R = 1$	площадь колосн. рѣшетки / сѣченіе верхняго отверстія $= \frac{R}{O} =$	6,7	4,8	3,8	3,2
$R = 4$		8,8	6,3	5,0	4,2
$R = 20$		12,1	9,4	7,0	5,8

Для **приблизительныхъ разсчетовъ** принимается $h = 25\,d$ (если $R \leqq 15$ qm), причемъ d опредѣляется по слѣдующей таблицѣ:

Топливо:	Каменный уголь.				Бурый уголь.			
$B : R =$	40	60	80	100	100	200	300	450
$R : O =$	6	5	4	4	7	6	5	4

Для случая отопленія каменнымъ углемъ, при температурѣ $\sim 250^0$ газовъ, выходящихъ изъ дымовой трубы со скоростью 3 до 4 m въ сек., d можетъ быть также опредѣлено приблизительно по:

$$d = 0{,}06\sqrt{B} \quad \text{и} \quad h = 25\,d \text{ до } 30\,d.$$

*) Подробнѣе см. H. Reiche, Anlage und Betrieb der Dampfkessel, 3 изд.

НТБ ДНУЗТ

Для отопленія каменнымъ углемъ имѣемъ также въ среднемъ:

$$h = \left(\frac{7B}{40+B}\right)^2 \quad \text{и} \quad O = \frac{B}{60\sqrt{h}} = \frac{R}{\sqrt{h}}.$$

Наименьшая высота дымовой трубы = 16 m.

Если для нѣсколькихъ котловъ устраивается общая дымовая труба, то верхнее сѣченіе (въ свѣту) этой трубы должно быть равно суммѣ сѣченій трубъ, необходимыхъ для каждаго отдѣльнаго котла; высота ея равна наибольшей изъ полученныхъ отдѣльныхъ высотъ. Діаметръ въ свѣту верхняго сѣченія трубы, строящейся изнутри безъ лѣсовъ, долженъ быть, по крайней мѣрѣ, 0,6 m.

2. Въ каменныхъ дымовыхъ трубахъ внутренній діаметръ нижняго сѣченія (въ свѣту):

$$d_1 = d + 0{,}016\,h \quad \text{до} \quad d + 0{,}02\,h.$$

Если при этомъ не могутъ быть соблюдены условія устойчивости, то слѣдуетъ соотвѣтственно увеличить d_1, оставляя ту же толщину стѣнокъ.

Толщина стѣнокъ вверху трубы = 12,5 cm при $d < 1$ m, 15 cm при $d = 1$ до 1,5 m, 20 cm при $d = 1{,}5$ m и 25 cm при $d > 2$ m.

Толщина стѣнокъ увеличивается книзу, а именно: въ круглыхъ дымовыхъ трубахъ изъ лекальнаго кирпича—для каждыхъ 5 m на 5 cm или на каждые 6 m — 6,5 cm.

Для трубъ изъ обыкновенныхъ нормальныхъ кирпичей ($6^в \times 3^в \times 1^1/_2{}^в$) принимаютъ высоту уступовъ 5 до 8 m, съ увеличеніемъ толщины стѣнокъ въ каждомъ уступѣ на $^1/_2$ кирпича.

Наилучшимъ матеріаломъ для дымовыхъ трубъ служатъ лекальные, мало пористые кирпичи, толщиною 9 cm, со сквозными отверстіями. Растворъ: 1 объемъ портл. цемента, 5 до 6 объемовъ песка и 1 объемъ извести. Растворъ, входящій въ отверстія кирпичей, образуетъ родъ шиповъ, скрѣпляющихъ между собой отдѣльные кирпичи, и устраняетъ возможность появленія трещинъ. Число швовъ на $^1/_3$ меньше, чѣмъ при кладкѣ изъ нормальныхъ кирпичей. Примѣсь портландскаго цемента въ нижней части меньше (въ виду болѣе высокой температуры), въ верхней части эта примѣсь больше.

Если D и D_1 (въ m) наружніе діаметры вверху и внизу трубы и h_s (въ m) высота трубы, то:

$$\frac{D_1 - D}{h_s} = \frac{1}{33} \text{ до } \frac{1}{20}\left(\text{обыкновенно } \frac{1}{25}\right),$$

причемъ, однако, для большихъ h_s наименьшая величина $D_1 = {}^1/_{15}\,h_s$ до ${}^1/_{13}\,h_s$.

Форма поперечнаго сѣченія. При кругломъ поперечномъ сѣченіи трубы давленіе вѣтра на нее наименьшее, вращательное движеніе газовъ происходитъ безпрепятственно и, вслѣдствіе наименьшаго периметра, количество матеріала наименьшее; но для такихъ трубъ нуженъ кирпичъ различныхъ моделей. Восьмиугольное

НТБ ДНУЗТ

сѣченіе весьма близко подходитъ къ круглому, причемъ трубы съ такимъ сѣченіемъ могутъ быть выстроены при меньшемъ числѣ различныхъ родовъ кирпича. Четыреугольное сѣченіе вообще не рекомендуется.

Вверху трубы снабжаются легкою капителью, надъ которою выводится цилиндрическая гладкая часть высотою въ 0,5 m, которая перекрывается наклонно песчаникомъ, чугунной плитой или свинцовыми листами. Труба должна быть снабжена громоотводомъ, съ которымъ соединяются также находящіяся вблизи металлическія кровли, паровые котлы и т. д.

Цилиндрическая часть **трубы** опускается ниже основанія борова на 0,6 до 0,8 m. Для удаленія золы служитъ отверстіе въ цоколѣ, противъ борова, легко закладываемое кирпичемъ, или же вмѣсто такого отверстія устраивается рядомъ съ трубой шахта, въ которую легко опуститься, чтобы попасть въ трубу. Шахта закрывается люкомъ, имѣющимъ плотный запоръ. На внутренней цилиндрической поверхности трубы по всей ея высотѣ, на разстояніяхъ черезъ 3—5 рядовъ кирпича, задѣлываются желѣзныя скобы (круглаго желѣза 20 mm), при помощи которыхъ легко подняться на верхъ трубы.

Высокія трубы большого діаметра исполняются также, для экономіи въ матеріалѣ, съ двойными стѣнками и, притомъ, такъ, что между внутренней и наружней стѣнкой получается кольцевое пространство, прерываемое черезъ каждые 50 до 80 cm соединеніемъ обѣихъ стѣнокъ. Это кольцевое пространство, наполненное воздухомъ, уменьшаетъ потерю теплоты и, слѣд., увеличиваетъ силу тяги трубы.

Если въ трубу входятъ нѣсколько каналовъ (бороовъ), то послѣдніе раздѣляются перегородками такъ, чтобы соединяющіеся въ трубѣ газы имѣли одно общее направленіе.

Цоколь, квадратный или восьмиугольный, дѣлается по возможности ниже; въ большинствѣ случаевъ для высоты цоколя подходящій размѣръ $^1/_6\,h$ до $^1/_5\,h$. Ширина цоколя снаружи $= D_1 + 0{,}5$ m до $D_1 + 1{,}0$ m. Отсюда можно получить толщину стѣнки цоколя, зная внутренній діаметръ d_1.

Изнутри цоколь выкладывается огнеупорнымъ кирпичемъ, или же цилиндръ огнеупорнаго кирпича выкладывается отдѣльно отъ цоколя, такъ что между нимъ и цоколемъ остается воздушный слой, толщиною приблизительно въ 5 cm; цилиндръ, который кладется на глинѣ, можетъ такимъ образомъ удлиняться или сжиматься, независимо отъ кладки цоколя. Кольцевое пространство сверху перекрывается.

Ширина, глубина и прочіе размѣры обыкновенно квадратнаго (въ планѣ) **фундамента** получаются по статическому разсчету устойчивости трубы, примѣняясь къ мѣстнымъ условіямъ грунта; подробнѣе см. ч. II, десятый отдѣлъ. Высота уступовъ фундамента

НТБ ДНУЗТ

1 до 1,5 m, ширина уступа $^1/_2$ кирпича, въ случаѣ бутовой кладки—15 cm, такъ что въ вертикальномъ сѣченіи трубы линія, касающаяся граней уступовъ, составляетъ съ горизонталью уголъ приблизительно въ 76^0 (уклонъ 1 : 4). Толщина стѣнокъ кладки у основанія цилиндрической части дымовой трубы 1 до 1,5 m.

При плохомъ грунтѣ подъ каменной кладкой слой бетона 0,75 до 1,25 m или же свайное основаніе.

Выпрямленіе наклонившейся трубы достигается забиваніемъ клиньевъ въ швѣ трубы съ той стороны, куда труба наклонилась; одновременно съ противоположной стороны прониливаются глубокія борозды въ кладкѣ. Послѣ выпрямленія швы задѣлываются на цементномъ растворѣ.

Статическій разсчетъ дымовыхъ трубъ *) производится на сжатіе (отъ собственнаго вѣса) и на изгибъ (отъ давленія вѣтра) для нѣсколькихъ сѣченій по высотѣ трубы, послѣ того какъ труба предварительно спроектирована по предыдущимъ даннымъ. Рекомендуется прежде всего повѣрить площадь основанія и нижнее сѣченіе собственно трубы; затѣмъ легко опредѣлить, необходимо ли провѣрять дальнѣйшія сѣченія трубы. Относительно величины давленія вѣтра, приложеннаго въ центрѣ тяжести найденной площади (трапеціи) см. стр. 307 и 308, особенно 4-ю выноску стр. 307.

Повѣрка прочности производится опредѣленіемъ растягивающихъ усилій и наибольшаго сжимающаго усилія въ ребрахъ (послѣднее должно быть меньше допускаемаго напряженія k на сжатіе для каменной кладки, см. стр. 343), при этомъ каменная кладка не должна передавать растягивающихъ усилій. Провѣрку дымовой трубы только на опрокидываніе ни въ какомъ случаѣ нельзя признать достаточною.

Если P_1 (въ kg) давленіе вѣтра, приложенное въ центрѣ тяжести вертикальнаго трапецевиднаго сѣченія части трубы на высотѣ x надъ разсматриваемымъ сѣченіемъ, P (въ kg) собственный вѣсъ части трубы, лежащей надъ разсматриваемымъ сѣченіемъ, то моментъ $P_1 x$ перемѣщаетъ точку приложенія S осевой силы P (см. черт. 250, стр. 410) по направленію вѣтра къ A такъ, что:

$$A S = p = \frac{P_1 x}{P} \text{ въ cm (см. стр. 401).}$$

Если r наружній и r_1 внутренній діаметръ кольцевого сѣченія въ cm, $F = \pi (r^2 - r_1^2)$ площадь сѣченія въ qcm, то среднее напряженіе отъ сжатія $\sigma = P : F$ въ kg/qcm. Наибольшее давленіе въ ребрахъ σ_{max} (въ kg/qcm) получается посредствомъ приведенныхъ въ нижеслѣдующей таблицѣ значеній $\sigma_{max} : \sigma$, опредѣленныхъ для ряда отношеній $p : r$ и $r_1 : r$ въ предположеніи, что каменная кладка трубы не можетъ передавать растягивающихъ усилій. (Графическое опредѣленіе σ_{max}, по Мору, см. стр. 409).

---

*) См. G. Lang, Anleitung zum Entwerfen und zur statischen Berechnung gemauerter Schornsteine, Hannover, 1898. Кромѣ того, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, стр. 1125; 1897, стр. 292; 1898, стр. 180.

НТБ ДНУЗТ

Значенія $\sigma_{max} : \sigma$ *).

$\frac{p}{r}$	$\frac{r_1}{r} =$ 0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	$\frac{p}{r}$
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
0,05	1,20	1,16	1,15	1,13	1,12	1,11	1,10	0,05
0,10	1,40	1,32	1,29	1,27	1,24	1,22	1,20	0,10
0,15	1,60	1,48	1,44	1,40	1,37	1,33	1,30	0,15
0,20	1,80	1,64	1,59	1,54	1,49	1 44	1,40	0,20
0,25	2,00	1,80	1,73	1,67	1,61	1,55	1,50	0,25
0,30	2,23	1,96	1,88	1,81	1,73	1,66	1,60	0,30
0,35	2,48	2,12	2,04	1,94	1,85	1,77	1,70	0,35
0,40	2,76	2,29	2,20	2,07	1,98	1,88	1,80	0,40
0,45	3,11	2,51	2,39	2,23	2,10	1,99	1,90	0,45
0,50	3,55	2,80	2,61	2,42	2,26	2,10	2,00	0,50
0,55	4,15	3,14	2,89	2,67	2,42	2,26	2,17	0,55
0,60	4,96	3,58	3,24	2,92	2,64	2,42	2,26	0,60
0,65	6,00	4,34	3,80	3,30	2,92	2,64	2,42	0,65
0,70	7,48	5,40	4,65	3,86	3,33	2,95	2,64	0,70
0,75	9,93	7,26	5,97	4,81	3,93	3,33	2,89	0,75
0,80	13,87	10,05	8,80	6,53	4,93	3,96	3,27	0,80
0,85	21,08	15,55	13,32	10,43	7,16	4,50	3,77	0,85
0,90	38,25	30,80	25,80	19,85	14,60	7,13	4,71	0,90
0,95	96,10	72,20	62,20	50,20	34,60	19,80	6,72	0,95
1,00	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,00

Если при опредѣленіи P_1 по стр. 308 (3. и 4.) принять давленіе вѣтра p=125 kg на 1 qm плоской, нормальной къ направленію вѣтра, поверхности, то напряженій на растяженіе не слѣдуетъ вычислять; они должны являться въ качествѣ дальнѣйшаго фактора безопасности при необыкновенныхъ, превышающихъ предыдущее значеніе, ударахъ вѣтра (по постановленію Королевской Прусской Строительной Академіи отъ 17 апрѣля 1899 г.).

Если давленіе вѣтра p принимается больше 125 kg/qm, то въ частяхъ трубы, построенной на известковомъ растворѣ, не должны появляться напряженія отъ растяженія; для кладки изъ лучшаго кирпича на медленно схватывающемъ цементномъ растворѣ можно допустить, по Лангу, въ зависимости отъ содержанія цемента, напряженіе на растяженіе до 1,5 kg/qcm, для кладки изъ лучшаго клинкера на цементномъ растворѣ до 2,5 kg/qcm. Давленіе въ ребрахъ ни въ какомъ случаѣ не должно превышать величины $\sigma_{max} = 5 + 0{,}15\, h_1$ (въ kg/qcm), гдѣ h_1 (въ m) разстояніе разсматриваемаго сѣченія отъ верха.

Допускаемая нагрузка на грунтъ для растительной земли = 0,75 до 1,5 kg/qcm, при этомъ наибольшее давленіе въ ребрахъ у фундамента = 2,5 до 5 kg/qcm.

3. Постоянныя желѣзныя трубы строятся при плохомъ строительномъ грунтѣ, ограниченномъ времени для постройки или при временныхъ постройкахъ; онѣ составляются изъ коническихъ звеньевъ. Верхнее звено надѣвается на нижнее. Толщина трубы вверху отъ 3 до 5 mm и внизу отъ 6 до 8 mm, въ зависимости отъ діаметра и высоты. Діаметръ трубы какъ вверху, такъ и внизу, одинаковый, или же $d_1 = d + 0{,}01\, h$ въ m; при этомъ, вслѣдствіе болѣе сильнаго охлажденія, слѣдуетъ выбирать d въ $^4/_3$ раза больше, чѣмъ въ случаѣ каменной трубы.

Устойчивость трубы достигается посредствомъ натяжныхъ цѣпей.

---

*) По J. Goebel, Standfestigkeit eines Schornsteines, Z. d. V. d. Ing. 1898. Стр. 180 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

Чугунная фундаментная плита трубы соединяется съ цоколемъ въ углахъ анкерными болтами, а съ трубою — посредствомъ кольца углового желѣза и болтовъ.

Наружнюю окраску (смола или сурикъ) трубы слѣдуетъ возобновлять, по крайней мѣрѣ, черезъ каждые 2 года. Для этой цѣли, а также для исправленія трубы, можетъ служить канатный или цѣпной блокъ, укрѣпляемый на верху трубы.

4. Дымовыя трубы локомобилей. Діаметръ ихъ = 1 до 1,5 діаметра парового цилиндра; высота = 6 до 7 діам. трубы.

5. Дымовыя трубы паровозовъ см. паровозы, II ч., одиннадцатый отдѣлъ.

f. Объемъ для воды, пара и для питанія котла.

1. Объемъ для воды долженъ быть по возможности больше у безпрерывно дѣйствующихъ котловъ, а также и въ тѣхъ случаяхъ, когда въ теченіе короткаго времени котелъ долженъ давать значительное количество пара; объемъ воды долженъ быть по возможности меньше въ тѣхъ случаяхъ, когда предполагаются частые и продолжительные перерывы въ работѣ или когда требуемое давленіе пара должно быть достигнуто по возможности въ короткое время.

2. Объемъ для пара имѣетъ цѣлью отдѣлять паръ отъ механически увлеченной воды, и поэтому объемъ этотъ долженъ быть по возможности больше въ тѣхъ случаяхъ, когда паръ изъ котла часто берется въ значительно увеличенномъ количествѣ.

На количество воды, увлекаемой паромъ, вліяетъ также и величина поверхности воды въ котлѣ (испаряющая поверхность или зеркало испаренія). Въ цилиндрическихъ котлахъ, котлахъ съ жаровыми трубами и при соединенныхъ цилиндрическихъ котлахъ съ 1 qm поверхности воды испаряется въ часъ отъ 40 до 100 kg пара, содержащаго отъ 3 до 6% воды при нормальной работѣ котла. Большая паропроизводительность 1 qm испаряющей поверхности воды вліяетъ на увеличеніе процентнаго содержанія воды въ парѣ, и потому котелъ долженъ быть снабженъ водоотдѣлителемъ или перегрѣвателемъ пара.

Паровой колпакъ (сухопарникъ) устраивается съ тѣмъ, чтобы паръ уходилъ изъ наиболѣе высокаго мѣста котла; колпакъ одновременно служитъ для помѣщенія предохранительнаго клапана.

Паръ проводится въ машину не непосредственно изъ колпака, а равномѣрно изъ всего парового пространства котла (за исключеніемъ передней трети), черезъ паропроводную трубу, помѣщенную близъ наивысшей производящей котла и укрѣпленную къ котлу изнутри; труба эта снабжена продолговатыми или круглыми отверстіями, равномѣрно расположенными по всему протяженію, за исключеніемъ передней трети. Поперечное сѣченіе паропроводной трубы, какъ и сумма площадей всѣхъ отверстій въ

НТБ ДНУЗТ

ней и прорѣзовъ = двойной площади отверстія паровпускного клапана.

3. Употребительнѣйшія отношенія размѣровъ парового и водяного пространствъ.

1. **Котелъ съ наружней топкой** (одинъ или нѣсколько цилиндрическихъ котловъ).

Діаметръ =	800	900	1000	1100	1200	1300 mm
Высота парового пространства	270	300	330	360	390	420 mm
Площадь попер. сѣч. пар. пространства	0,15	0,187	0,228	0,272	0,321	0,375 qm
Площадь попер. сѣч. вод. пространства .	0,3527	0,45	0,5576	0,678	0,81	0,953 qm
Ширина испаряющей верхней поверхности воды	755	845	940	1035	1125	1210 mm
Кирпичная кладка дымоходовъ надъ серединой котла	30	50	70	90	110	130 mm

2. **Котелъ съ внутренней топкой** (цилиндрическіе котлы съ двумя жаровыми трубами).

Діаметръ котла / Діаметръ жаровыхъ трубъ =	1600 / 600	1700 / 600	1800 / 650	1900 / 700	2000 / 750	2100 / 750	2200 / 800	2300 mm / 850 mm
Высота парового пространства .	420	460	475	505	535	590	620	650 mm
Площ. попер. сѣч. парового пространства	0,423	0,5	0,54	0,602	0,678	0,799	0,876	0,966 qm
Площ. попер. сѣч. водяного пространства	1,022	1,2	1,34	1,464	1,58	1,781	1,92	2,054 qm
Вертикальное разстояніе между осями котла и жаров. трубъ .	80	90	100	115	130	145	160	175 mm
Наинизшее положеніе уровня воды надъ жаровой трубой . . .	160	180	200	210	220	230	240	250 mm
Ширина испарляющей поверхности воды . .	1400	1500	1585	1700	1760	1885	2000	2075 mm

3. **Котелъ съ одной жаровой трубой** (за исключеніемъ котловъ съ волнистыми трубами).

Діаметръ котла / Діаметръ жаровыхъ трубъ =	1400 / 700	1500 / 750	1600 / 800	1700 / 850	1800 mm / 900 mm
Высота парового пространства	340	365	390	415	440 mm
Площадь попер. сѣч. пар. пространства .	0,2875	0,335	0,378	0,43	0,482 qm
Площадь попер. сѣч. вод. пространства . .	0,867	0,99	1,13	1,272	1,427 qm
Вертикальное разстояніе между осями котла и жаровой трубы	140	150	160	170	180 mm
Наинизшее положеніе уровня воды надъ жаровой трубой	150	160	170	180	190 mm
Ширина испаряющей поверхности воды	1215	1275	1385	1460	1550 mm

НТБ ДНУЗТ

4. Нормальные котлы съ боковыми жаровыми трубами волнистаго желѣза.

Діаметръ котла = / Діаметръ жаровыхъ трубъ	1600 / 800 : 900	1800 / 950 : 1050	2000 / 1100 : 1200	2200 / 1250 : 1350	mm / mm
Высота парового пространства .	330	330	360	425	mm
Площадь попер. сѣч. парового пространства	0,300	0,360	0,440	0,570	qm
Площадь попер. сѣч. водяного пространства	1,150	1,340	1,660	1,910	qm
Ширина испаряющ. поверхности воды	1300	1395	1535	1740	mm
Поверхность нагрѣва на 1 пог. m длины котла . . .	5,720	6,660	7,200	8,500	mm

4. Питательный объемъ = объему, заключенному между допускаемыми наивысшимъ и наинизшимъ уровнями воды въ котлѣ; объемъ долженъ быть значителенъ при перемѣнномъ расходѣ пара, въ особенности при значительномъ водяномъ пространствѣ, съ тѣмъ, чтобы утилизировать всѣ выгоды послѣдняго.

5. Вѣсъ парового котла опредѣляется довольно точно, если къ вѣсу, вычисленному по размѣрамъ котла, прибавить 20 до 25% на перекрышки листовъ, угловое желѣзо, головки заклепокъ и т. д. Вѣсъ опорныхъ подушекъ опредѣляется отдѣльно.

g. Правила для кочегаровъ *).

1. Передъ разведеніемъ огня слѣдуетъ тщательно очистить колосниковую рѣшетку и поддувало (зольникъ).

2. Уголь слѣдуетъ расколоть посредствомъ молотка на куски величиною въ куриное яйцо и не смачивать его.

3. При разведеніи огня должно насыпать уголь на заднюю часть колосниковой рѣшетки, на передней же ея части—разложить дрова.

4. Какъ только загорятся дрова, надо закрыть дверку и дать углю спокойно разгорѣться.

5. Когда весь уголь воспламенится, слѣдуетъ расположить раскаленные куски угля по колосниковой рѣшеткѣ и насыпать тонкій слой свѣжаго каменнаго угля надъ всѣмъ огнемъ, или же весь горячій уголь отодвинуть назадъ по рѣшеткѣ, а переднюю часть рѣшетки заполнить свѣжимъ углемъ.

6. При зажиганіи, шурованіи и выгребаніи шлаковъ слѣдуетъ открывать и закрывать дверку по возможности быстро, для того, чтобы не слишкомъ много холоднаго воздуха врывалось въ топку; по той же причинѣ, при шурованіи и выгребаніи шлаковъ, дымовая заслонка должна быть почти совсѣмъ закрыта.

7. Подкладывать топливо слѣдуетъ черезъ короткіе промежутки и небольшими массами; если котелъ достаточно великъ, то слѣдуетъ каждыя 10 минутъ подкладывать свѣжее топливо.

8. Если пламя уменьшается, то не слѣдуетъ открывать дверцу, разъ паръ не требуется. Въ каждой топочной дверцѣ должно быть отверстіе для наблюденія за огнемъ.

9. Должно своевременно удалять съ колосниковъ шлаки, равнымъ образомъ и золу изъ зольника; если этого не дѣлать, то не только увеличивается расходъ угля, но и портятся колосники, которые сгораютъ. Спекшійся уголь слѣдуетъ размельчать въ топкѣ помощью рѣзака.

10. Топка должна всегда содержаться въ хорошемъ состояніи; ибо въ случаѣ, если прогорятъ кирпичныя стѣнки, покоробятся или расплавятся колосники, расходуется очень много угля.

---

*) По Минсену.

НТБ ДНУЗТ

11. Дымовую трубу парового котла слѣдуетъ своевременно чистить, какъ печныя трубы, чтобы изъ нея не вылетали куски сажи.

12. Самымъ лучшимъ средствомъ достичь бездымнаго горѣнія довѣрить топку старательному, трезвому кочегару.

Исполненія приведенныхъ правилъ для отопленія легче всего достичь, если установить извѣстную премію за экономію въ углѣ.

B. Главнѣйшія системы котловъ.

Пусть:

F площадь, занимаемая котломъ на 1 qm его поверхности нагрѣва, въ qm,

J_w объемъ воды, на 1 qm повер. нагрѣва
J_d объемъ пара, на 1 qm повер. нагрѣва
} въ литр.

V испаряющая поверхность (зеркало испаренія) воды на 1 qm поверхности нагрѣва, въ qm,

G вѣсъ котла на 1 qm его поверхности нагрѣва (въ kg) (не считая вѣса арматуры).

a. Обыкновенный цилиндрическій котелъ.

1. Горизонтальный (черт. 729, стр. 881).

Наибольшій діаметръ = 1,5 m; наибольшая длина = 10 m. Отношеніе діаметра къ длинѣ = 1 : 6 до 1 : 8. Поверхность нагрѣва = 0,6 до 0,65 всей поверхности цилиндрической части котла.

$F \sim 1{,}25$ qm, $J_w \sim 400$ до 450 литр., $J_d \sim 150$ до 200 литр., $V \sim 0{,}45$ до 0,5 qm, $G = 180$ до 190 kg.

Подвѣшеніе котла болѣе раціонально нежели расположеніе его на опорахъ. Котелъ устанавливается съ уклономъ спереди назадъ.

Вмазка: одинъ гладкій дымоходъ, проходящій по всей длинѣ котла, лучше заставить проходить продукты горѣнія по одной или по двумъ извилистымъ линіямъ (черт. 732 и 733, стр. 883). Устройство одного нижняго дымохода и двухъ боковыхъ возможно только при большомъ діаметрѣ котла.

2. Вертикальный, устанавливаемый преимущественно позади пудлинговыхъ и сварочныхъ печей.

Занимаетъ мало мѣста; поверхность нагрѣва не очень производительна, ибо паръ, образующійся въ котлѣ, подымается, главнымъ образомъ, вдоль поверхности нагрѣва; по той же причинѣ скоро прогораютъ листы, которые поэтому должны быть защищены кладкой изъ огнеупорнаго кирпича противъ мѣста входа газовъ.

Котелъ устанавливается на фундаментѣ посредствомъ круглыхъ (чугунныхъ или желѣзныхъ) опорныхъ плитъ или колецъ.

Вмазка котла: одинъ гладкій дымоходъ, идущій кверху; разстояніе его отъ котла 200 до 250 mm. Кладка должна быть основательно укрѣплена желѣзными кольцами и снабжена большимъ числомъ лазовъ для чистки. Котелъ долженъ быть снабженъ лазами для осмотра и прочистки и спускнымъ краномъ въ нижней цилиндрической его части.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 729.

Обыкновенный цилиндрический котелъ.

Черт. 730.

Разрѣзъ a—b. Разрѣзъ c—d. Разрѣзъ e—f.

Масшт. 1: — 150.

Составной цилиндрический котелъ.

881
НТБ
ДНУЗТ

b. Составной цилиндрическій котелъ.

(2 или нѣсколько цилиндровъ, расположенныхъ одинъ надъ другимъ).

1. Колосниковая рѣшетка подъ верхнимъ котломъ (черт. 731).

Величина.	Съ однимъ нижнимъ котломъ.	Съ 2-мя нижними котлами.	2 верхнихъ котла и 2 нижнихъ котла.
F =	0,525 до 0,575	0,5	0,4 до 0,45 qm
J_w =	275 „ 325	275 до 325	290 „ 325 литр.
J_d =	75 „ 100	65 „ 75	80 „ 100 литр.
V =	0,225 „ 0,25	0,2	0,22 0,23 qm
G =	130 „ 150	120 до 140	125 „ 145 kg.

Отдѣльные цилиндры соединяются между собой посредствомъ патрубковъ, діаметромъ не меньше 350 до 400 mm.

Число патрубковъ: а) одинъ нижній котелъ. Одинъ патрубокъ только при очень короткихъ нижнихъ котлахъ (длиною до 3 m), лучше дѣлать 2 или 3 (смотря по длинѣ котла) патрубка, съ цѣлью достиженія лучшей циркуляціи воды въ котлѣ.

b) Два нижнихъ котла. Соединеніе одного нижняго котла съ верхнимъ и двухъ нижнихъ между собой посредствомъ горизонтальной трубы (котлы съ обратнымъ токомъ воды) не рекомендуется; лучше соединять каждый изъ нижнихъ котловъ съ верхнимъ посредствомъ 2 или 3 (смотря по длинѣ котла) патрубковъ.

c) Два верхнихъ котла и 2 нижнихъ. Каждый изъ нижнихъ котловъ соединяется съ верхнимъ котломъ 2-мя или 3-мя патрубками, затѣмъ между собой соединяются какъ нижніе котлы (трубой діаметромъ 350 до 400 mm), такъ и паровыя пространства верхнихъ котловъ (послѣднія всего лучше устройствомъ паросушителя).

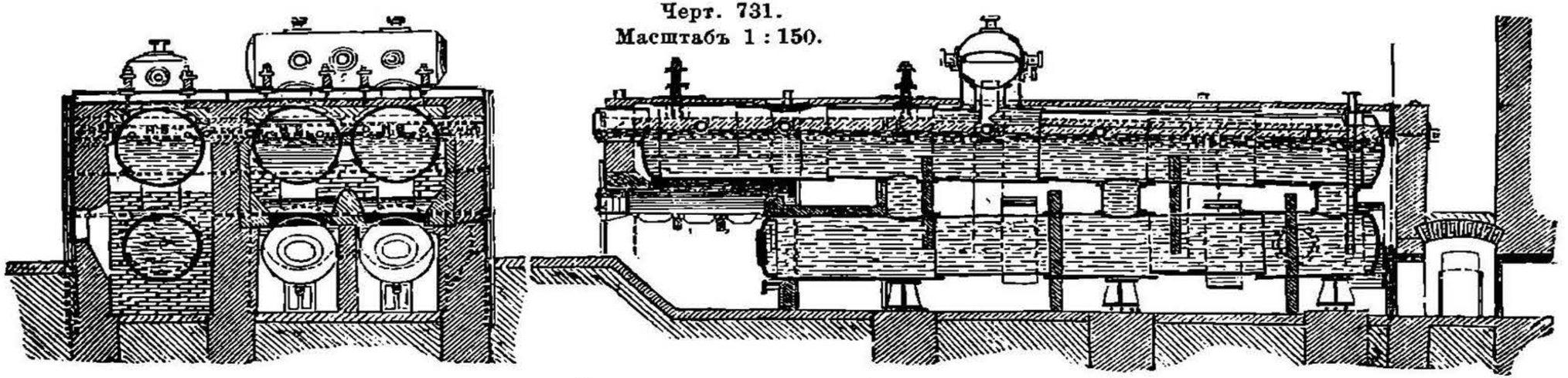
Установка котла производится съ уклономъ назадъ (на 1 m отъ 15 до 20 mm); такой же уклонъ придается нижнему котлу, а, въ случаѣ примѣненія обратнаго тока, уклонъ дѣлается въ противоположномъ направленіи.

Положеніе соединительныхъ трубъ. Наивысшая точка каждаго нижняго котла соединяется съ верхнимъ котломъ, а въ случаѣ котловъ съ обратнымъ токомъ соединяется съ тѣмъ изъ (другихъ) нижнихъ котловъ, у котораго наивысшая точка соединена съ верхнямъ котломъ. Если два патрубка приходятся на одномъ и томъ же звенѣ верхняго котла, то необходимо слѣдить за тѣмъ, чтобы, за вычетомъ вырѣзанныхъ частей, котелъ обладалъ еще достаточною прочностью; оси обоихъ патрубковъ должны быть между собой почти перпендикулярны. Патрубки располагаются на наружнихъ звеньяхъ верхняго и нижняго котловъ.

(Продолженіе см. стр. 884).

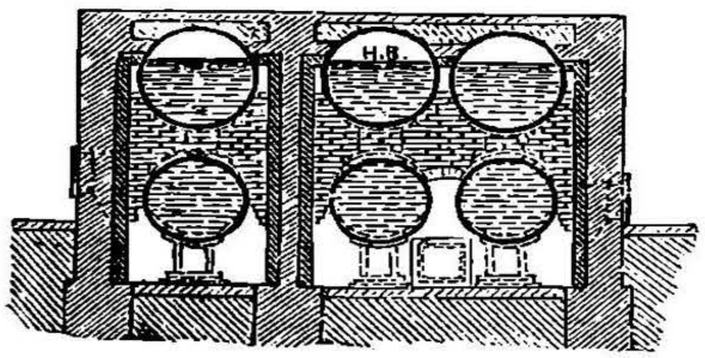
НТБ ДНУЗТ

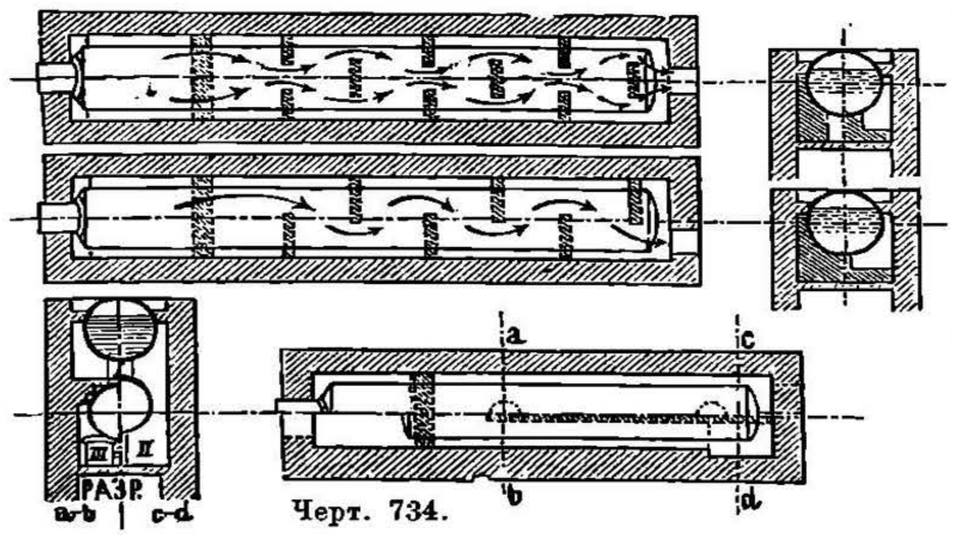
Черт. 731.
Масштабъ 1 : 150.



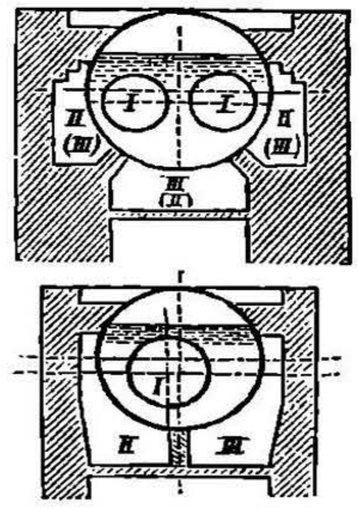
Составные цилиндрическіе котлы.

Черт. 732 и 733.





Черт. 734.



Черт. 735 и 736.

Котлы съ жаровыми трубами.

НТБ ДНУЗТ

Опоры котла (стулья) располагаются подъ патрубками; передняя же часть верхняго котла (слѣд. и нижняго) подвѣшивается при посредствѣ пружинъ.

Вмазка котла: 1) три продольныхъ дымохода (черт. 734, стр. 883); 2) два продольныхъ дымохода; верхній и нижній котелъ изображены на черт. 732 или 733, стр. 883; или 3) по камерной системѣ черт. 731, стр. 883 (уклонъ нижняго котла 20 до 25 mm на 1 m).

Наибольшій **діаметръ** верхняго котла = 1500 mm; наименьшій діаметръ соотвѣтственнаго нижняго котла = 600 mm; питающая котелъ вода проводится въ нижній котелъ.

2. Колосниковая рѣшетка подъ нижними котлами (черт. 730), F, J_w, J_d, V и G—какъ выше въ **1.**, стр. 882.

Верхній котелъ соединяется съ нижнимъ не менѣе, чѣмъ двумя **патрубками**; тѣ и другіе котлы имѣютъ уклонъ назадъ (25 до 30 mm на 1 m). Число патрубковъ и ихъ діаметръ опредѣляется такъ, чтобы площадь поперечныхъ сѣченій всѣхъ патрубковъ, за исключеніемъ патрубка на концѣ верхняго котла, = $^1/_{60}$ до $^1/_{80}$ поверхности нагрѣва соотвѣтственнаго нижняго котла.

Вмазка. Обыкновенно дѣлается 3 продольныхъ дымохода. **Опоры** котла лучше располагать только на заднемъ концѣ соотвѣтственнаго нижняго котла; остальныя части котла подвѣшиваются, причемъ для безопасности надо устанавливать также и поддерживающія подушки. Питается водой верхній котелъ.

c. Котлы съ жаровыми трубами.

1. Внутренняя топка (колосниковая рѣшетка расположена въ жаровой трубѣ).

Величина.	При одной жаровой трубѣ.	При двухъ жаров. трубахъ.
F =	0,5 до 0,6	0,45 до 0,5 qm
J_w =	190 „ 225	180 „ 220 литр.
J_d =	75 „ 90	80 „ 100 литр.
V =	0,25 „ 0,26	0,22 qm
G =	170 „ 200	200 до 220 kg.

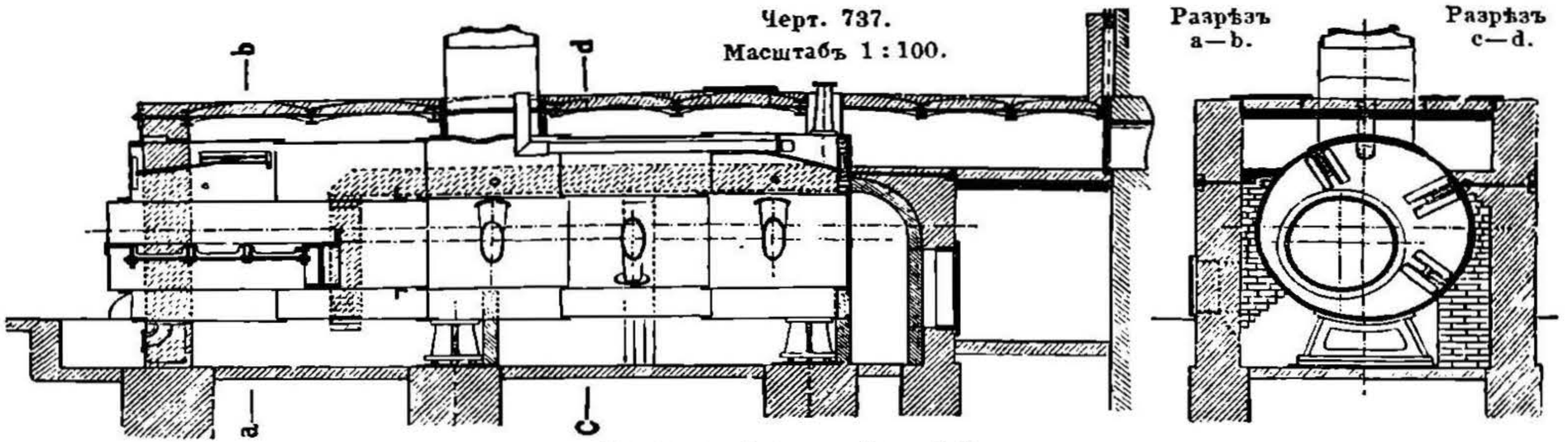
Значенія C служатъ для гладкихъ жаровыхъ трубъ, безъ трубъ Галловея; если имѣются эти трубы, то при одной жаровой трубѣ $G \sim 150$ kg, при двухъ— $G \sim 190$ kg —Для котловъ съ волнистыми боковыми жаровыми трубами (см. стр. 879 и 931) при наибольшемъ діаметрѣ котла $D = 1800$ mm имѣемъ $G \sim 160$ kg, при $D = 2000$ до 2200 mm имѣемъ $G \sim 180$ kg.

Вмазка котла съ одною или двумя жаровыми трубами представлена на черт. 735 и 736 (стр. 883), а также на черт. 737 и 738, (стр. 885). Вмазка по черт. 735 не рекомендуется, такъ какъ нижняя часть цилиндрическаго котла плохо нагрѣвается, лучше

(Продолженіе на стр. 886).

НТБ ДНУЗТ

Черт. 737.
Масштабъ 1 : 100.

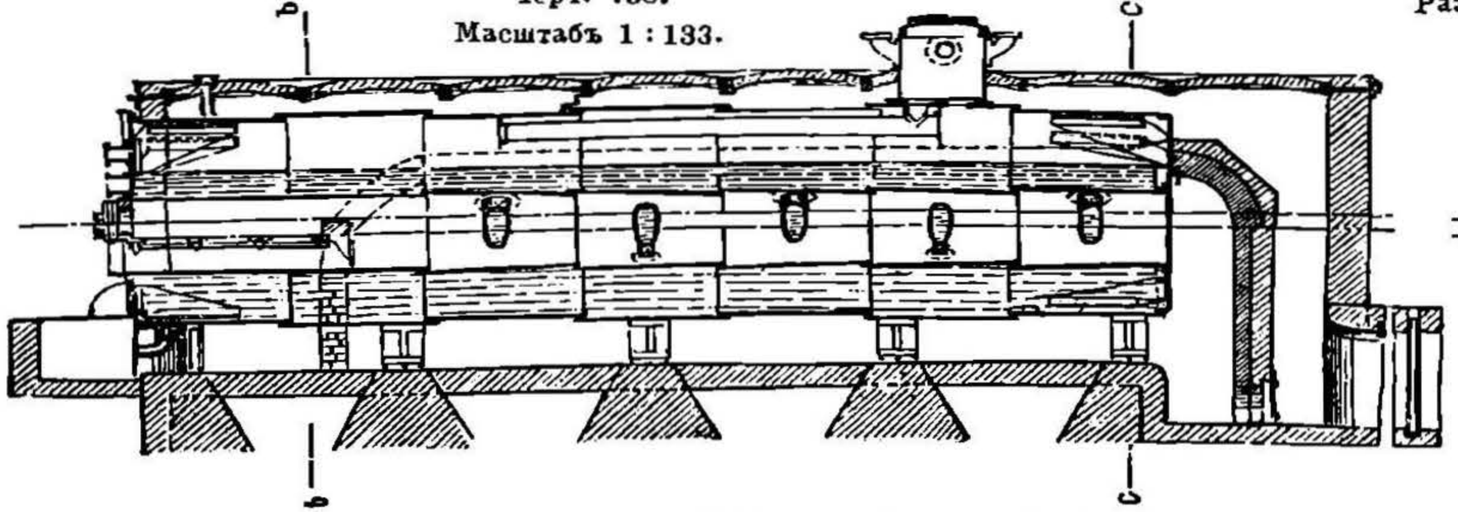


Разрѣзъ a—b.

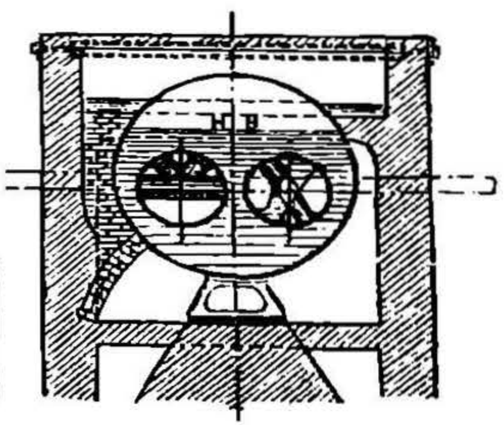
Разрѣзъ c—d.

Котелъ съ 1 жаровой трубой.

Черт. 738.
Масштабъ 1 : 133.



Разрѣзъ b—b.



Разрѣзъ c—c.

Котелъ съ 2-мя жаровыми трубами.

НТБ
ДНУЗТ

направлять продукты горѣнія изъ жаровой трубы въ нижній ходъ III, а затѣмъ уже въ боковые (третій ходъ). Лучшая и употребительнѣйшая вмазка изображена на черт. 736 и 737.

Котелъ устанавливается съ уклономъ напередъ (на 1 m отъ 10 до 15 mm) на опорныхъ подушкахъ, безъ подвѣшенія.

Если D **діаметръ** цилиндрической части котла, d наибольшій діаметръ жаровой трубы, то въ котлахъ съ одной жаровой трубой $d = 0{,}5\ D$, при употребленіи волнистыхъ жаровыхъ трубъ d немного больше; въ котлахъ съ 2-мя жаровыми трубами $d =$ отъ $0{,}5\ D - 250$ до $0{,}5\ D - 300$ mm.

Наибольшій діаметръ гладкихъ жаровыхъ трубъ = 900 mm, а волнистыхъ 1300 до 1400 mm; наименьшій діаметръ гладкихъ жаровыхъ трубъ при одной жаровой трубѣ = 700 mm, при двухъ жаровыхъ трубахъ = 600 mm, а волнистыхъ 750 до 800 mm. Наибольшій діаметръ цилиндрической части обыкновенныхъ котловъ съ одной жаровой трубой = 1800 mm, а при употребленіи волнистыхъ боковыхъ жаровыхъ трубъ = 2400 mm. Въ котлахъ съ одной жаровой трубой предпочтительно укрѣплять жаровую трубу сбоку (боковыя жаровыя трубы). Наибольшій діаметръ котловъ съ 2-мя жаровыми трубами = 2400 mm, наименьшій = 1800 mm. Полезно уменьшать діаметръ жаровыхъ трубъ по направленію отъ топки къ заднему концу на 100 mm, т.-е. до $d - 100$ mm, особенно при 2-хъ жаровыхъ трубахъ. Наименьшее разстояніе между осями жаровыхъ трубъ у топки = отъ $d + 150$ до $d + 200$ mm. Низшій горизонтъ воды въ котлахъ съ одной жаровой трубой долженъ находиться на разстояніи не меньше 150 mm надъ жаровой трубой, а въ котлахъ съ 2-мя жаровыми трубами на разстояніи не меньше 175 mm надъ жаровой трубой у топки.

2. Котлы съ дымогарными трубами (колосниковая рѣшетка помѣщается подъ котломъ).

Значенія F, J_w, J_d, V и G тѣ же, что и въ **1.**

Діаметръ прогарныхъ трубъ можетъ быть меньше діаметра жаровыхъ трубъ, указан. въ **1.** Наименьшее разстояніе прогарной трубы отъ цилиндрической части котла не менѣе 250 mm.

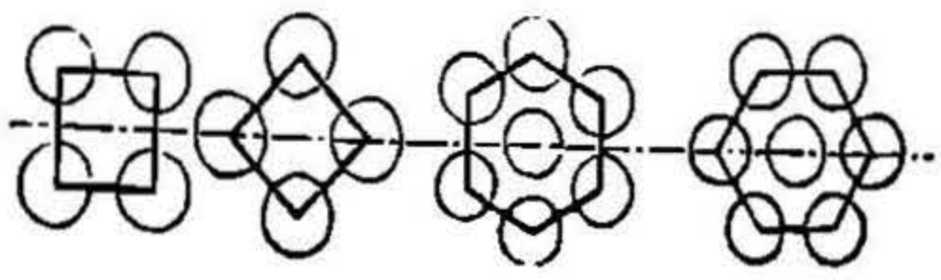
d. Котлы съ прогарными трубами.

$F = 0{,}3$ qm, $J_w = 70$ до 80 литр., $J_d = 40$ до 50 литр., $V = 0{,}075$ до $0{,}1$ qm.

При распредѣленіи прогарныхъ трубъ послѣднія разбиваются на 2 системы (пучки) для удобнаго осмотра и очистки котла. Взаимное относительное расположеніе трубъ должно способствовать легкому поднятію вверхъ образующихся въ котлѣ пузырьковъ пара.

Чертежи:

739. 740. 741. 742.



1. Центры трубъ располагаются въ вершинахъ квадрата, причемъ: а) стороны квадрата располагаются горизонтально и вертикально (черт. 739)

НТБ ДНУЗТ

или b) діагонали квадрата располагаются горизонально и вертикально (черт. 740).

2. Центры трубъ располагаются въ вершинахъ и центрѣ правильнаго шестиугольника:

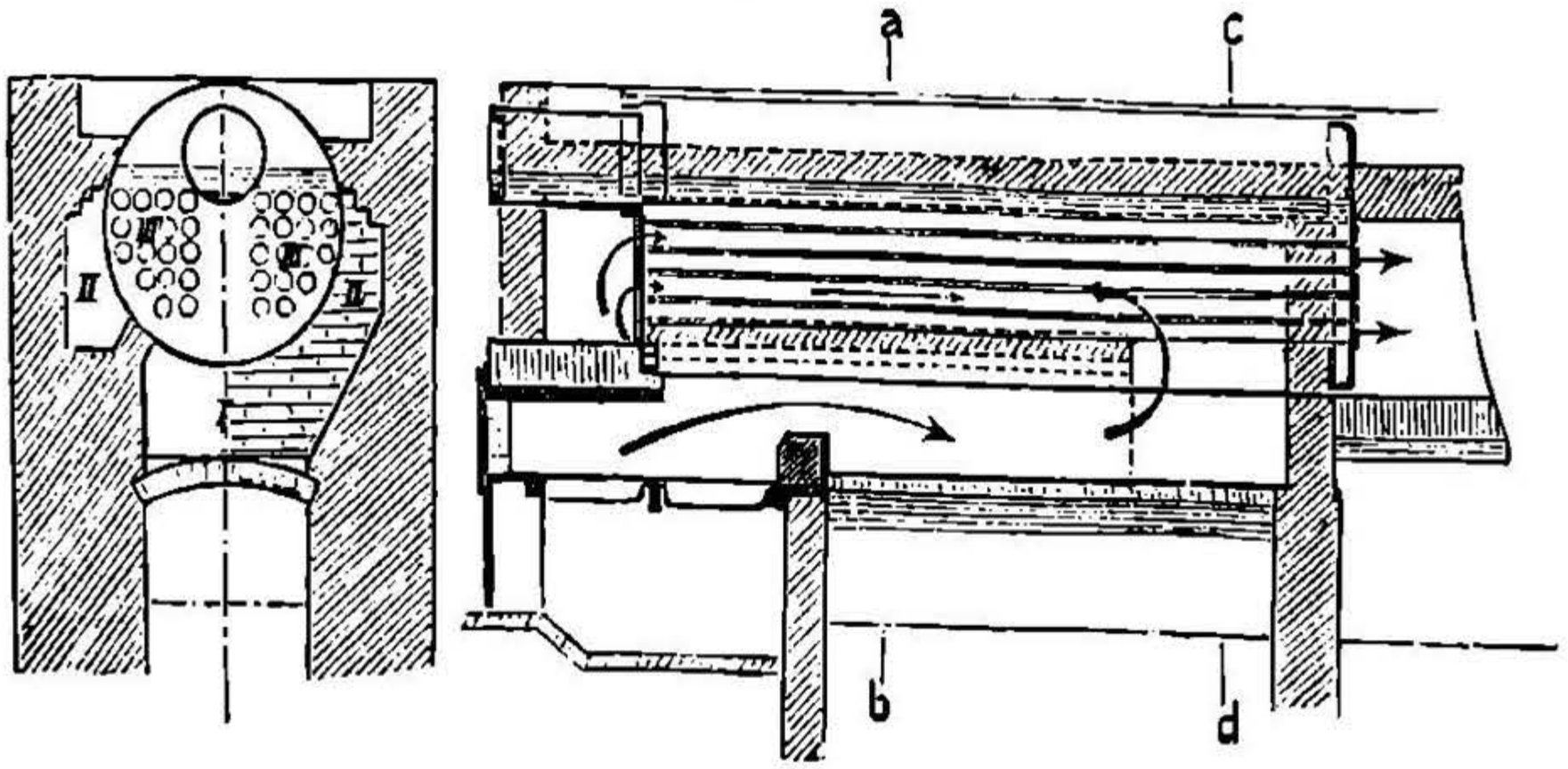
a) двѣ противолежащія стороны шестиугольника расположены вертикально (черт. 741),

или b) двѣ противолежащія стороны шестиугольника расположены горизонтально (черт. 742).

Чаще употребляется расположеніе трубъ по 2 a), при которомъ (черт. 741) пузырьки пара поднимаются всего легче и при которомъ получается наибольшее число трубъ.

Общая площадь сѣченій всѣхъ трубъ $= 1/6$ до $1/8$ общей площади колосниковой рѣшетки.

Черт. 743.



Котелъ съ прогарными трубами.

Отношеніе внутренняго діаметра трубы къ ея длинѣ $= 1\ 20$ до $1\ 40$. Прогарныя трубы большого діаметра употребляются предпочтительно передъ трубами меньшаго діаметра, въ интересахъ лучшей тяги. По Шинцу, трубы небольшого діаметра постояннаго поперечнаго сѣченія, при одинаковой поверхности, лучше проводятъ теплоту, чѣмъ трубы большого діаметра при одинаковой разности температуръ.

Полагая производительность трубы діаметромъ въ 50 mm $= 100$ на единицу поверхности, имѣемъ производительность для трубъ:

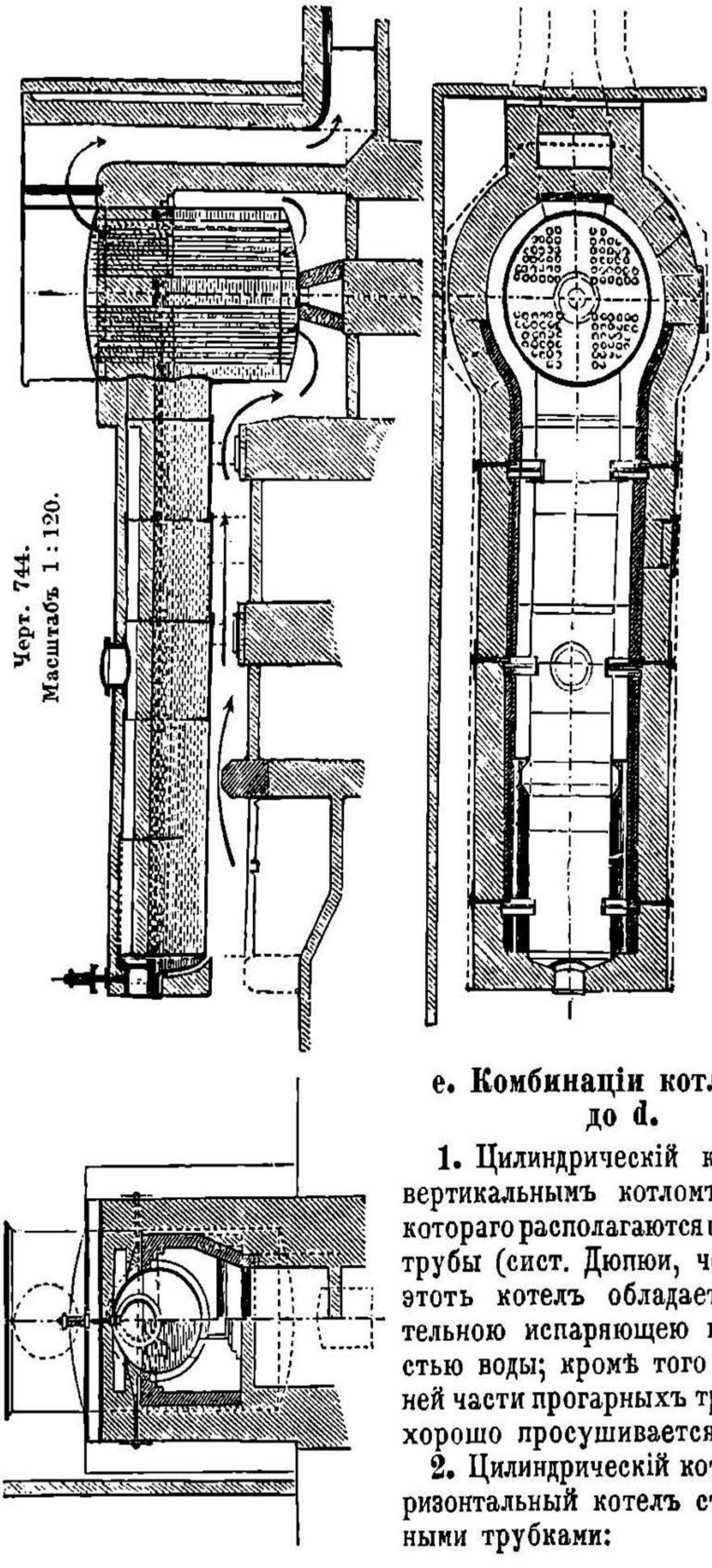
75	100	125	150	225	300 mm діаметромъ,
$= 87$	80	76	72	68	66 на един. поверхности.

Разстояніе между срединами трубъ $= 1{,}25\,d$ до $1{,}5\,d$, гдѣ d — наружній діаметръ трубы.

Вмазка: первый дымоходъ снизу, второй—система прогарныхъ трубъ, а третій, развѣтвляясь на два, идетъ по бокамъ. Это устройство часто составляетъ причину неплотности (разстраиванія) трубъ въ задней рѣшеткѣ, вслѣдствіе высокой температуры, съ которой газы вступаютъ въ трубы; поэтому лучше пропускать продукты горѣнія въ оба боковыхъ хода (которые служатъ вто-

НТБ ДНУЗТ

рымъ ходомъ), а затѣмъ уже въ прогарныя трубы (третій ходъ), какъ на черт. 743 (стр. 887). Подвѣшеніе этихъ котловъ весьма желательно.



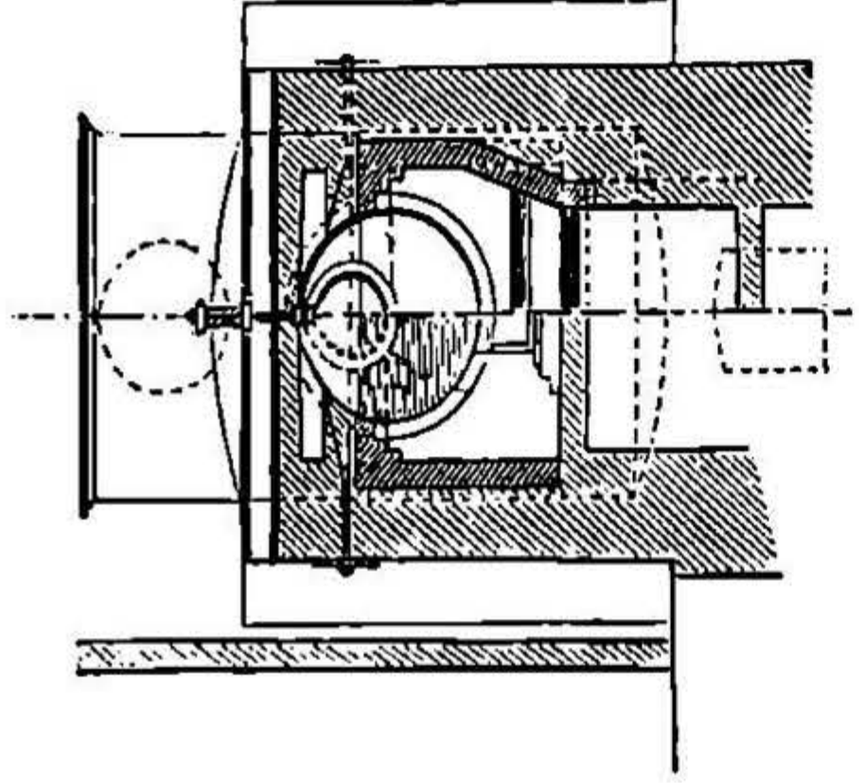
Черт. 744.
Масштабъ 1 : 120.

Котелъ Дюпюи.

e. Комбинаціи котловъ a. до d.

1. Цилиндрическій котелъ съ вертикальнымъ котломъ, внутри котораго располагаются прогарныя трубы (сист. Дюпюи, черт. 744); этотъ котелъ обладаетъ значительною испаряющею поверхностью воды; кромѣ того въ верхней части прогарныхъ трубъ паръ хорошо просушивается.

2. Цилиндрическій котелъ и горизонтальный котелъ съ прогарными трубками:

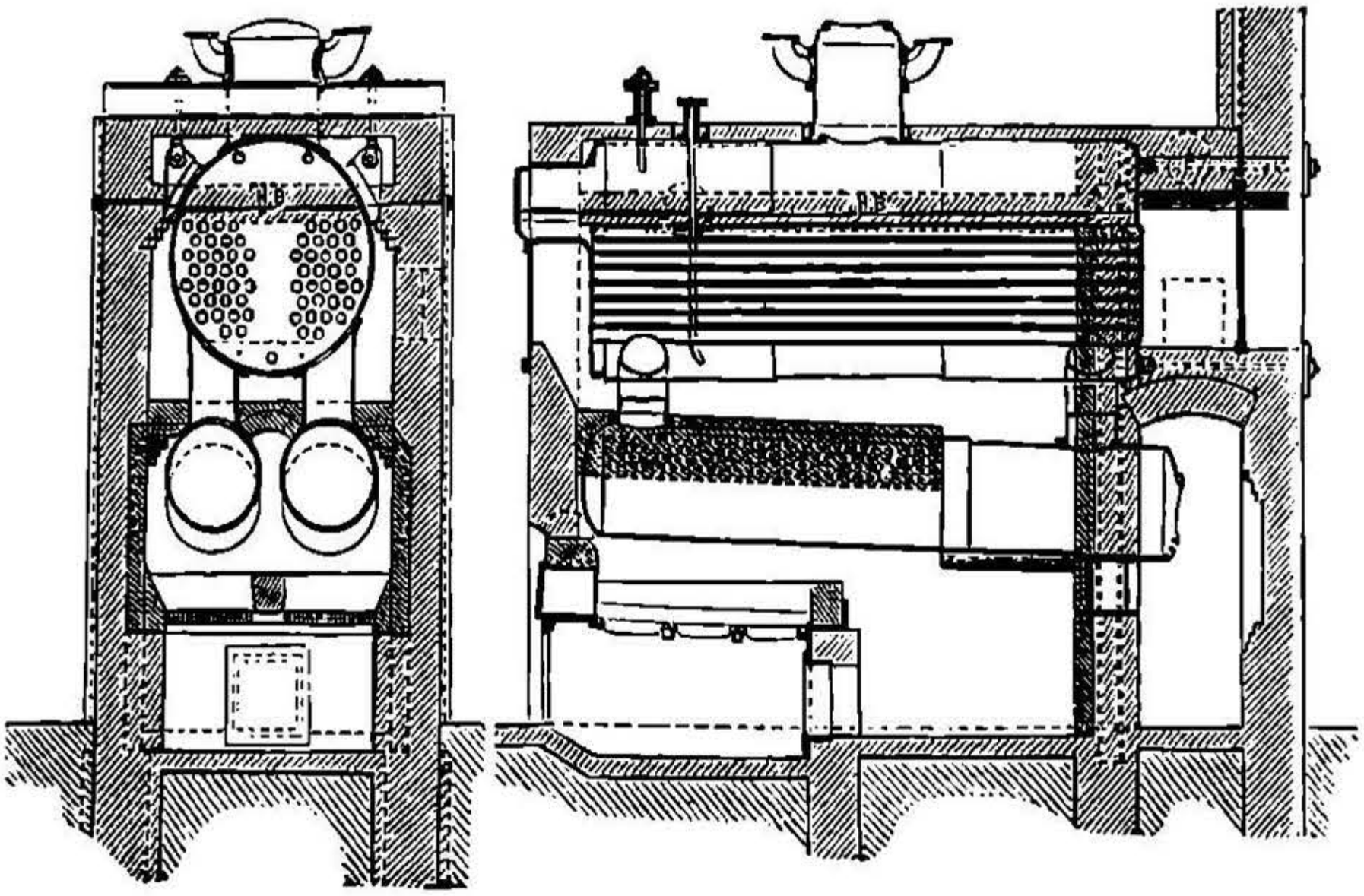


НТБ ДНУЗТ

a) Колосниковая рѣшетка расположена подъ котломъ съ прогарными трубками. Горячіе газы проходятъ сначала по нижнему дымоходу, затѣмъ по боковымъ ходамъ, прогарнымъ трубамъ и нижнему котлу.

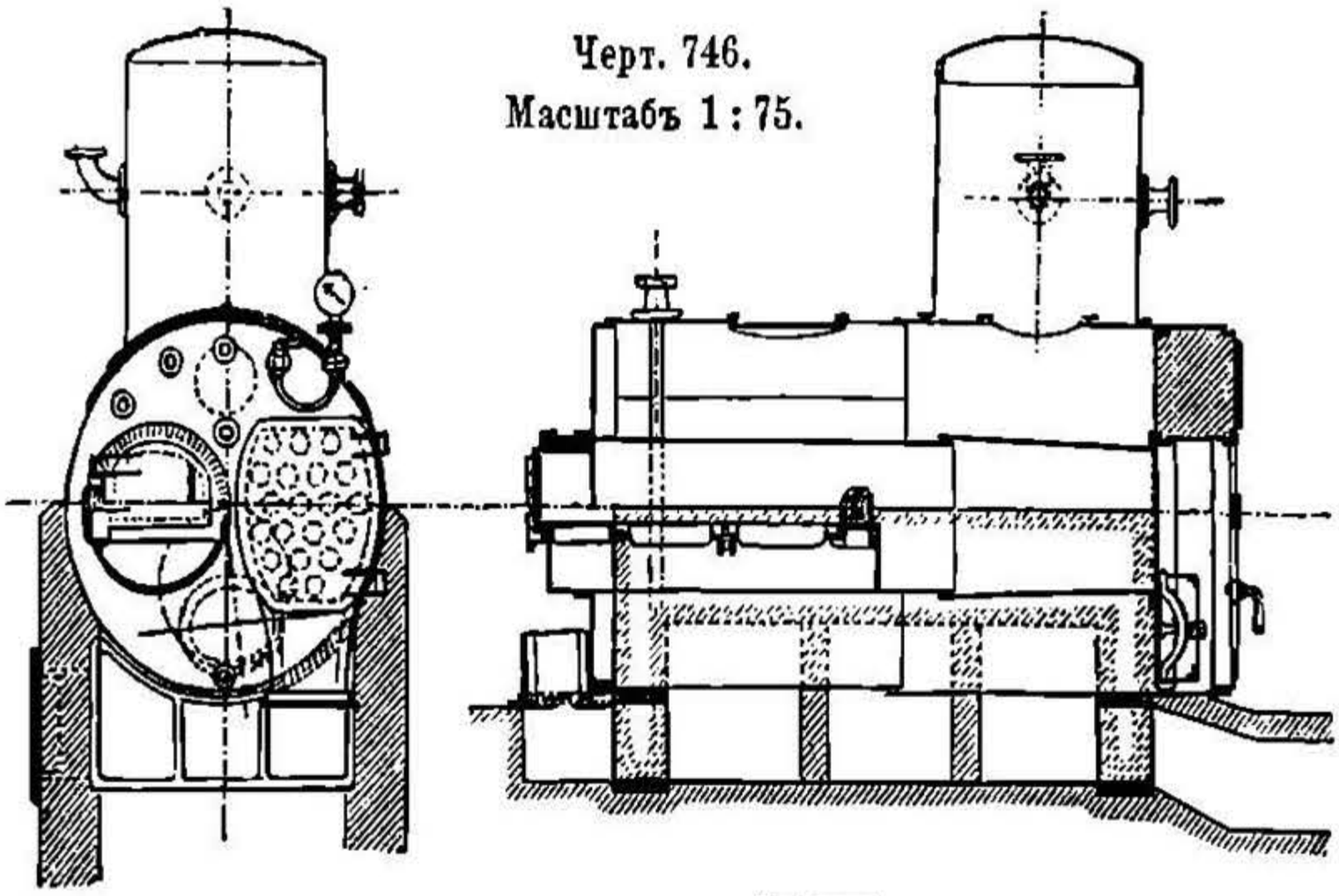
b) Колосниковая рѣшетка подъ нижнимъ цилиндрическимъ котломъ, черт. 745. Дымоходы располаются въ слѣд. порядкѣ: I-ый—

Черт. 745. Масштабъ 1 : 120.



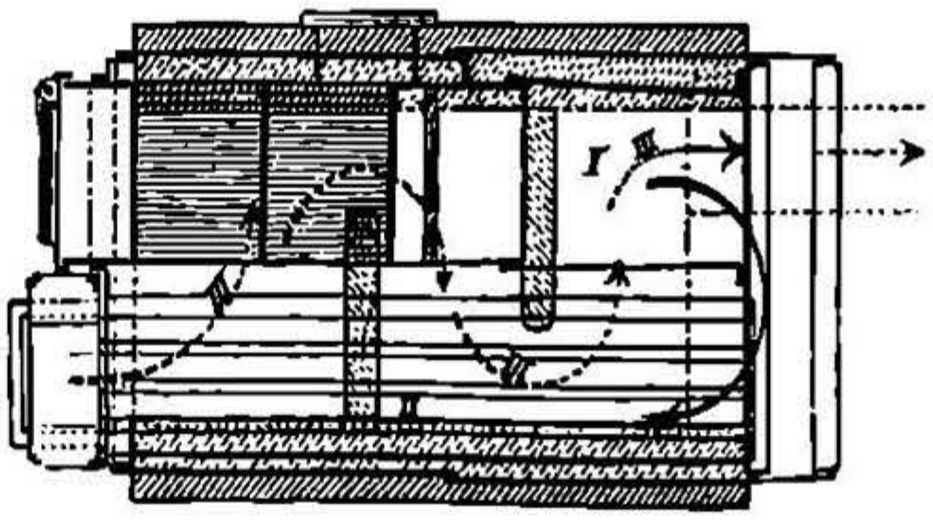
Цилиндрическій котелъ и горизонтальный котелъ съ прогарными трубами.

Черт. 746.
Масштабъ 1 : 75.



подъ нижнимъ котломъ, II-й—подъ котломъ съ прогарными трубами, III-ій—прогарн. трубы.

3. Котелъ съ жаровыми и прогарными трубами.



НТБ ДНУЗТ

a) По дымогарнымъ трубамъ проходитъ первое пламя отъ топки (черт. 747 и 749, стр. 891).

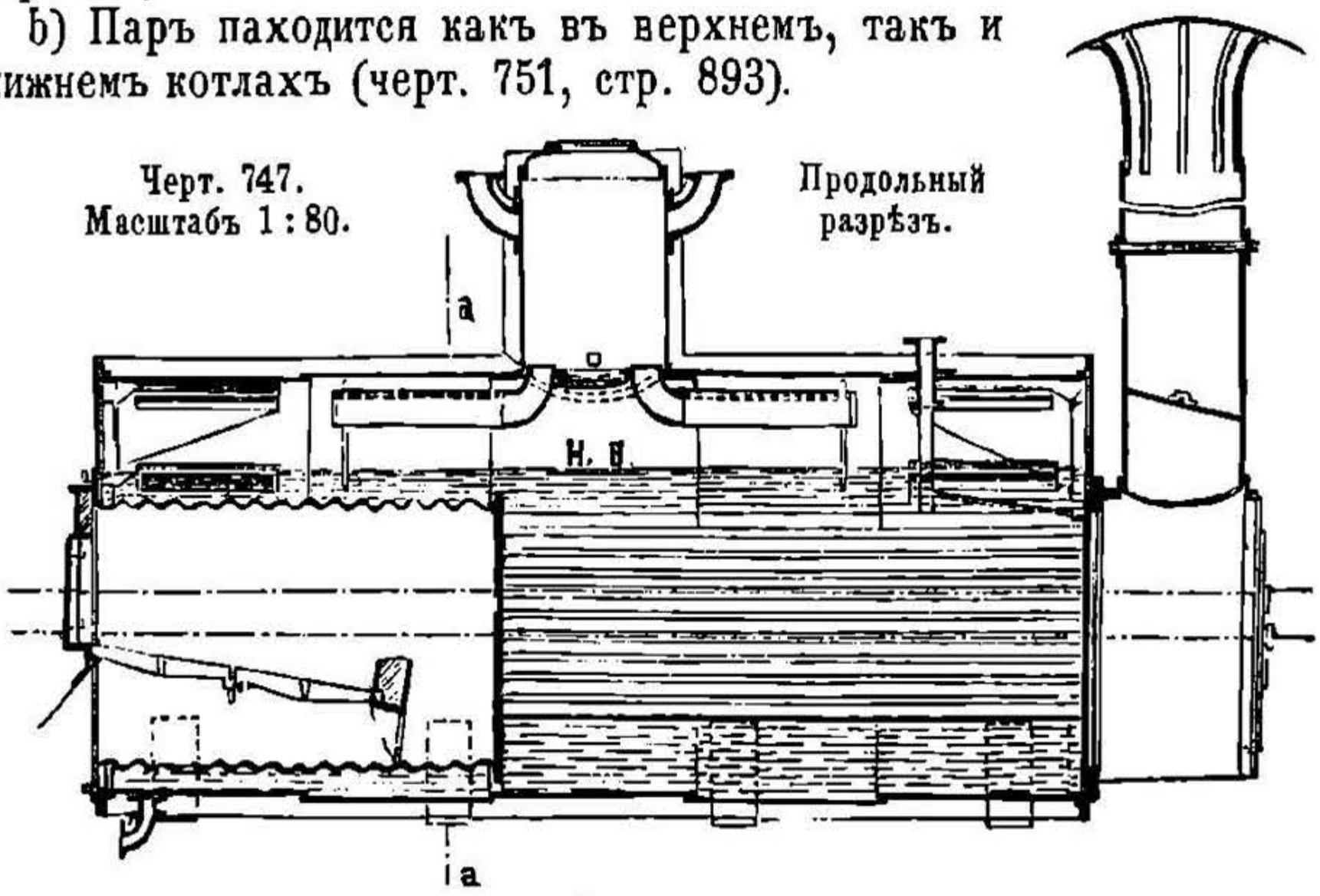
b) По дымогарнымъ трубамъ проходитъ обратное пламя (черт. 746, стр. 889, и черт. 748, стр. 891).

4. Комбинація котловъ съ жаровыми и прогарными трубами, расположенныхъ одинъ надъ другимъ.

a) Паровое пространство только въ верхнемъ котлѣ (черт. 750, стр. 892).

b) Паръ находится какъ въ верхнемъ, такъ и нижнемъ котлахъ (черт. 751, стр. 893).

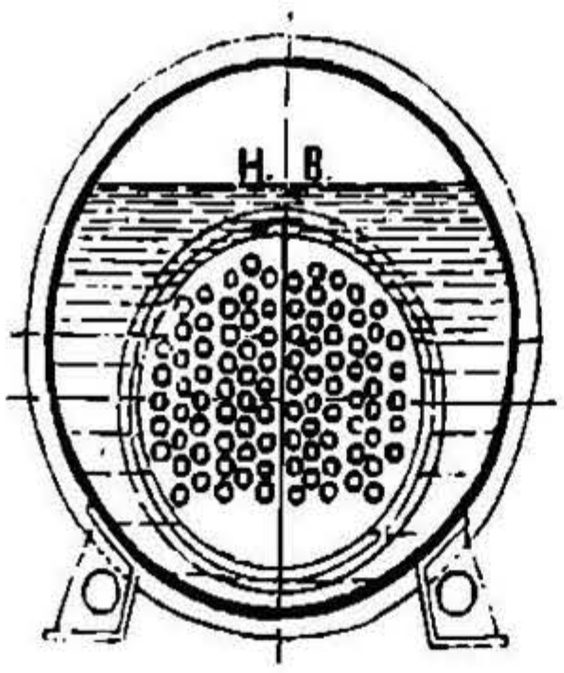
Черт. 747.
Масштабъ 1 : 80.



Продольный разрѣзъ.

a

Сѣченіе a — a.



5. Комбинація двухъ котловъ съ жаровыми трубами, расположенныхъ одинъ надъ другимъ, причемъ:

a) паръ скопляется только въ верхнемъ котлѣ черт. 752 (стр. 894),

и b) паръ скоплляется въ обоихъ котлахъ.

Въ котлахъ **4.** и **5.** продукты горѣнія обыкновенно проходятъ сначала по жаровымъ трубамъ нижняго котла, затѣмъ по прогарнымъ (или жаровымъ) трубамъ верхняго, подъ поверхностью верхняго цилиндрическаго котла, а затѣмъ — подъ поверхностью нижняго. Такое расположеніе дымоходовъ разстраиваетъ поперечные швы нижняго котла, и поэтому лучше располагать дымоходы въ слѣдующемъ порядкѣ: жаровыя трубы нижняго котла, его боковые ходы, боковые ходы верхняго котла и, наконецъ, прогарныя (или жаровыя) трубы послѣдняго (черт. 752, стр. 894).

Велич.	1.	2 a и b.	3 a и b.	4 a.	4 b.	5 a.	5 b.
F =	0,25—0,3	0,2—0,25	0,2—0,25	0,125	0,15	0,25	0,225 qm
J_w =	100—120	100	100—120	120—125	100—110	220—225	170—180 литр.
J_d =	50—60	40—50	50—60	20—25	30—35	40—50	80—100 литр.
V =	0,125	0,075—0,1	0,125 - 0,15	0,04—0,05	0,075—0,1	0,1	0,2 qm

(Продолженіе на стр. 895).

НТБ ДНУЗТ

Черт. 748.
Масштабъ 1 : 100.

Разрѣзъ a—b.

Черт. 749.

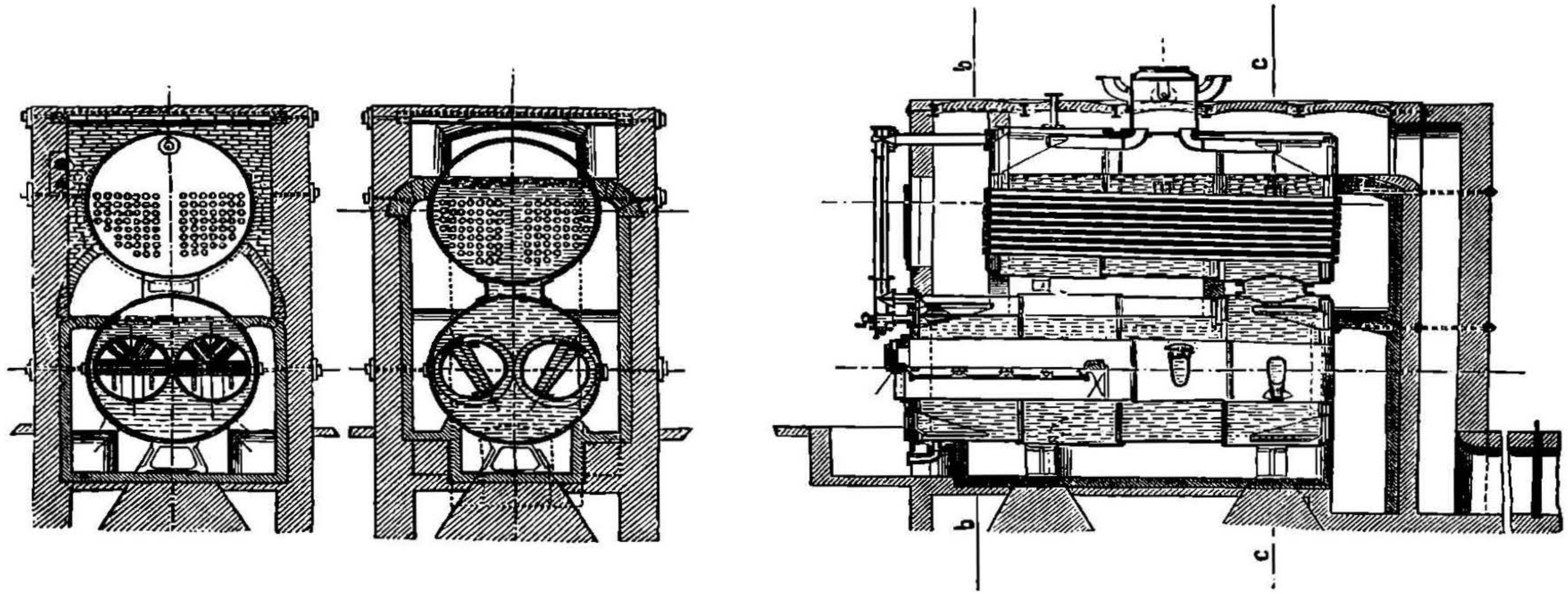
НТБ
ДНУЗТ

Черт. 750.
Масштабъ 1 : 80

Котелъ съ жаровыми трубами подъ котломъ съ прогарными трубами, паровое пространство только въ послѣднемъ.

НТБ ДНУЗТ

Разрѣзъ b—b. Разрѣзъ c—c. Черт. 751. Масштабъ 1 : 120. Продольный разрѣзъ.



Котелъ съ жаровыми трубами подъ котломъ съ прогарными трубами, паровое пространство въ обоихъ котлахъ.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 752.
Масштабъ 1 : 100.

Два котла съ жаровыми трубами расположены одинъ надъ другимъ; паровое пространство только въ верхнемъ котлѣ

НТБ
ДНУЗТ

f. Котлы съ циркуляціей воды въ трубахъ.

(Съ кипятильными трубами небольшого діаметра).

Главнѣйшее отличіе различныхъ системъ этихъ котловъ состоитъ въ соединеніи трубъ между собою въ одно цѣлое.

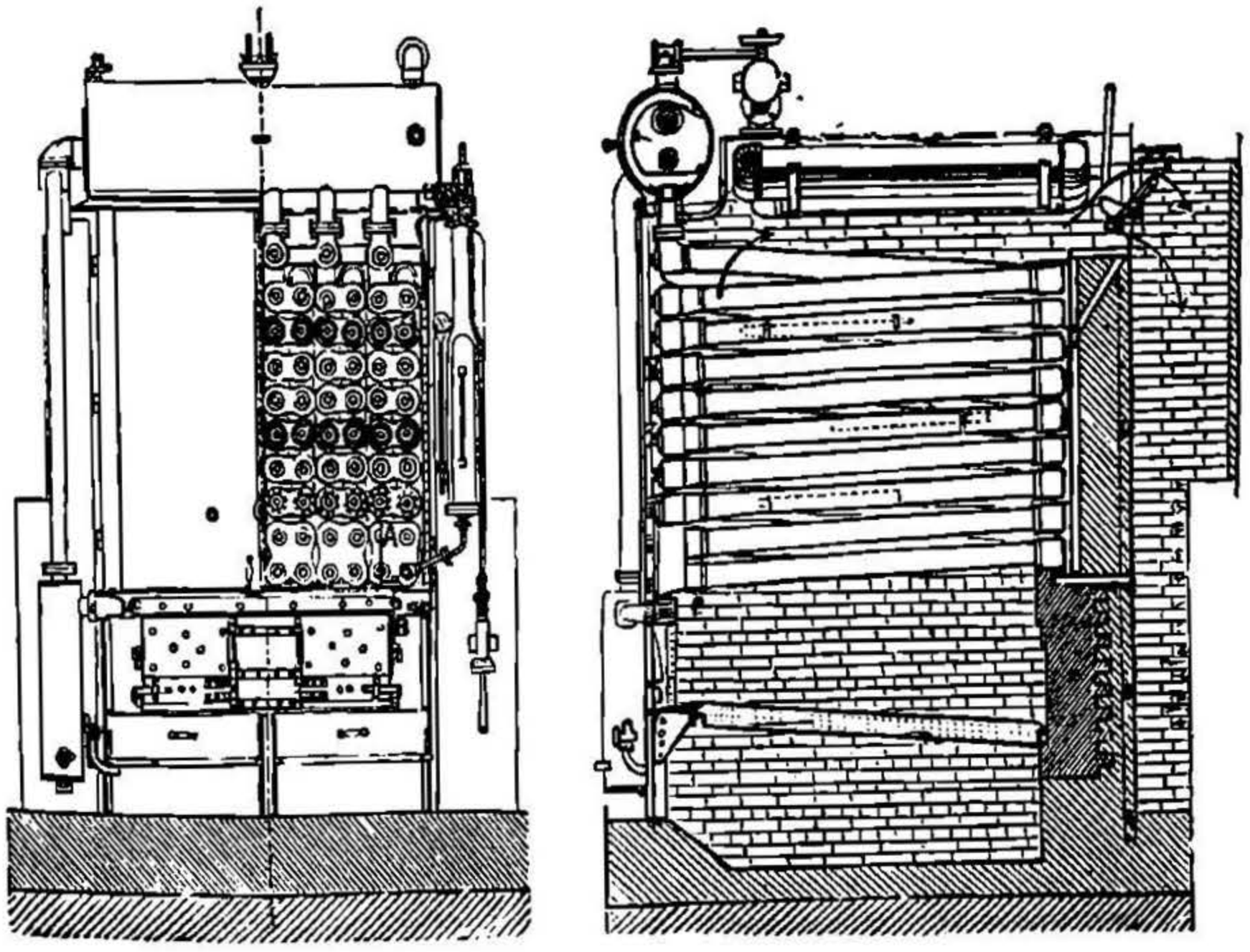
1. Отдѣльныя трубы соединяются между собою посредствомъ особыхъ коробокъ въ одинарныя или двойныя вертикальныя батареи или элементы.

Черт. 753.

а) Соединеніе попеременно—то спереди, то сзади.

1. Котелъ Бельвилля, черт. 754. Эскизъ (черт. 753) изображаетъ схематически соединеніе трубъ въ одинъ двойной элементъ. Трубы 1, 2, 3 и 4 имѣютъ подъемъ спереди назадъ, а трубы 5, 6, 7 и 8, наоборотъ, —сзади напередъ. Трубы 1 и 5, 2 и 6, 3 и 7, 4 и 8 соединены сзади, а трубы 2 и 5, 3 и 6, 4 и 7 — спереди.

Черт. 754. Масштабъ 1 : 80.

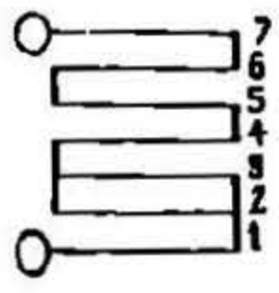


Котелъ Бельвилля.

$F = 0{,}07$ qm, $J_w = 20$ до 25 литр., $J_d = 22$ до 28 литр., $V = 0{,}006$ qm.

2. Котелъ Шмидта, черт. 756. Соединеніе трубъ передняго котла показано на эскизѣ (черт. 755).

Черт. 755.



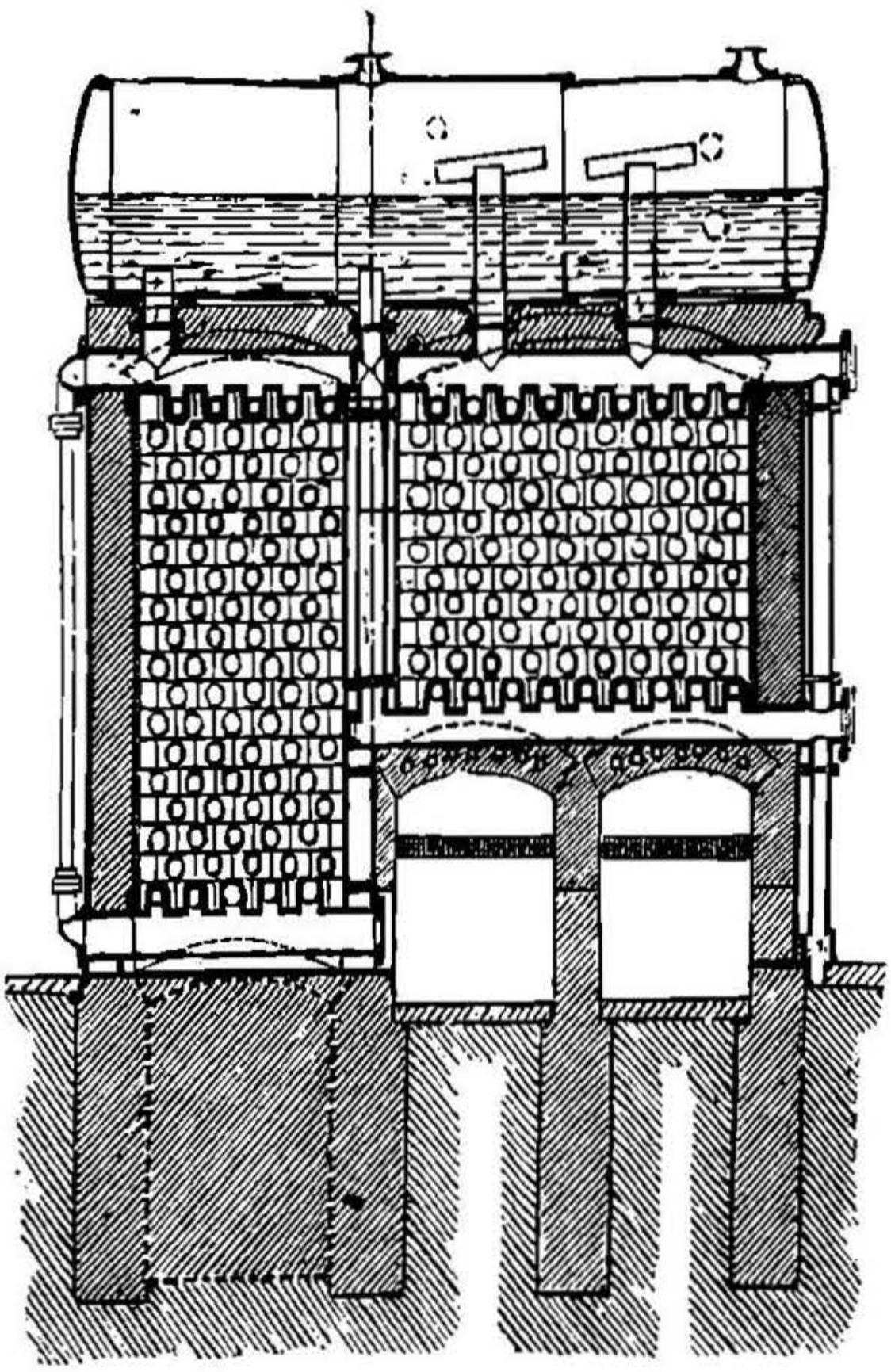
$F = 0{,}08$ qm, $J_w = 30$ литр., $J_d = 7{,}5$ литр., $V = 0{,}02$ qm.

При такомъ соединеніи (1. а) трубъ между собою смѣсь пара и воды, образующаяся въ нижнихъ трубахъ, можетъ подняться въ верхнюю часть котла только тогда,

НТБ ДНУЗТ

когда эта смѣсь прошла по всѣмъ вышележащимъ трубамъ того же вертикальнаго элемента.

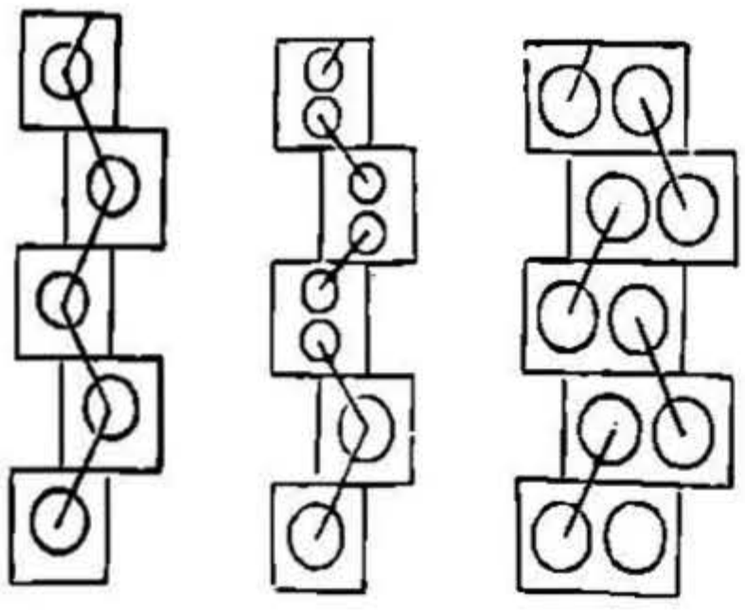
Черт. 756.



Котелъ Шмидта.

b) Одновременное соединеніе трубъ спереди и сзади.

Черт. 757. Черт. 758. Черт. 759.



Котелъ Рута, построенъ Вальтеромъ и К° (черт. 757 и 760), А. Бютнеромъ и К° (черт. 758), де-Нейеромъ и К° (черт. 759).

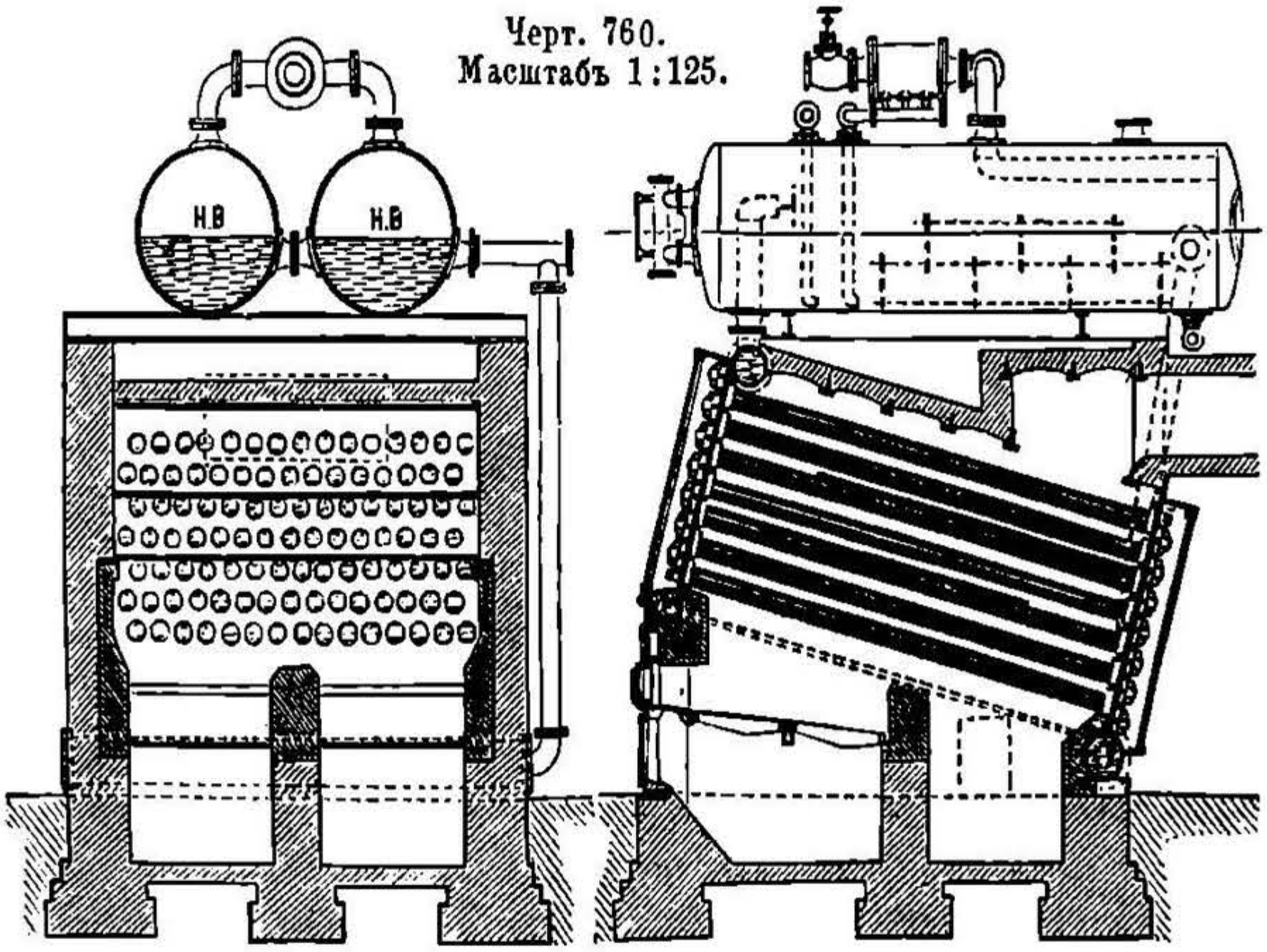
При такомъ соединеніи (1. b) смѣсь пара и воды, образующаяся въ отдѣльныхъ трубахъ, прямо поднимается по соединительнымъ коробкамъ вверхъ; кромѣ того, вода, притекающая у задняго конца трубокъ, непосредственно протекаетъ въ отдѣльныя трубы.

НТБ ДНУЗТ

Котелъ Рута.

Величина.	Безъ верхняго котла.	Съ однимъ верхнимъ котломъ.	Съ двумя верхними котлами.
$F =$	0,075 до 0,15 qm	0,125 до 0,175 qm	0,1 до 0,125 qm
$J_w =$	30 „ 35 литр.	40 „ 50 литр.	60 „ 70 литр.
$J_d =$	15 „ 20 литр.	20 „ 25 литр.	25 „ 40 литр.
$V =$	0,02 „ 0,025 qm	0,025 „ 0,05 qm	0,05 „ 0,075 qm

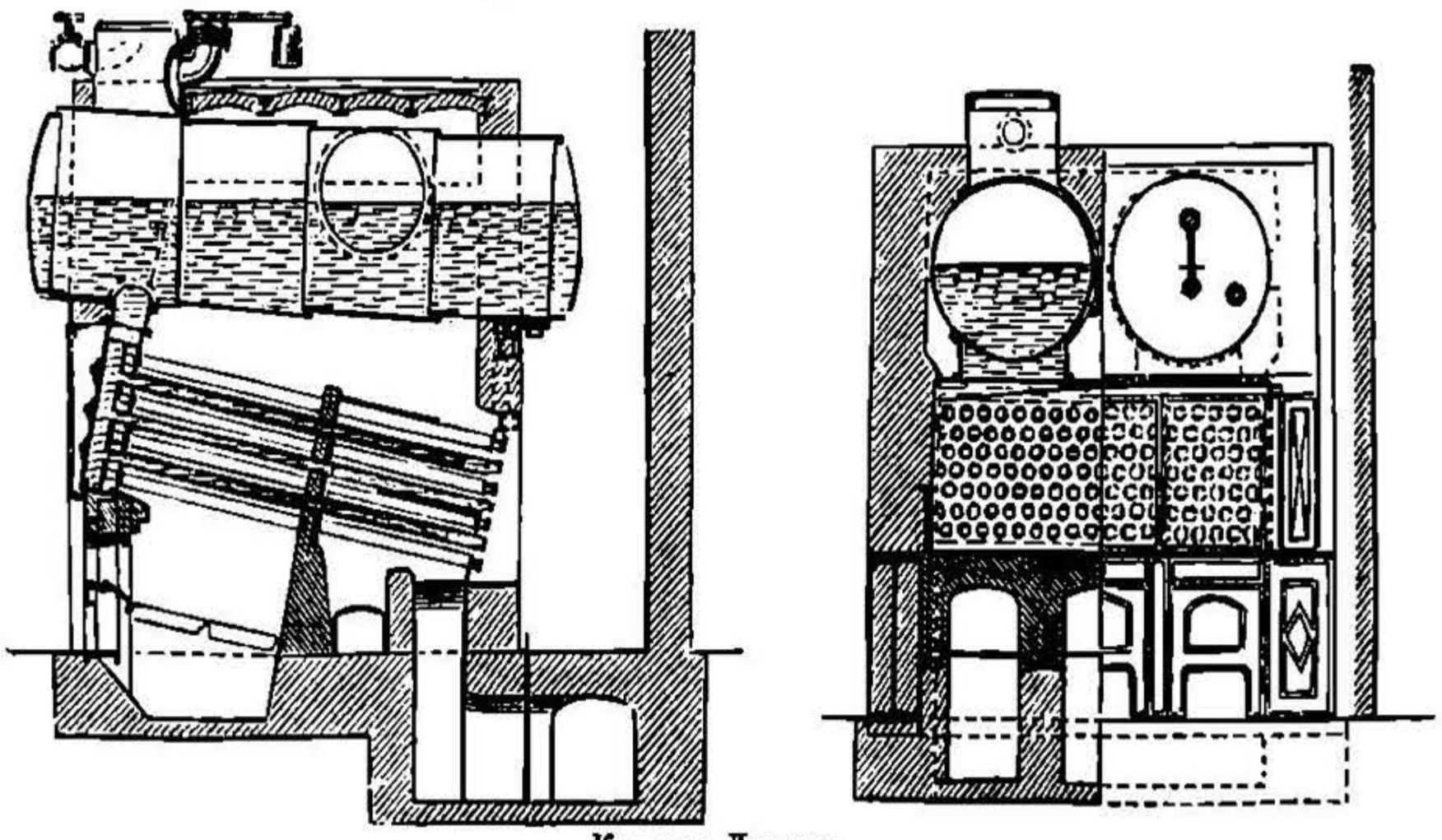
Черт. 760.
Масштабъ 1:125.



Котелъ Рута.

2. Соединеніе отдѣльныхъ вертикальныхъ или горизонтальныхъ рядовъ между собою посредствомъ камеръ.

Черт. 761. Масштабъ 1:150.

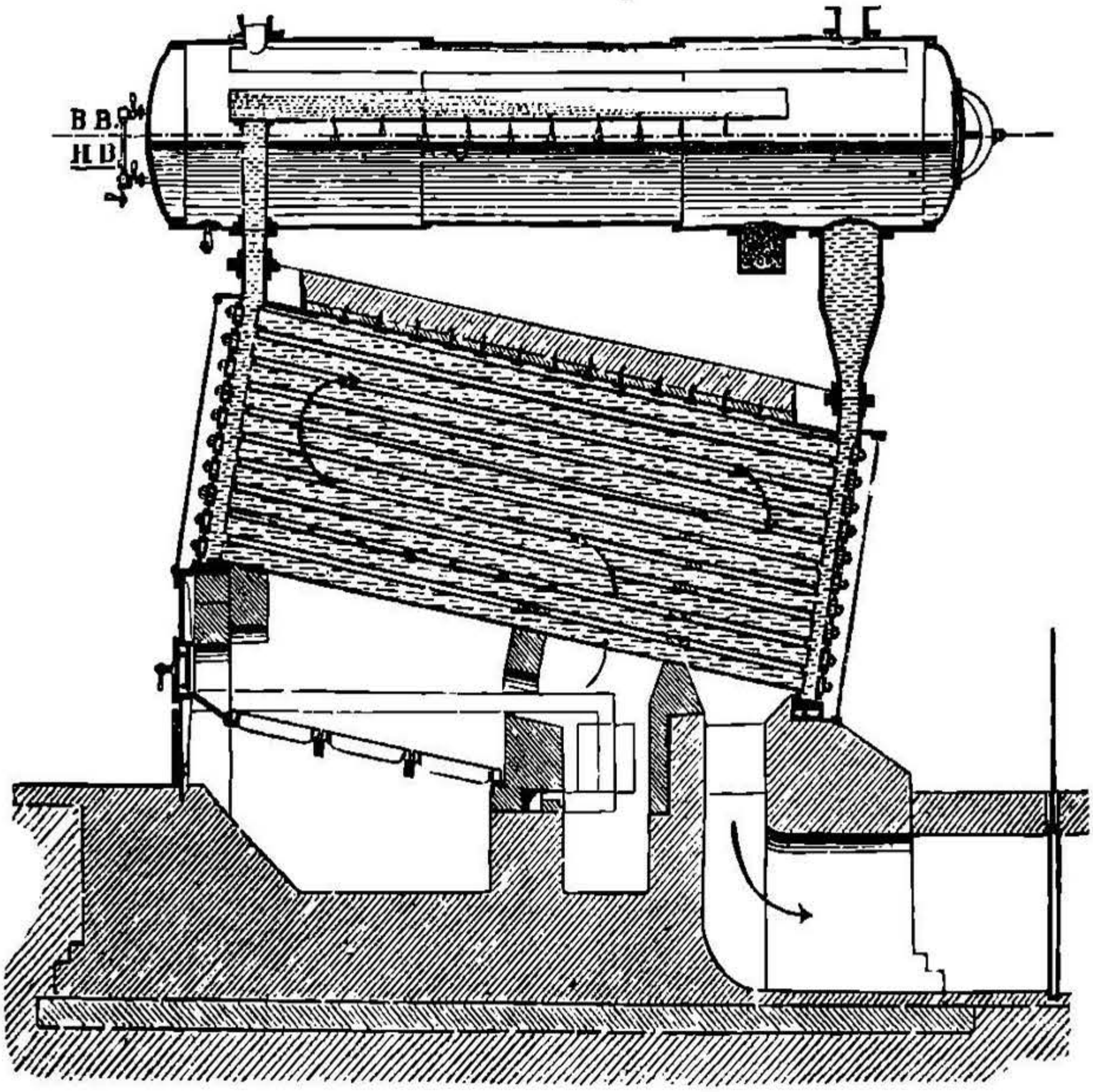


Котелъ Дюрра.

а) Соединеніе трубъ только съ одного конца: котелъ Говарда (рѣдко употребляется).

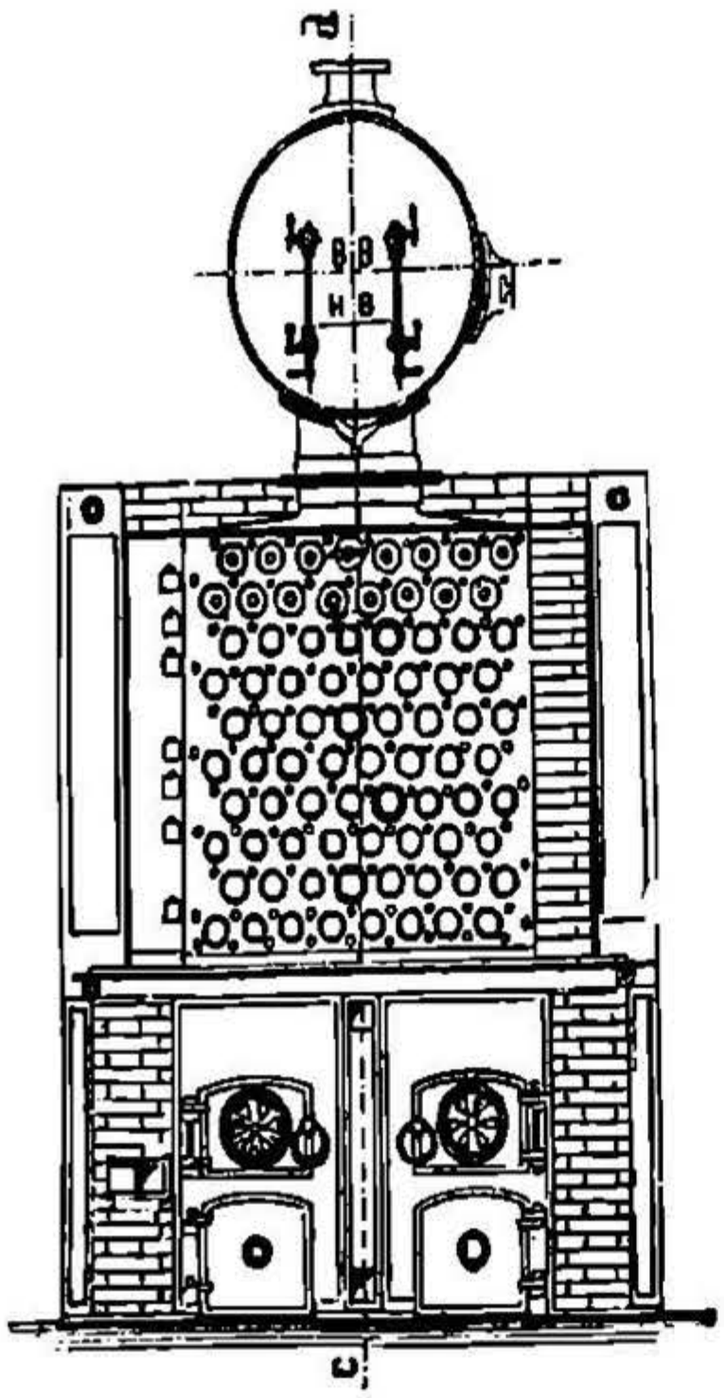
НТБ ДНУЗТ

Черт. 762.
Масштабъ 1 : 80. Разрѣзъ c—d.



Котелъ Штейнмюллера.

Видъ спереди.



b) Соединеніе трубъ съ обоихъ концовъ: котлы Сенклера, Штейнмюллера (стараго типа), Бабкокъ и Вилькоксъ, первыя двѣ конструкціи встрѣчаются рѣдко.

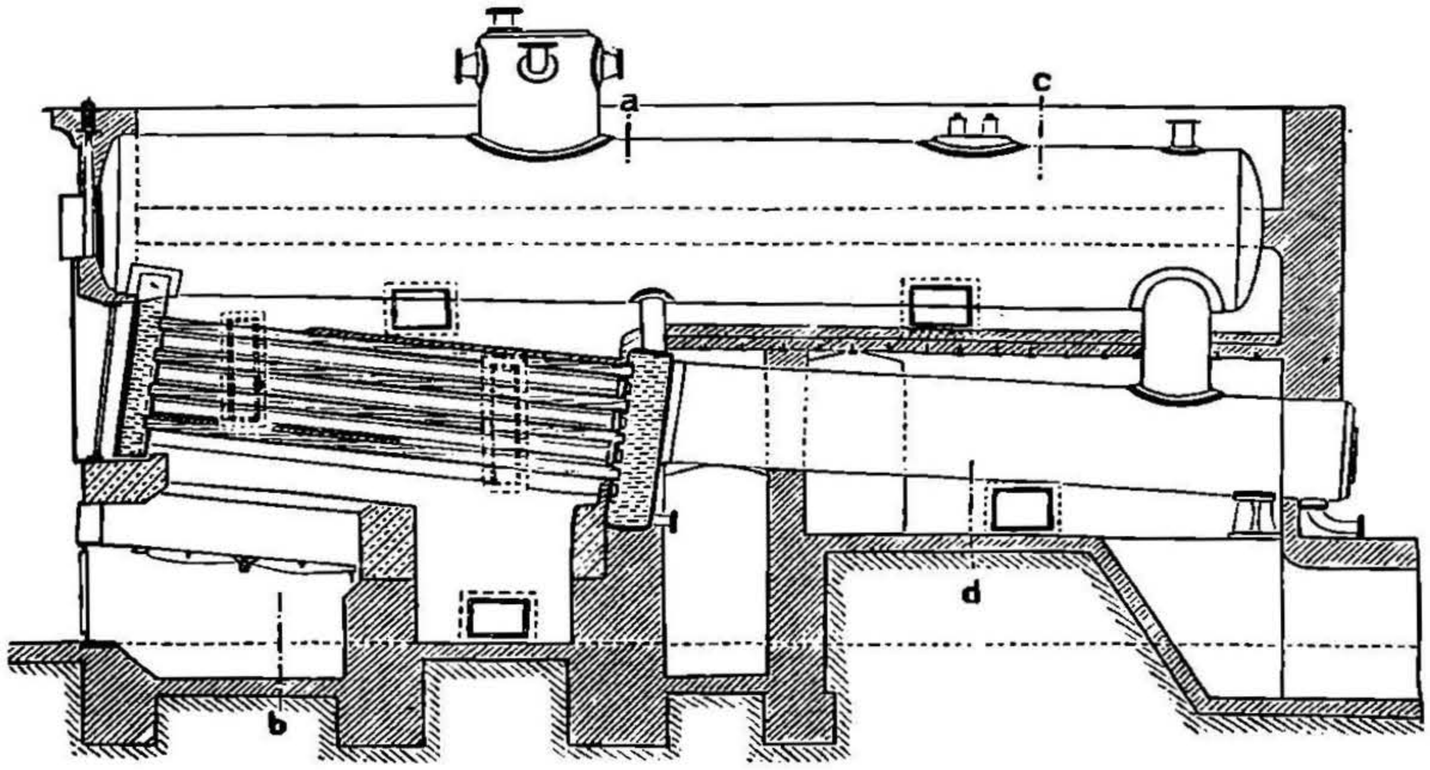
3. Соединеніе всѣхъ трубъ одной системы (пучка) посредствомъ такъ наз. водяныхъ камеръ, расположенныхъ:

a) только съ одной стороны трубъ: котлы Вильмана, Дюрра (черт. 761),

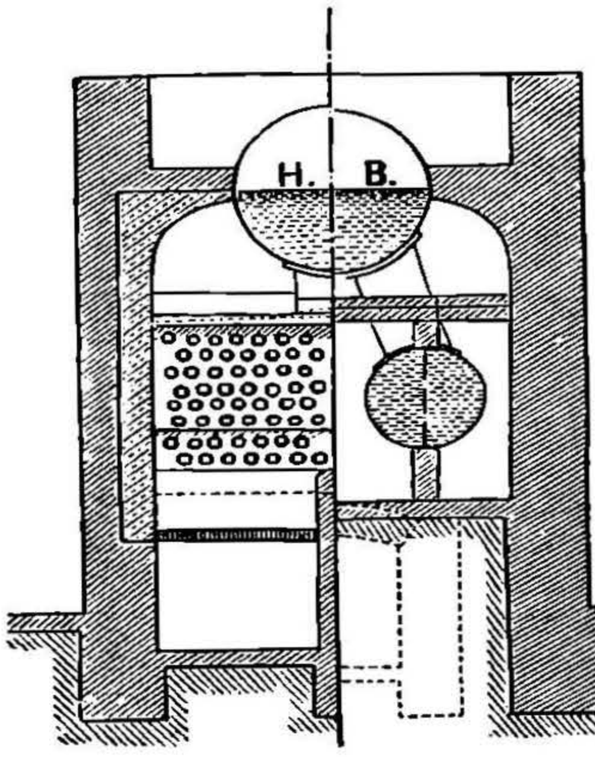
b) съ обѣихъ сторонъ трубъ: котлы Бютнера, Гейне, Гумбольдта, Бреда, Симонисъ и Ланцъ и Штейнмюллера (черт. 762). Эта система котловъ съ кипятильными трубами малаго діаметра въ послѣднее время наиболѣе употребительная; надъ трубами располагается одинъ или нѣсколько цилиндрическихъ котловъ.

НТБ ДНУЗТ

Черт. 763. Масштабъ 1 : 80.



Разрѣзъ a — b.



Разрѣзъ c — d.

Котелъ Макъ-Николя.

НТБ
ДНУЗТ

3a) при одномъ котлѣ сверху.	3a) при двухъ котлахъ сверху.	3b) при одномъ котлѣ сверху.	3b) при двухъ котлахъ сверху.
$F =$ 0,2 до 0,25	0,1 до 0,15	0,125 до 0,15	0,075 до 0,25 qm
$J_w =$ 75 „ 125	75 „ 100	50 „ 75	75 „ 150 литр.
$J_d =$ 45 „ 90	40 „ 70	25 „ 40	50 „ 75 литр.
$V =$ 0,075 „ 0,125	0,075 „ 0,175	0,075 „ 0,1	0,1 „ 0,175 qm

g. Соединеніе котловъ съ кипятильными трубками съ системой цилиндрическихъ котловъ.

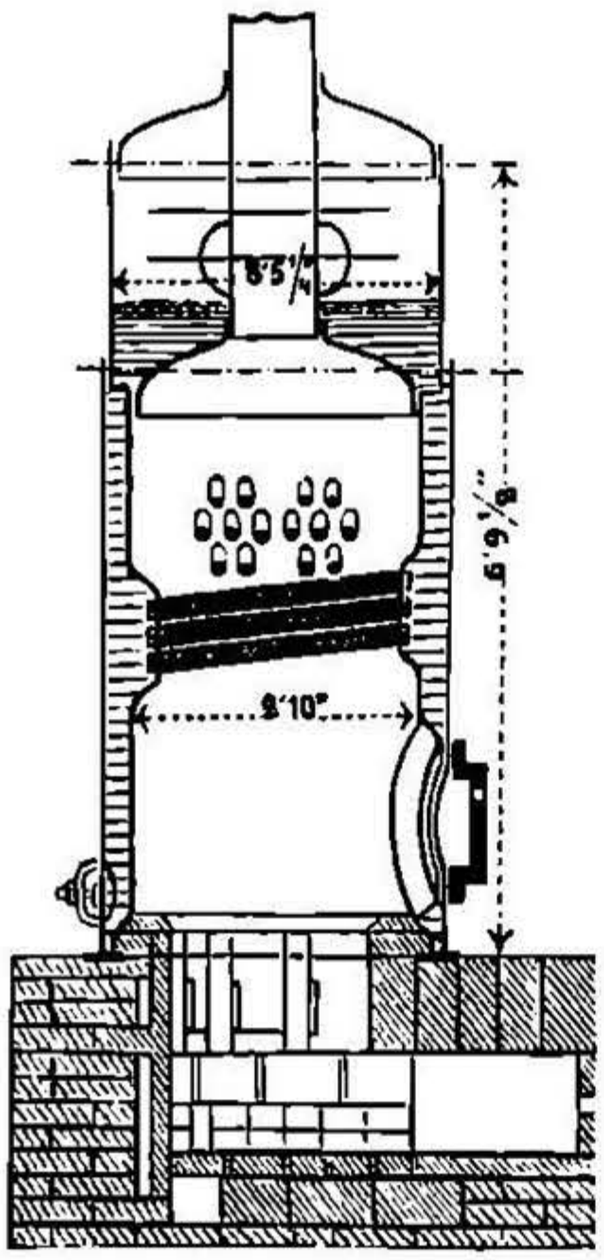
Наиболѣе извѣстная система Макъ-Николя (черт. 763) весьма удобна для перестройки по ней существующихъ котловъ, съ цѣлью увеличенія поверхности нагрѣва безъ увеличенія мѣста, занимаемаго котломъ.

$F =$ 0,15 до 0,375 qm, | $J_d =$ 45 до 75 литр.,
$J_w =$ 115 „ 175 литр., | $V =$ 0,1 „ 0,175 qm.

h. Водотрубные вертикальные котлы.

Система В. Г. Шухова. Производительность ихъ составляетъ около 25 kg пара въ часъ съ 1 кв. метра поверхности нагрѣва (6 фун. на 1 кв. футъ), а при форсированной топкѣ до 8 фунт. на 1 кв. футъ. Отличаются быстротою парообразованія, при удобствѣ чистки (черт. 764).

Черт. 764.



Котелъ В. Г. Шухова.

Котлы эти изготовляются согласно размѣровъ по нижеслѣдующей таблицѣ.

Поверхности нагрѣва въ квад. футахъ.	Высота котла.	Діаметръ котла.	Количество пуковъ, состоящихъ каждый изъ 7 трубокъ 2".
50	6'6"	3'6"	2
75	7'3"	—	4
100	8'0"	—	6
125	9'3"	—	8
150	10'2"	—	10
175	11'4"	—	12
200	12'2"	—	14

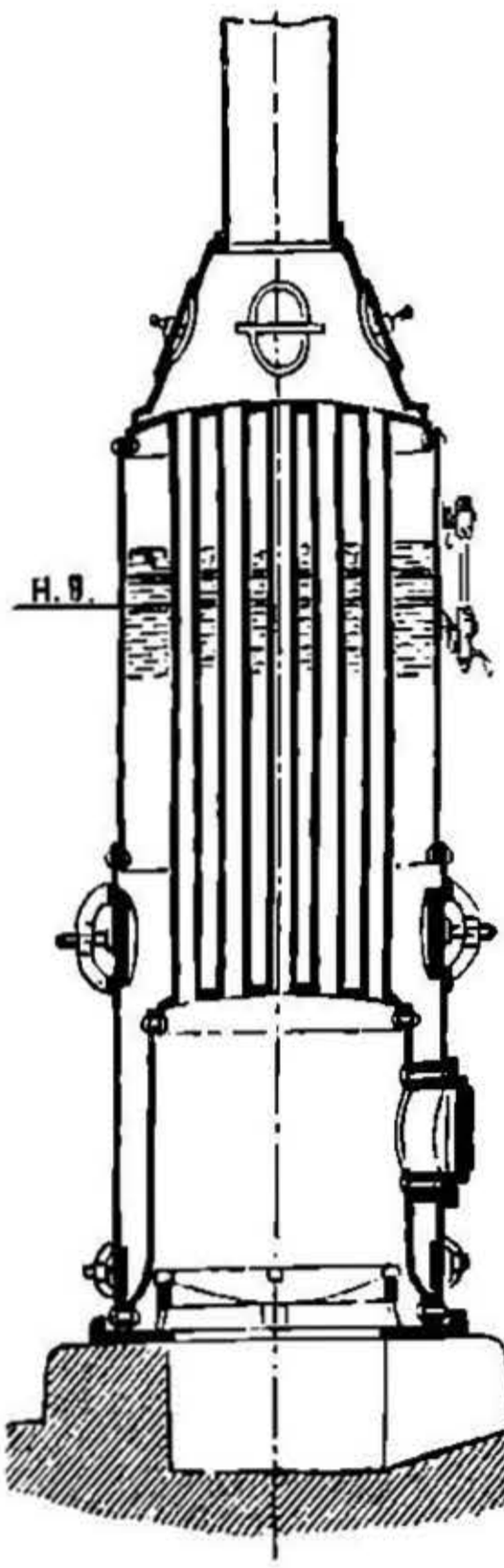
На черт. 764 представленъ котелъ поверхностью нагрѣва 75 кв. футъ съ приспособленіемъ для нефтяного отопленія.

НТБ ДНУЗТ

i. Маленькіе котлы (котлы-карлики). *)

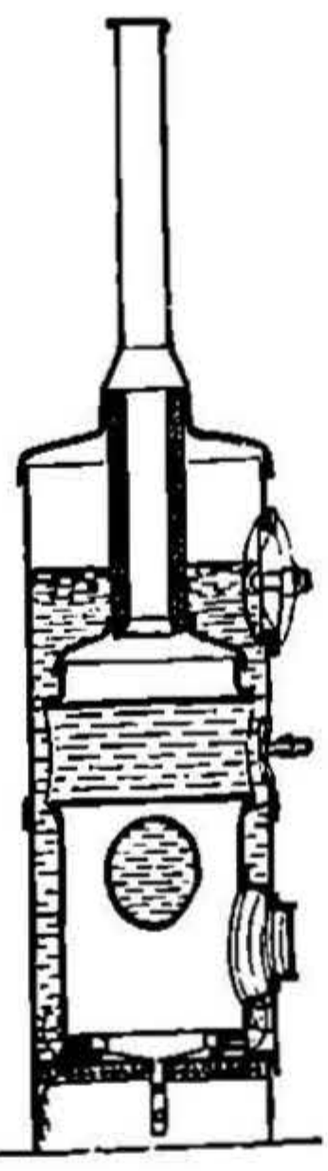
Къ маленькимъ котламъ причисляются также весьма часто и вертикальные котлы съ прогарными или кипятильными трубами (Лашапелля). Послѣдніе изготовляются также и большихъ размѣровъ.

Черт. 765.



Котелъ съ прогарными трубами.

Черт. 766.



Котелъ Лашанелля.

Котлы эти ни въ какомъ случаѣ не должны быть устанавливаемы непосредственно на каменной кладкѣ, а на чугунной рамѣ или, лучше, на чугунномъ цоколѣ; послѣднее раціональнѣе, ибо при этомъ можетъ быть лучшій надзоръ за нижнею частью котла. Послѣдняя, вслѣдствіе пропусканія воды въ промывочныхъ отверстіяхъ, легко ржавѣетъ.

Котель Лашапелля:

(черт. 766).

$F = 0{,}125$ qm
$J_w = 50$ до 100 литр.
$J_d = 35$ „ 90 литр.
$V = 0{,}12$ qm.

Котелъ съ прогарными трубами (черт. 765).

$F = 0{,}065$ до $0{,}1$ qm
$J_w = 55$ „ 90 литр.

$J_d = 20$ до 25 литр.,
$V = 0{,}05$ $0{,}1$ qm.

Къ небольшимъ котламъ (карликамъ) относятся котлы для двигателей: I. Гофмейстера, II. Викторія, III. Фридриха, IV. Симплексъ, V. Лиліенталя.

Котелъ.	I.	II.	III.	IV.	V
$J_w =$	30 до 35	25 до 30	25 до 30	7	$J_w + J_d = 3{,}8$
$J_d =$	10 „ 15	18 „ 20	8 „ 10	8 до 13	

*) Данныя для конструированія этихъ котловъ см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1887, стр. 192 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

C. Детали паровыхъ котловъ.

I. Цилиндрическая часть котла.

a. Величина котельныхъ листовъ.

(По даннымъ союза Германскихъ желѣзопрокатныхъ заводовъ 1898).

1. Нормальные размѣры и вѣса котельныхъ листовъ, служащіе для опредѣленія основной цѣны.

1. Листы сварочнаго желѣза.

При толщинѣ:	5 до 6 mm	6 до 7 mm	7 до 8 mm	8 до 9 mm	9 до 10 mm	10 mm и выше.
Ширина и діам... mm	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Площадь qm	5,5	6	6,5	7	7,5	8
Вѣсъ.... kg	500	600	700	800	900	1000

2. Листы литого желѣза.

При толщинѣ:	5 до 7 mm	7 до 10 mm	10 mm и выше.
Ширина прямоугол. листовъ..... mm	1500	1700	1700
Площадь „ „ qm	4,5	6,0	6,0
Діаметръ круглыхъ листовъ..... mm	1600	1800	1900
Вѣсъ..... kg	500	500	500

2. Допускаемыя отступленія *).

a) Отступленія въ размѣрахъ длины и ширины:
Для листовъ толщиною до 18 mm включительно — въ длинѣ до + 10 mm, въ ширинѣ до + 6 mm.
Для листовъ толщиною свыше 18 mm—въ длинѣ до+15 mm, въ ширинѣ до + 10 mm.

b) Отступленія въ размѣрахъ толщины:

Листы	Разница между наибольшей и наименьшей толщиной при требуемой толщинѣ листа въ mm		
	5 до 7 mm.	7 до 10 mm.	10 и свыше mm.
до 1600 mm шириною.	1,2	0,9	0,9
отъ 1600 до 1800 mm шир.	1,8	1,7	1,7
1800 „ 2100 „	2,0	1,7	1,7
2100 „ 2700	—	—	2,3
„ 2700 „ 3000	—	—	2,9

*) См. Техническія условія для поставки желѣза и стали, — составлены обществомъ германскихъ горнозаводчиковъ, 1893 г.

НТБ ДНУЗТ

Листы шириною свыше 2100 mm при толщинѣ до 10 mm, равно какъ шириною свыше 3000 mm, принимаются при всякой толщинѣ, лишь бы наименьшая толщина соотвѣтствовала требуемому размѣру.

Толщина листовъ измѣряется калибромъ; измѣреніе толщины должно быть произведено на разстояніи не меньшемъ 40 mm отъ края и не меньше 100 mm отъ угловъ листа.

c) Отступленіе въ вѣсѣ:

$\pm 3\%$ на всю поставляемую партію,
$\pm 5\%$ для отдѣльныхъ листовъ,
$\pm 8\%$ для листовъ шириною свыше 2400 mm до 2700 mm, при толщинѣ въ 10 mm и болѣе.

Листы шириною въ 2100 до 2700 mm, при толщинѣ менѣе 10 mm, равно и свыше 2700 mm, при какой угодно толщинѣ, принимаются по дѣйствительному ихъ вѣсу.

b. Опредѣленіе толщины листовъ парового котла.

по Гамбургскимъ нормамъ 1898.

Гамбургскія нормы приняты на собраніи представителей и инженеровъ **Международнаго Союза** для охраны паровыхъ котловъ, 1884 г. въ Брюсселѣ, и измѣнены въ засѣданіяхъ этого союза въ 1885 г. въ Ганноверѣ, въ 1891 г. въ Данцигѣ, въ 1892 г. въ Нюренбергѣ, въ 1895 г. въ Килѣ, въ 1896 г. въ Вопнѣ и 16 и 17 іюня 1898 г. въ Баденъ-Баденѣ.

1. Допускаемое напряженіе матеріала.

Толщина стѣнокъ новаго котла должна быть разсчитана такъ, чтобы, при наивысшемъ рабочемъ давленіи въ котлѣ, напряженіе отъ растяженія въ наиболѣе слабомъ мѣстѣ котла не превышало 1:4,5 временнаго сопротивленія матеріала растяженію (K_z).

При швахъ съ двумя накладками и при хорошемъ исполненіи котла (въ отношеніи матеріала и работы) напряженіе отъ растяженія не должно превосходить $^1/_4$ временнаго сопротивленія растяженію (K_z).

2. Матеріалъ.

Условія, которымъ долженъ удовлетворять матеріалъ для изготовленія паровыхъ котловъ, установлены Международнымъ Союзомъ для охраны паровыхъ котловъ и извѣстны подъ названіемъ **Вюрцбургскихъ нормъ 1895 г.** (см. отдѣлъ VIII, матеріалы).

Если при разсчетѣ толщины стѣнокъ паровыхъ котловъ допускается большее сопротивленіе, чѣмъ указано въ наименьшихъ предѣлахъ Вюрцбургскихъ нормъ, то необходимо доказать, что листы въ дѣйствительности обладаютъ такою прочностью, которая положена въ основу разсчета при опредѣленіи толщины стѣнокъ.

Для **мѣди**, прочность которой уменьшается съ увеличеніемъ температуры (см. стр. 336), можно принимать величину временнаго сопротивленія растяженію K_z:

K_z = 2200 kg/qcm при давленіи въ котлѣ до 3,5 kg/qcm,
= 2100 „ „ „ „ „ 6 „
= 2000 „ „ „ болѣе 6 „

Для мѣдныхъ паропроводныхъ трубъ не допускается напряженіе матеріала свыше 200 kg/qcm. (Данныя для мѣдныхъ паропроводовъ Германскаго флота см. стр. 580.

НТБ ДНУЗТ

3. Заклепочныя соединенія.

Заклепочные швы должны быть исполнены такъ, чтобы имѣло мѣсто необходимое сопротивленіе противъ скольженія, и чтобы сопротивленіе заклепокъ срѣзыванію было не меньше сопротивленія котла растяженію въ мѣстѣ шва. Нагрузка на 1 qcm поперечнаго сѣченія заклепки при этомъ не должна превосходить: при соединеніяхъ въ **нахлестку** (накладку) въ одинъ рядъ заклепокъ — 700 kg, въ два ряда заклепокъ—650 kg, а въ три ряда заклепокъ—600 kg; для швовъ съ **двумя накладками** при одномъ рядѣ заклепокъ—1200 kg, при двухъ рядахъ заклепокъ—1150 kg, при трехъ рядахъ—1100 kg.

При швахъ съ накладками послѣднія должны быть изготовлены изъ желѣза, по крайней мѣрѣ, такого же качества, какъ и склепываемые листы.

Прочность швовъ, хорошо **заваренныхъ** въ нахлестку, принимается = 0,7 прочности цѣльнаго листа (стр. 444). Швы, подверженные растяженію и изгибу, не слѣдуетъ заваривать, если нѣтъ возможности впослѣдствіи свариваемые предметы тщательно отжечь. Каждая свариваемая часть должна быть подвержена отжиганію.

4. Винты и винтовыя соединенія.

Необходимо различать винты, употребляемые для скрѣпленія обдѣланныхъ и необдѣланныхъ поверхностей. Если:

P общее давленіе на поверхность въ kg,
p давленіе, приходящееся (часть общаго давленія P) на одинъ винтъ, въ kg,
k_z напряженіе сѣченія винта (въ рѣзьбѣ) въ kg/qcm,
d_1 діаметръ винта въ рѣзьбѣ въ cm,

то:

$$k_z = 1{,}27 \frac{p}{d_1^2}, \qquad \text{I.}$$

кромѣ того, независимо отъ матеріала винтовъ (сварочное желѣзо или литое желѣзо), имѣемъ:

1) при хорошихъ винтахъ, хорошо обдѣланныхъ поверхностяхъ и мягкомъ уплотняющемъ матеріалѣ (набивкѣ):

$$d_1 = 0{,}045 \sqrt{p} + 0{,}5 \text{ cm}; \quad \ldots\ldots \quad \text{II.}$$

2) если условія, приведенныя въ 1), соблюдаются въ меньшей степени:

$$d_1 = 0{,}055 \sqrt{p} + 0{,}5 \text{ cm}. \ldots\ldots\ldots \text{III.}$$

Винты изъ литого желѣза должны имѣть не острую, а закругленную рѣзьбу.

При опредѣленіи нагрузки винтовъ можно принимать, что, если:

r (въ cm) наименьшее разстояніе винтовъ отъ центра тяжести прямоугольной или эллиптической поверхности (**фланца**), на которую производится давленіе,

e разстояніе между винтами въ cm,

то наиболѣе нагруженный болтъ подвергается давленію:

НТБ ДНУЗТ

$$p = \frac{Pe}{2\pi r}.$$

Когда есть основаніе опасаться изгибающихъ напряженій, какъ напр. при необдѣланныхъ поверхностяхъ, односторонней набивкѣ, прогибѣ фланцевъ и т. п., то слѣдуетъ произвести добавочный разсчетъ для этихъ напряженій.

Толщина фланцевъ должна быть достаточна для сопротивленія изгибу, равно и не допускать прогиба фланцевъ.

Наружній діаметръ винтовъ не допускается меньше 13 mm. Вообще, слѣдуетъ избѣгать винтовъ, наружнимъ діаметромъ меньше 16 mm.

Нарѣзка Витворта *).

(Сѣченіе нарѣзки см. черт. 279, на стр. 427).

Наружній діам. нарѣзки. d англ. дюйм.	Діам. стержня нарѣзки. d_1 mm	Допускаемое давленіе p въ kg. Коэффиц. 0,045	Коэффиц. 0,055	Наружній діам. нарѣзки. d англ. дюйм.	Діам. стержня нарѣзки. d_1 mm	Допускаемое давленіе p въ kg. Коэффиц. 0,045	Коэффиц. 0,055
5/16	6,13	5,9	3,9	1 3/8	29,50	2950	1975
3/8	7,49	27,5	16,4	1 1/2	32,68	3790	2535
7/16	8,79	65,5	43,8	1 5/8	34,77	4530	3030
1/2	9,99	120	79,6	1 3/4	37,94	5310	3555
5/8	12,92	310	205	1 7/8	40,40	6170	4130
3/4	15,80	570	380	2	43,57	7295	4870
7/8	18,61	900	600	2 1/4	49,02	9570	6410
1	21,33	1320	885	2 1/2	55,37	12510	8370
1 1/8	23,93	1760	1180	2 3/4	60,55	15195	10150
1 1/4	27,10	2370	1585	3	66,90	18860	12610

5. Анкерные и распорные болты (см. стр. 932).

Напряженіе не должно превосходить слѣдующихъ наивысшихъ предѣловъ:

для анкерныхъ и распорныхъ болтовъ сваренныхъ 350 kg/qcm,
" " " несваренныхъ 500 " ,
" " " литого желѣза 600 ,
" " " красной мѣди 300 "

При высокомъ давленіи (10 kg/qcm и выше) необходимо снабженныя наружними гайками долевыя связи (анкера) изъ круглаго желѣза или анкерныя трубы завинчивать въ соотвѣтственныя доски или трубныя стѣнки; тяги, кромѣ того, снабжаются подкладными шайбами снаружи и изнутри соотвѣтственной доски и гайками также изнутри, анкерныя трубы раскатываются, и на нихъ дѣлаются борты.

---

*) См. Siegert, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, стр. 23.

НТБ ДНУЗТ

Длина угловыхъ анкерныхъ скрѣпленій (консолей) изъ листовъ должна быть по возможности больше. У котловъ съ жаровыми трубами нижнія заклепки угловыхъ консолей, скрѣпляющихъ лобовую стѣнку съ жаровой трубой, должны быть удалены на 20 cm отъ окружности жаровой трубы.

Сѣченіе угловыхъ анкерныхъ тягъ должно быть больше, чѣмъ у долевыхъ тягъ, въ отношеніи наклона первыхъ къ оси котла.

Для укрѣпленія концовъ угловыхъ анкерныхъ тягъ служатъ болты и заклепки, размѣры которыхъ должны быть съ запасомъ разсчитаны на дѣйствующія силы.

Двутавровыя и т. п. балки, служащія для укрѣпленія плоскихъ стѣнокъ, должны передавать давленіе непосредственно на цилиндрическую часть котла.

6. Анкерныя балки для потолковъ огневыхъ коробокъ.

Свободно лежащія, неподвѣшенныя, балки.

Если:

p наибольшее рабочее давленіе въ kg/qcm,
w ширина тонки (въ свѣту) по направленію продольной оси котла въ cm,
e разстояніе между анкерными болтами въ cm,
t разстояніе между балками въ cm,
l наибольшая длина балки (въ томъ же направленіи, какъ измѣрено w) въ cm,
h высота балки въ cm,
b толщина балки въ cm (или общая толщина листовъ анкерной балки),
$c = 420$, при одномъ анкерномъ болтѣ въ балкѣ,
$c = 630$, „ 2 или 3 анкерныхъ болтахъ въ балкѣ,
$c = 720$, „ числѣ анкерныхъ болтовъ въ балкѣ больше 3,

то имѣемъ:

$$b = \frac{p\,(w - e)\,t\,l}{c\,h^2}. \qquad \text{IV}$$

b) Если анкерныя балки подвѣшиваются, то разсчетъ производится въ зависимости отъ подвѣски и распредѣленія нагрузки.

7. Опредѣленіе толщины стѣнокъ цилиндрическихъ паровыхъ котловъ, подверженныхъ внутреннему давленію.

Пусть:

s толщина листовъ въ cm,
D внутренній діаметръ котла въ cm,
p наибольшее рабочее давленіе пара въ kg/qcm,
$\mathfrak{S} = 4{,}5$ (для продольныхъ швовъ въ нахлестку) до 4 (для продольныхъ швовъ съ двумя накладками) коэффиціентъ безопасности на разрывъ (см. **1.**, стр. 903),
K_z временное сопротивленіе матеріала растяженію въ kg/qcm (см. **2.**, стр. 903),
φ отношеніе прочности шва къ прочности цѣльнаго листа,

тогда имѣемъ:

НТБ ДНУЗТ

$$s = D\frac{p\,\mathfrak{S}}{2K_z\varphi}, \text{ или } p = K_z\frac{2s\varphi}{D\mathfrak{S}}. \qquad \text{V}$$

Толщину листовъ s никогда не слѣдуетъ принимать меньше 0,7 cm.

Полученную по разсчету толщину листовъ, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій (напр., ржавленіе) полезно увеличивать на 0,1 до 0,3 cm и болѣе; такое увеличеніе толщины необходимо, если по разсчету получается толщина менѣе 1 cm.

Таблицы для швовъ въ нахлестку при $\mathfrak{S} = 4{,}5$ и $K_z = 3000$ kg/cqm для сварочнаго желѣза и $K_z = 3400$ kg/qcm для литого желѣза см стр. **910 до 915** и черт. 287, 288 и 290 см. стр. 440 и 441.

8. Опредѣленіе толщины стѣнокъ жаровыхъ трубъ, подверженныхъ наружному давленію.

Пусть:

d внутренній діаметръ жаровой трубы въ cm,

l длина жаровой трубы въ cm, или наибольшее разстояніе между дѣйствующими усиливающими ребрами. Къ числу такихъ укрѣпленій, кромѣ лобовыхъ стѣнокъ, причисляются конструкціи на черт. 793 до 798 (стр. 890); послѣдняя, однако, лишь въ томъ случаѣ, когда высадка не менѣе 50 mm.

p наибольшее рабочее давленіе въ kg/qcm.

На табл. стр. 916 до 919 находимъ наиболѣе цѣлесообразную толщину листовъ s. Въ графахъ, обозначенныхъ буквой $\ddot{U}$, указаны толщины для жаровыхъ трубъ, имѣющихъ долевые швы, склепанные въ нахлестку, а въ графахъ G—для трубъ, склепанныхъ (по длинѣ) накладками или заварныхъ.

Данныя таблицы составлены по формулѣ К. Баха *):

$$s = \frac{p\,d}{2000}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{p}\,\frac{l}{l+d}}\right) + c, \qquad \text{VI.}$$

гдѣ:

s толщина листовъ въ cm ($s \geqq 0{,}7$ cm),

p наибольшее рабочее давленіе въ kg/qcm,

d внутренній діаметръ жаровой трубы въ cm,

l длина жаровой трубы или наибольшее разстояніе между дѣйствующими усиливающими ребрами въ cm,

$a = 100$ для горизонтальныхъ трубъ, склепанныхъ по длинѣ въ нахлестку,

$a = 70$ для вертикальныхъ трубъ, склепанныхъ по длинѣ въ нахлестку,

$a = 80$ для горизонтальныхъ трубъ, имѣющихъ продольный шовъ съ двумя накладками, или заварныхъ,

$a = 50$ для вертикальныхъ трубъ съ такимъ же продольнымъ швомъ **),

прибавка	$c =$	0,15	0,1	0,05	0 cm
если	$p =$	0 до 5	6	7	болѣе 7 kg/qcm.

*) См. К. Бахъ, Die Maschinen-Elemente, 6 изд., стр. 174 и слѣд., и 7 изд., стр. 187 и слѣд. Stuttgart 1899.

**) См. К. Бахъ, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 845.

НТБ ДНУЗТ

Результаты соотвѣтственно округлены.

Длину l части жаровой трубы, прорѣзанной поперечнымъ кипятильникомъ (Галловейская труба), можно принимать по Баху:

при длинѣ a (черт. 767):

$l = l_1 + 0{,}5\, l_2$, если l_1 наибольшая длина,

при длинѣ b (черт. 767):

$l = l_1 + l_2$, если l_1 больше l_3, въ противномъ случаѣ принимаютъ $l = l_3 + l_2$,

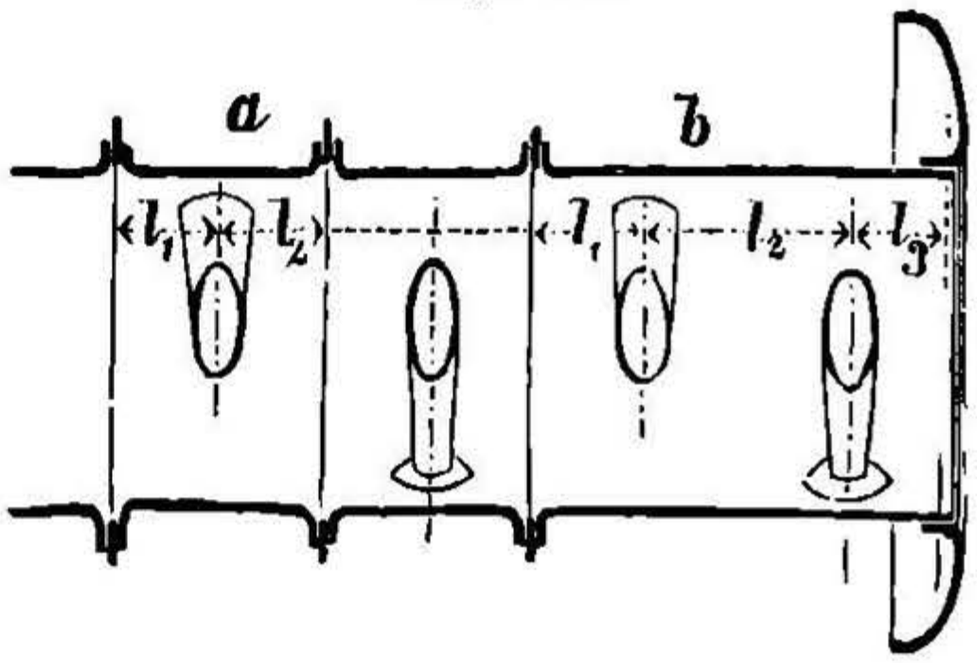
при длинѣ c (черт. 768):

$l = l_1 + l_2$,

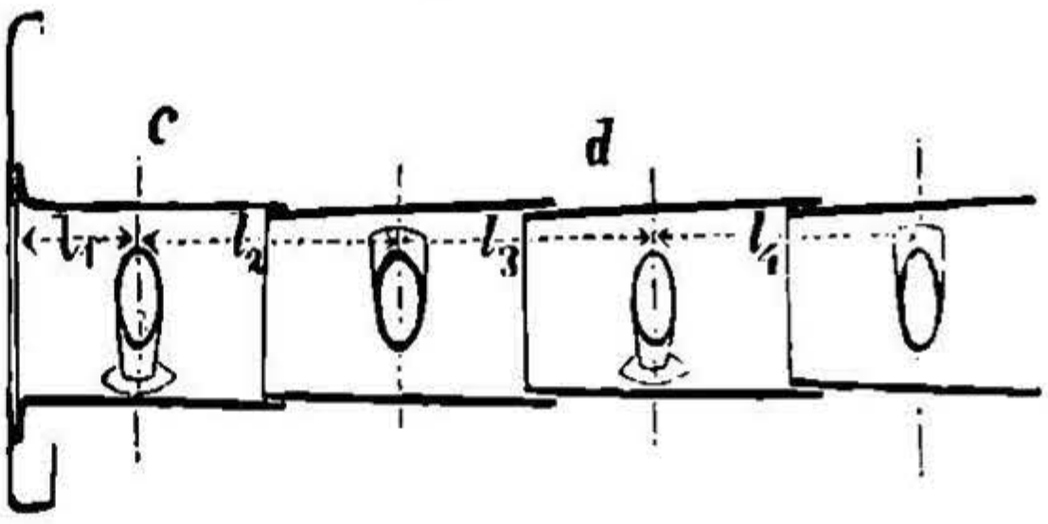
при длинѣ d (черт. 768):

$l = l_2 + l_3$, и соотв. $l = l_3 + l_4$.

Черт. 767.



Черт. 768.



Въ случаѣ сомнѣній въ томъ, что при извѣстной величинѣ поперечныхъ трубокъ, способѣ ихъ укрѣпленія, мѣстѣ ихъ расположенія, послѣднія могутъ служить укрѣпленіями, вмѣсто l принимаютъ полную длину, и на усиленіе отъ поперечныхъ трубокъ не разсчитываютъ.

Волнистыя трубы (Фокса и Мориссона) **и трубы съ ребрами** (Порва-Purves) (послѣднія имѣютъ ребра, удаленныя другъ отъ друга на 9″ и высоту реберъ $1^3/_8$″) разсчитываются по вышеприведенной формулѣ VI для $l = 0$, т.-е.

$$s = \frac{p\,d}{1000} + c\ ^*),$$

гдѣ $c = 0{,}1$ до $0{,}3$ cm ($k_z \leqq 500$ kg/qcm).

Толщину листовъ не слѣдуетъ принимать меньше 0,7 cm.

9. Опредѣленіе толщины листовъ для плоскихъ стѣнокъ.

1. **Плоскія стѣнки.** Если:

s толщина листа въ cm,

p наибольшее рабочее давленіе въ kg/qcm,

---

*) Для котловъ на **морскихъ судахъ** (гдѣ сильный износъ!) по даннымъ „Bureau Veritas“:

$$s = \frac{p\,d_a}{1100} + 0{,}3 \text{ cm},$$

гдѣ d_a наружній діаметръ ($k_z \leqq 550$ kg/qcm). См. G. Eckermann, Zusammenstellung von Vorschriften für den Bau von Schiffs-Dampfkesseln.

НТБ ДНУЗТ

e разстояніе между связывающими болтами (связями, распорными болтами) въ cm,
K_z временное сопротивленіе матеріала разрыву въ kg/qcm,
$c = 1{,}323$, когда связи (или анкера) ввинчены въ плоскую стѣнку или расклепаны;
$c = 1{,}0314$, когда связи завинчены въ стѣнку и снаружи укрѣплены гайкой;
$c = 0{,}9774$, когда связи завинчены въ стѣнку и снабжены изнутри и снаружи гайками и подкладными шайбами, діаметръ которыхъ не меньше 0,4 разстоянія e между рядами связей или анкеровъ. Толщина подкладныхъ шайбъ должна быть не меньше $^2/_3$ толщины плоскаго листа и еще увеличивается въ томъ случаѣ, когда діаметръ шайбъ больше, чѣмъ $1^1/_2$ діаметра круга, описаннаго около шестигранника гайки;
$c = 0{,}8658$, когда связи или анкера снабжаются съ обѣихъ сторонъ плоской стѣнки гайками и подкладными шайбами, причемъ наружняя шайба приклепана къ плоской стѣнкѣ, толщина ея не меньше $^3/_4$ толщины листа и діаметръ ея не меньше 0,6 разстоянія e между рядами болтовъ или анкеровъ,—тогда имѣемъ (см. **табл. стр. 922.**):

$$s = 0{,}15 + e\sqrt{\frac{pc}{K_z}} \quad \text{или} \quad p = \frac{(s - 0{,}15)^2 K_z}{e^2 c} \qquad \text{VII.}$$

2. **Плоскія днища съ отогнутыми бортами.** Значенія s, p и K_z см. выше, въ 1.; если, кромѣ того:
d внутренній діаметръ днища въ cm,
ϱ внутренній радіусъ закругленія борта въ cm,
то, по Баху (см. стр. 421, b.):

$$s = \sqrt{\frac{3}{8}\frac{p}{K_z}}\left[d - \varrho\left(1 + \frac{2\varrho}{d}\right)\right] \text{ или}$$

$$p = \frac{8}{3}K_z\left[\frac{s}{d - \varrho\left(1 + \frac{2\varrho}{d}\right)}\right]^2 \qquad \text{VIII.}$$

Таблица стр. 920 и 921 даетъ толщины жел. s для $K_z = 3400$kg/qcm.

10. Толщина стѣнокъ сводчатыхъ (сферическихъ) днищъ.

Если давленіе дѣйствуетъ на внутреннюю поверхность днища и
s толщина днища въ cm,
p наибольшее рабочее давленіе въ kg/qcm,
R внутренній радіусъ свода въ cm *),
k_z допускаемое напряженіе матеріала въ kg/qcm:
k_z до 450 kg/qcm для сварочнаго желѣза,
„ „ 600 „ „ литого „ ,
„ „ 250 „ „ красной мѣди,
то имѣемъ: $s = \frac{pR}{2k_z}$, или $p = \frac{2sk_z}{R}$. IX.

11. Лазы и другія отверстія въ котлѣ см. стр. 933.

*) Предполагается, что R равно приблизительно діаметру цилиндр. части котла.

НТБ ДНУЗТ

Таблицы толщины стѣнокъ и діаметра цилиндрической части котловъ, подверженныхъ внутреннему давленію.

Составлены по формулѣ V, стр. 907.

A. Сварочное желѣзо.

Примѣчаніе. Въ нижеслѣдующихъ таблицахъ принято временное сопротивленіе желѣза $K_z = 3000$ kg/qcm и $\varphi = 56\%$ прочности цѣлаго листа для цилиндрической части паровыхъ котловъ съ одиночнымъ швомъ въ нахлестку, $\varphi = 70\%$ для цилиндрической части съ двойнымъ швомъ въ нахлестку и $\varphi = 75\%$—съ тройнымъ швомъ въ нахлестку. Если величины K_z и φ неизвѣстны, то толщина желѣза, діаметръ и соотв. давленіе пара опредѣляются просто по таблицамъ. Если, напротивъ, значенія K_z или φ, или и то и другое, извѣстны и отклоняются отъ вышеприведенныхъ, то слѣдуетъ, не пользуясь таблицами, опредѣлять толщину листовъ, діаметръ, соотв. давленіе пара по формулѣ V, стр. 907. Если есть опасеніе быстраго износа желѣзныхъ листовъ, то раціонально увеличить толщину стѣнокъ на величину c, которая, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, можетъ доходить до 3 mm. Прибавка эта необходима въ томъ случаѣ, когда разсчетъ даетъ толщину листовъ < 1 cm.

1. Паровые котлы съ одиночнымъ продольнымъ швомъ (въ нахлестку).

Примѣчаніе. Въ прилагаемой таблицѣ принято $\mathfrak{S} = 4{,}5$, $K_z = 3000$ kg/qcm и $\varphi = 0{,}56$.

Толщина листовъ s mm	Наибольшее рабочее давленіе p (сверхъ наружняго) въ kg/qcm.																												
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
	Наибольшій допускаемый внутренній діаметръ D въ mm.																												
7	5227	3484	2613	2091	1742	1493	1307	1161	1045	950	871	804	747	697	653	615	581	550	523	498	475	454	436	418	402	387	373	360	348
7,5	5600	3733	2800	2240	1867	1600	1400	1244	1120	1018	933	862	800	747	700	659	622	589	560	533	509	487	467	448	431	415	400	386	373
8		3982	2987	2389	1991	1707	1493	1327	1195	1086	996	919	853	796	747	703	664	629	597	569	543	519	498	478	459	442	427	412	398
8,5	.	4231	3173	2539	2116	1813	1587	1410	1269	1154	1058	976	907	846	793	747	705	668	635	604	577	552	529	508	488	470	453	438	423
9	.	4480	3360	2688	2240	1920	1680	1493	1344	1222	1120	1034	960	896	840	791	747	707	672	640	611	584	560	538	517	498	480	463	448
9,5	.	4729	3547	2837	2364	2027	1773	1576	1419	1290	1182	1091	1013	946	887	835	788	747	709	676	645	617	591	567	546	525	507	489	473
10	.	4978	3733	2987	2489	2133	1867	1659	1493	1358	1244	1149	1067	996	933	878	830	786	747	711	679	649	622	597	574	553	533	515	498
10,5		5227	3920	3136	2613	2240	1960	1742	1568	1425	1307	1206	1120	1045	980	922	871	825	784	747	713	682	653	627	603	581	560	541	523
11		5476	4107	3285	2738	2347	2053	1825	1643	1493	1369	1264	1173	1095	1027	966	913	865	821	782	747	714	684	657	632	608	587	566	548
11,5	.	.	4293	3435	2862	2453	2147	1908	1717	1561	1431	1321	1227	1145	1073	1010	954	904	859	818	781	747	716	687	661	636	613	592	572
12	.	.	4480	3584	2987	2560	2240	1991	1792	1629	1493	1378	1280	1195	1120	1054	996	943	896	853	815	779	747	717	689	664	640	618	597
12,5		.	4667	3733	3111	2667	2333	2074	1867	1697	1556	1436	1333	1244	1167	1098	1037	982	933	889	848	812	778	747	718	691	667	644	622
13		.	4853	3883	3236	2773	2427	2157	1941	1765	1618	1493	1387	1294	1213	1142	1079	1022	971	924	882	844	809	777	747	719	693	669	647
13,5			5040	4032	3360	2880	2520	2240	2016	1833	1680	1551	1440	1344	1260	1186	1120	1061	1008	960	916	877	840	806	775	747	720	695	672
14			5227	4181	3484	2987	2613	2323	2091	1901	1742	1608	1493	1394	1307	1230	1161	1100	1045	996	950	909	871	836	804	774	747	721	697

НТБ ДНУЗТ

2. Паровые котлы изъ сварочнаго желѣза съ продольнымъ швомъ двойнымъ (въ нахлестку).

Примѣчаніе. Въ этой таблицѣ принято $\mathfrak{S}=4{,}5$, $K_z=3000$ kg/qcm и $\varphi=0{,}70$.

Толщина листовъ.	Наибол. рабочее давленіе p (сверхъ кар.) въ kg/qcm.													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
s mm	Наибольш. допускаемый внутр. діам. D въ mm.													
7	3267	2178	1633	1307	1089	933	817	726	653	594	544	503	467	436
7,5	3500	2333	1750	1400	1167	1000	875	778	700	636	583	538	500	467
8	3733	2489	1867	1493	1244	1067	933	830	747	679	622	574	533	498
8,5	3967	2644	1983	1587	1322	1133	992	881	793	721	661	610	567	529
9	4200	2800	2100	1680	1400	1200	1050	933	840	764	700	646	600	560
9,5	4433	2956	2217	1773	1478	1267	1108	985	887	806	739	682	633	591
10	4667	3111	2333	1867	1556	1333	1167	1037	933	848	778	718	667	622
10,5	4900	3267	2450	1960	1633	1400	1225	1089	980	891	817	754	700	653
11	5133	3422	2567	2053	1711	1467	1283	1141	1027	933	856	790	733	684
11,5	5367	3578	2683	2147	1789	1533	1342	1193	1073	976	894	826	767	716
12	5600	3733	2800	2240	1867	1600	1400	1244	1120	1018	933	862	800	747
12,5	.	3889	2917	2333	1944	1667	1458	1296	1167	1061	972	897	833	778
13		4044	3033	2427	2022	1733	1517	1348	1213	1103	1011	933	867	809
13,5	.	4200	3150	2520	2100	1800	1575	1400	1260	1145	1050	969	900	840
14	.	4356	3267	2613	2178	1867	1633	1452	1307	1188	1089	1005	933	871
14,5	.	4511	3383	2707	2256	1933	1692	1504	1353	1230	1128	1041	967	902
15		4667	3500	2800	2333	2000	1750	1556	1400	1273	1167	1077	1000	933
15,5		4822	3617	2893	2411	2067	1808	1607	1447	1315	1206	1113	1033	964
16		4978	3733	2987	2489	2133	1867	1659	1493	1358	1244	1149	1067	996
16,5	.	5133	3850	3080	2567	2200	1925	1711	1540	1400	1283	1185	1100	1027
17	.	5289	3967	3173	2644	2267	1983	1763	1587	1442	1322	1221	1133	1058
17,5		5444	4083	3267	2722	2333	2042	1815	1633	1485	1361	1256	1167	1089
18		5600	4200	3360	2800	2400	2100	1867	1680	1527	1400	1293	1200	1120
18,5			4317	3453	2878	2467	2158	1919	1727	1570	1439	1328	1233	1151
19	.	.	4433	3547	2956	2533	2217	1970	1773	1612	1478	1364	1267	1182
19,5		.	4550	3640	3033	2600	2275	2022	1820	1655	1417	1400	1300	1213
20			5667	3733	3111	2667	2333	2074	1867	1697	1556	1436	1333	1244
20,5			4783	3827	3189	2733	2392	2126	1913	1739	1594	1472	1367	1276
21	.		4900	3920	3267	2800	2450	2178	1960	1782	1633	1508	1400	1307
21,5	.		5017	4013	3344	2867	2508	2230	2007	1824	1672	1544	1433	1338
22	.	.	5133	4107	3422	2933	2567	2281	2053	1867	1711	1579	1467	1369
22,5	.		5250	4200	3500	3000	2625	2333	2100	1909	1750	1615	1500	1400
23			5367	4293	3578	3067	2683	2385	2147	1952	1789	1651	1533	1431
23,5			5483	4387	3656	3133	2742	2437	2193	1994	1828	1687	1567	1462
24	.	.	5600	4480	3733	3200	2800	2489	2240	2036	1867	1723	1600	1493
24,5		.		4573	3811	3267	2858	2541	2287	2079	1906	1759	1633	1524
25				4667	3889	3333	2917	2593	2333	2121	1944	1795	1667	1556
25,5				4760	3967	3400	2975	2644	2380	2164	1983	1831	1700	1587
26		.		4853	4044	3467	3033	2696	2427	2206	2022	1867	1733	1618
26,5	.	.	.	4947	4122	3533	3092	2748	2473	2248	2061	1903	1767	1649
27				5040	4200	3600	3150	2800	2520	2291	2100	1938	1800	1680
27,5				5133	4278	3667	3208	2852	2567	2333	2139	1974	1833	1711
28				5227	4356	3733	3267	2904	2613	2376	2178	2010	1867	1742
29				5413	4511	3867	3383	3007	2707	2481	2256	2082	1933	1804
30	.		.	5600	4667	4000	3500	3111	2800	2545	2333	2154	2000	1867
31		.		.	4822	4133	3617	3215	2893	2630	2411	2226	2067	1929
32				.	4978	4267	3733	3319	2987	2715	2489	2297	2133	1991
33					5133	4400	3850	3422	3080	2800	2567	2369	2200	2053
34					5289	4533	3967	3526	3173	2885	2644	2441	2267	2116
35					5444	4667	4083	3630	3267	2970	2722	2513	2333	2178

НТБ ДНУЗТ

3. Паровые котлы изъ сварочнаго желѣза съ продольнымъ швомъ тройнымъ (въ нахлестку).

Примѣчаніе. Въ этой таблицѣ принято $\mathfrak{S}=4{,}5$, $K_z=3000$ kg/qcm и $\varphi=0{,}75$.

Толщина листовъ. s mm	Наибол. рабочее давленіе p (сверхъ нар.) въ kg/qcm													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Наибольш. допускаемый внутр. діам. D въ mm.													
7	3500	2333	1750	1400	1167	1000	875	778	700	636	583	538	500	467
7,5	3750	2500	1875	1500	1250	1071	938	833	750	682	625	577	536	500
8	4000	2667	2000	1600	1333	1143	1000	889	800	727	667	615	571	533
8,5	4250	2833	2125	1700	1417	1214	1063	944	850	773	708	654	607	567
9	4500	3000	2250	1800	1500	1286	1125	1000	900	818	750	692	643	600
9,5	4750	3167	2375	1900	1583	1357	1188	1056	950	864	792	731	679	633
10	5000	3333	2500	2000	1667	1429	1250	1111	1000	909	833	769	714	667
10,5	5250	3500	2625	2100	1750	1500	1313	1167	1050	955	875	808	750	700
11	5500	3667	2750	2200	1833	1571	1375	1222	1100	1000	917	846	786	733
11,5	5750	3833	2875	2300	1917	1643	1438	1278	1150	1045	958	885	821	767
12	6000	4000	3000	2400	2000	1714	1500	1333	1200	1091	1000	923	857	800
12,5		4167	3125	2500	2083	1786	1563	1389	1250	1136	1042	962	893	833
13		4333	3250	2600	2167	1857	1625	1444	1300	1182	1083	1000	929	867
13,5		4500	3375	2700	2250	1929	1688	1500	1350	1227	1125	1038	964	900
14	.	4667	3500	2800	2333	2000	1750	1556	1400	1273	1167	1077	1000	933
14,5		4833	3625	2900	2417	2071	1813	1611	1450	1318	1208	1115	1036	967
15		5000	3750	3000	2500	2143	1875	1667	1500	1364	1250	1154	1071	1000
15,5		5167	3875	3100	2583	2214	1938	1722	1550	1409	1292	1192	1107	1033
16		5333	4000	3200	2667	2286	2000	1778	1600	1455	1333	1231	1143	1067
16,5	.	5500	4125	3300	2750	2357	2063	1833	1650	1500	1375	1269	1179	1100
17	.	5667	4250	3400	2833	2429	2125	1889	1700	1545	1417	1308	1214	1133
17,5		5833	4375	3500	2917	2500	2188	1944	1750	1591	1458	1346	1250	1167
18		6000	4500	3600	3000	2571	2250	2000	1800	1636	1500	1385	1286	1200
18,5			4625	3700	3083	2643	2313	2056	1850	1682	1542	1423	1321	1233
19	.	.	4750	3800	3167	2714	2375	2111	1900	1727	1583	1462	1357	1267
19,5	.		4875	3900	3250	2786	2438	2167	1950	1773	1625	1500	1393	1300
20			5000	4000	3333	2857	2500	2222	2000	1818	1667	1538	1429	1333
20,5			5125	4100	3417	2929	2563	2278	2050	1864	1708	1577	1464	1367
21			5250	4200	3500	3000	2625	2333	2100	1909	1750	1615	1500	1400
21,5	.	.	5375	4300	3583	3071	2688	2389	2150	1955	1792	1654	1536	1433
22			5500	4400	3667	3143	2750	2444	2200	2000	1833	1692	1571	1467
22,5			5625	4500	3750	3214	2813	2500	2250	2045	1875	1731	1607	1500
23			5750	4600	3833	3286	2875	2556	2300	2091	1917	1769	1643	1533
23,5			5875	4700	3917	3357	2938	2611	2350	2136	1958	1808	1679	1567
24	.	.	6000	4800	4000	3429	3000	2667	2400	2182	2000	1846	1714	1600
24,5	.			4900	4083	3500	3063	2722	2450	2227	2042	1885	1750	1633
25				5000	4167	3571	3125	2778	2500	2273	2083	1923	1786	1667
25,5				5100	4250	3643	3188	2833	2550	2318	2125	1962	1821	1700
26				5200	4333	3714	3250	2889	2600	2364	2167	2000	1857	1733
26,5	.	.	.	5300	4417	3786	3313	2944	2650	2409	2208	2038	1893	1767
27				5400	4500	3857	3375	3000	2700	2455	2250	2077	1929	1800
27,5				5500	4583	3929	3438	3056	2750	2500	2292	2115	1964	1833
28				5600	4667	4000	3500	3111	2800	2545	2333	2154	2000	1867
29				5800	4833	4143	3625	3222	2900	2636	2417	2231	2071	1933
30	.	.	.	6000	5000	4286	3750	3333	3000	2727	2500	2308	2143	2000
31	.			.	5167	4429	3875	3444	3100	2818	2583	2385	2214	2067
32				.	5333	4571	4000	3556	3200	2909	2667	2462	2286	2133
33					5500	4714	4125	3667	3300	3000	2750	2538	2357	2200
34					5667	4857	4250	3778	3400	3091	2833	2615	2429	2267
35					5833	5000	4375	3889	3500	3182	2917	2692	2500	2333

НТБ ДНУЗТ

B. Литое желѣзо.

Примѣчаніе. Въ нижеслѣдующихъ таблицахъ принято временное сопротивленіе желѣза $K_z = 3400$ kg/qcm и $\varphi = 56\%$ прочности цѣлаго листа для цилиндрической части паровыхъ котловъ съ одиночнымъ швомъ въ нахлестку, $\varphi = 70\%$ — для двойного шва въ нахлестку и $\varphi = 75\%$ для тройного шва въ нахлестку. Если величины K_z и φ не извѣстны, то толщина желѣза, діаметръ и соотв. давленіе пара опредѣляются просто по таблицамъ. Если же, напротивъ, значенія K_z или φ, или и то и другое извѣстны и отклоняются отъ вышеприведенныхъ, то слѣдуетъ, не пользуясь таблицами, опредѣлять толщину листовъ, діаметръ котла и соотв. давленіе пара по форм. V, стр. 907.

Если есть опасеніе быстраго износа желѣзныхъ листовъ, то раціонально увеличивать толщину стѣнокъ на величину c, которая, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, можетъ доходить до 3 mm. Прибавка эта необходима въ тѣхъ случаяхъ, когда разсчетъ даетъ толщину листовъ < 1 cm.

1. Паровые котлы литого желѣза съ одиночнымъ долевымъ швомъ (въ нахлестку).

Примѣчаніе. Въ этой таблицѣ принято $\mathfrak{S} = 4{,}5$, $K_z = 3400$ kg/qcm и $\varphi = 0{,}56$.

Толщина листовъ δ mm	Наибольшее рабочее давленіе (сверхъ наружнаго) p въ kg/qcm																													
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	
	Наибольшій допускаемый внутренній діаметръ D въ mm.																													
7	5924	3949	2962	2369	1975	1692	1481	1316	1185	1077	987	911	846	790	740	697	658	624	592	564	539	515	494	474	456	439	423	409	395	
7,5	•	4231	3173	2539	2116	1813	1587	1410	1269	1154	1058	976	907	846	793	747	705	668	635	604	577	552	529	508	488	470	453	438	423	
8	•	4513	3385	2708	2257	1934	1692	1504	1354	1231	1128	1042	967	903	846	796	752	713	677	645	615	589	564	542	521	501	484	467	451	
8,5		4795	3596	2877	2398	2055	1798	1598	1439	1308	1199	1107	1028	959	899	846	799	757	719	685	654	625	599	575	553	533	514	496	480	
9	•	5077	3808	3046	2539	2176	1904	1692	1523	1385	1269	1172	1088	1015	952	896	846	802	762	725	692	662	635	609	586	564	544	525	508	
9,5		5359	4020	3216	2680	2297	2010	1786	1608	1462	1340	1237	1148	1072	1005	946	893	846	804	766	731	699	670	643	618	595	574	554	536	
10		5641	4231	3385	2821	2418	2116	1880	1692	1539	1410	1302	1209	1128	1058	996	940	891	846	806	769	736	705	677	651	627	604	584	564	
10,5			4443	3554	2962	2539	2221	1975	1777	1616	1481	1367	1269	1185	1111	1045	987	935	889	846	808	773	740	711	683	658	635	613	592	
11			4654	3723	3103	2660	2327	2069	1862	1692	1551	1432	1330	1241	1164	1095	1034	980	931	887	846	809	776	745	716	690	665	642	621	
11,5	.	.	4866	3893	3244	2780	2433	2163	1946	1769	1622	1497	1390	1298	1216	1145	1081	1024	973	927	885	846	811	779	749	721	695	671	649	
12			5077	4062	3385	2901	2539	2257	2031	1846	1692	1562	1451	1354	1269	1195	1128	1069	1015	967	923	883	846	812	781	752	725	700	677		
12,5			5289	4231	3526	3022	2644	2351	2116	1923	1763	1627	1511	1410	1322	1244	1175	1113	1058	1007	962	920	881	846	814	784	756	730	705		
13			5500	4400	3667	3143	2750	2445	2200	2000	1833	1692	1572	1467	1375	1291	1222	1158	1100	1048	1000	957	917	880	846	815	786	759	733		
13,5			5712	4570	3808	3264	2856	2539	2285	2077	1904	1758	1632	1523	1428	1344	1269	1203	1142	1088	1039	993	952	914	879	846	816	788	762		
14				4739	3949	3385	2962	2633	2369	2154	1975	1823	1692	1580	1481	1394	1316	1247	1185	1128	1077	1030	987	948	911	878	846	817	790		

НТБ ДНУЗТ

2. Паровые котлы литого желѣза съ долевымъ швомъ двойнымъ (въ нахлестку).

Примѣчаніе. Въ этой таблицѣ принято $\mathfrak{S}=4{,}5$, $K_z=3400$ kg/qcm и $\varphi=0{,}70$.

Толщина листовъ.	Наибол. рабочее давленіе (сверхъ нар.) p въ kg/qcm:													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
s mm.	Наибольшій допуск. внутр. діам. D въ mm.													
7	3702	2468	1851	1481	1234	1058	926	823	740	673	617	570	529	494
7,5	3967	2644	1983	1587	1322	1133	992	881	793	721	661	610	567	529
8	4231	2821	2116	1692	1410	1209	1058	940	846	769	705	651	604	564
8,5	4496	2997	2248	1798	1499	1284	1124	999	899	817	749	692	642	599
9	4760	3173	2380	1904	1587	1360	1190	1058	952	865	793	732	680	635
9,5	5024	3350	2512	2010	1675	1436	1256	1117	1005	914	837	773	718	670
10	5289	3526	2644	2116	1763	1511	1322	1175	1058	962	881	814	756	705
10,5	5553	3702	2777	2221	1851	1587	1388	1234	1111	1010	926	854	793	740
11	5818	3879	2909	2327	1939	1662	1454	1293	1164	1058	970	895	831	776
11,5	6082	4055	3041	2433	2027	1738	1521	1352	1216	1106	1014	936	869	811
12	6347	4231	3173	2539	2116	1813	1587	1410	1269	1154	1058	976	907	846
12,5	.	4407	3306	2644	2204	1889	1653	1469	1322	1202	1102	1017	944	881
13		4584	3438	2750	2292	1964	1719	1528	1375	1250	1146	1058	982	917
13,5		4760	3570	2856	2380	2040	1785	1587	1428	1298	1190	1098	1020	952
14	.	4936	3702	2962	2468	2116	1851	1645	1481	1346	1234	1139	1058	987
14,5	.	5113	3834	3068	2556	2191	1917	1704	1534	1394	1278	1180	1096	1023
15		5289	3967	3173	2644	2267	1983	1763	1587	1442	1322	1221	1133	1058
15,5		5465	4099	3279	2733	2342	2049	1822	1640	1491	1366	1261	1171	1093
16		5641	4231	3385	2821	2418	2116	1880	1692	1539	1410	1302	1209	1128
16,5	.	5818	4363	3491	2909	2493	2182	1939	1745	1587	1454	1343	1247	1164
17		5994	4496	3596	2997	2569	2248	1998	1798	1635	1499	1383	1284	1199
17,5		6170	4628	3702	3085	2644	2314	2057	1851	1683	1543	1424	1322	1234
18	.	6347	4760	3808	3173	2720	2380	2116	1904	1731	1587	1465	1360	1269
18,5	.	.	4892	3914	3261	2796	2446	2174	1957	1779	1631	1505	1398	1305
19	.	.	5024	4020	3350	2871	2512	2233	2010	1827	1675	1546	1436	1340
19,5	.	.	5157	4125	3438	2947	2578	2292	2063	1875	1719	1587	1473	1375
20			5289	4231	3526	3022	2644	2351	2116	1923	1763	1627	1511	1410
20,5			5421	4337	3614	3098	2711	2409	2168	1971	1807	1668	1549	1446
21			5553	4443	3702	3173	2777	2468	2221	2019	1851	1709	1587	1481
21,5	.	.	5686	4548	3790	3249	2843	2527	2274	2067	1895	1749	1624	1516
22	.	.	5818	4654	3879	3324	2909	2586	2327	2116	1939	1790	1662	1551
22,5		.	5950	4760	3967	3400	2975	2644	2380	2164	1983	1831	1700	1587
23		.	6082	4866	4055	3476	3041	2703	2433	2212	2027	1871	1738	1622
23,5			6214	4972	4143	3551	3107	2762	2486	2260	2071	1912	1776	1657
24	.	.	6347	5077	4231	3627	3173	2821	2539	2308	2116	1953	1813	1692
24,5	.	.	.	5183	4319	3702	3239	2880	2592	2356	2160	1994	1851	1728
25				5289	4407	3778	3306	2938	2644	2404	2204	2034	1889	1763
25,5				5395	4496	3853	3372	2997	2697	2452	2248	2075	1927	1798
26				5500	4584	3929	3438	3056	2750	2500	2292	2116	1964	1833
26,5		.	.	5606	4672	4004	3504	3115	2803	2548	2336	2156	2002	1869
27			.	5712	4760	4080	3570	3173	2856	2596	2380	2197	2040	1904
27,5				5818	4848	4156	3636	3232	2909	2644	2424	2238	2078	1939
28				5924	4936	4231	3702	3291	2962	2693	2468	2278	2116	1975
29				6135	5113	4382	3834	3408	3068	2789	2556	2360	2191	2045
30	.	.	.	6347	5289	4533	3967	3526	3173	2885	2644	2441	2267	2116
31				.	5465	4684	4099	3643	3279	2981	2733	2522	2342	2186
32					5641	4836	4231	3761	3385	3077	2821	2604	2418	2257
33					5818	4987	4363	3879	3491	3173	2909	2685	2493	2327
34					5994	5138	4496	3996	3596	3269	2997	2766	2569	2398
35					6170	5289	4628	4114	3702	3366	3085	2848	2644	2468

НТБ ДНУЗТ

3. Паровые котлы литого желѣза съ долевымъ швомъ тройнымъ (въ нахлестку).

Примѣчаніе. Въ этой таблицѣ принято $\mathfrak{S} = 4{,}5$, $K_z = 3400$ kg/qcm и $\varphi = 0{,}75$.

Толщина листовъ.	Наибол. рабочее давленіе (сверхъ нар.) p на kg/qcm:													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
s mm	Наибольшій допуск. внутр. діам. D въ mm													
7	3967	2644	1983	1587	1322	1133	992	881	793	721	661	610	567	529
7,5	4250	2833	2125	1700	1417	1214	1063	944	850	773	708	654	607	567
8	4533	3022	2267	1813	1511	1295	1133	1007	907	824	756	697	648	604
8,5	4817	3211	2408	1927	1606	1376	1204	1070	963	876	803	741	688	642
9	5100	3400	2550	2040	1700	1457	1275	1133	1020	927	850	785	729	680
9,5	5383	3589	2692	2153	1794	1538	1346	1196	1077	979	897	828	769	718
10	5667	3778	2833	2267	1889	1619	1417	1259	1133	1030	944	872	810	756
10,5	5950	3967	2975	2380	1983	1700	1488	1322	1190	1082	992	915	850	793
11	6233	4156	3117	2493	2078	1781	1558	1385	1247	1133	1039	959	890	831
11,5	6517	4344	3258	2607	2172	1862	1629	1448	1303	1185	1086	1003	931	869
12	6800	4533	3400	2720	2267	1943	1700	1511	1360	1236	1133	1046	971	907
12,5		4722	3542	2833	2361	2024	1771	1574	1417	1288	1181	1090	1012	944
13		4911	3683	2947	2456	2105	1842	1637	1473	1339	1228	1133	1052	982
13,5		5100	3825	3060	2550	2186	1913	1700	1530	1391	1275	1177	1093	1020
14	.	5289	3967	3173	2644	2267	1983	1763	1587	1442	1322	1221	1133	1058
14,5	.	5478	4108	3287	2739	2348	2054	1826	1643	1494	1369	1264	1174	1096
15	.	5667	4250	3400	2833	2429	2125	1889	1700	1545	1417	1308	1214	1133
15,5		5856	4392	3513	2928	2510	2196	1952	1757	1597	1464	1351	1255	1171
16		6044	4533	3627	3022	2590	2267	2015	1813	1648	1511	1395	1295	1209
16,5	.	6233	4675	3740	3117	2671	2338	2078	1870	1700	1558	1438	1336	1247
17		6422	4817	3853	3211	2752	2408	2141	1927	1752	1606	1482	1376	1284
17,5		6611	4958	3967	3306	2833	2479	2204	1983	1803	1653	1526	1417	1322
18		6800	5100	4080	3400	2914	2550	2267	2040	1855	1700	1569	1457	1360
18,5			5242	4193	3494	2995	2621	2330	2097	1906	1747	1613	1498	1398
19	.	.	5383	4307	3589	3076	2692	2393	2153	1958	1794	1656	1538	1436
19,5		.	5525	4420	3683	3157	2763	2456	2210	2009	1842	1700	1579	1473
20			5667	4533	3778	3238	2833	2519	2267	2061	1889	1744	1619	1511
20,5			5808	4647	3872	3319	2904	2581	2323	2112	1936	1787	1660	1549
21			5950	4760	3967	3400	2975	2644	2380	2164	1983	1831	1700	1587
21,5	.	.	6092	4873	4061	3481	3046	2707	2437	2215	2031	1874	1740	1624
22			6233	4987	4156	3562	3117	2770	2493	2267	2078	1918	1781	1662
22,5			9375	5100	4250	3643	3188	2833	2550	2318	2125	1962	1821	1700
23			6517	5213	4344	3724	3258	2896	2607	2370	2172	2005	1862	1738
23,5			6658	5327	4439	3805	3329	2959	2663	2421	2219	2049	1902	1776
24	.	.	6800	5440	4533	3886	3400	3022	2720	2473	2267	2092	1943	1813
24,5			.	5553	4628	3967	3471	3085	2777	2524	2314	2136	1983	1851
25				5667	4722	4048	3542	3148	2833	2576	2361	2179	2024	1889
25,5				5780	4817	4129	3613	3211	2890	2627	2408	2223	2064	1927
26				5893	4911	4210	3683	3274	2947	2679	2456	2267	2105	1964
26,5	.	.	.	6007	5006	4290	3754	3337	3003	2730	2503	2310	2145	2002
27				6120	5100	4371	3825	3400	3060	2782	2550	2354	2186	2040
27,5				6233	5194	4452	3896	3463	3117	2833	2597	2397	2226	2078
28				6347	5289	4533	3967	3526	3173	2885	2644	2441	2267	2116
29				6573	5478	4695	4108	3652	3287	2988	2739	2528	2348	2191
30	.	.	.	6800	5667	4857	4250	3778	3400	3091	2833	2615	2429	2267
31	.			.	5856	5019	4392	3904	3513	3194	2928	2703	2510	2342
32					6044	5181	4533	4030	3627	3297	3022	2790	2590	2418
33					6233	5343	4675	4156	3740	3400	3117	2877	2671	2493
34					6422	5505	4817	4281	3853	3503	3211	2964	2752	2569
35					6611	5667	4958	4407	3967	3606	3306	3051	2833	2644

НТБ ДНУЗТ

Таблица толщины стѣнокъ *s* горизонтальныхъ жаровыхъ трубъ въ mm.

(См. стр. 907 и 908).

Длина *l*. mm	Внутр. діаметръ *d*. mm	Наибольшее рабочее давленіе (сверхъ наружн.) *p* въ kg/qcm.																			
		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
		Ü	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*
Длина *l* = 500 mm.	500	7	7	7	7	7	7	7,5	7	7,5	7	7,5	7	8	7,5	9	8,5	9,5	9	10	9,5
	550	7	7	7	7	7,5	7	8	7	8	7,5	8	7,5	8,5	8	9,5	9	10	9,5	11	10
	600	7	7	7	7	7,5	7	8	7,5	8,5	8	8,5	8	9,5	9	10	9,5	11	10	11,5	11
	630	7	7	7	7	8	7,5	8,5	8	9	8,5	9,5	8,5	10	9,5	11	10	11,5	11	12,5	11,5
	700	7	7	7,5	7	8,5	8	9	8,5	9,5	9	10	9	10,5	10	11,5	11	12,5	11,5	13	12,5
	750	7	7	8	7,5	9	8,5	9,5	9	10	9,5	10,5	9,5	11	10,5	12,5	11,5	13	12,5	14	13
	800	7	7	8,5	8	9,5	9	10	9,5	10,5	10	11	10	12	11	13	12	14	13	14,5	14
	850	7,5	7	8,5	8	10	9,5	10,5	10	11	10,5	11,5	11	12,5	12	13,5	12,5	14,5	14	15,5	14,5
	900	7,5	7	9	8,5	10	9,5	11	10	11,5	11	12	11,5	13	12,5	14	13,5	15	14,5	16	15,5
	950	8	7,5	9,5	9	10,5	10	11,5	10,5	12	11	12,5	12	13,5	13	15	14	16	15	17	16
	1000	8	7,5	9,5	9	11	10,5	12	11	12,5	11,5	13	12,5	14	13,5	15,5	15	16,5	16	.	17
	1050	8,5	8	10	9,5	11,5	10,5	12	11,5	13	12	13,5	13	15	14	16	15,5	17,5	16,5		.
	1100	8,5	8	10	9,5	11,5	11	12,5	12	13,5	12,5	14	13,5	15,5	14,5	17	16	.	17		.
	1150	9	8,5	10,5	10	12	11,5	13	12	14	13	14,5	14	16	15	.	16,5		.		.
	1200	9	8,5	11	10	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13,5	15	14,5	16,5	16		17				.
	1250	9,5	9	11	10,5	12,5	12	13,5	13	15	14	15,5	15	17	16,5		.				.
	1300	10	9	11,5	11	13	12,5	14	13,5	15,5	14,5	16	15,5	.	17	.	.	.	.	.	.
Длина *l* = 1000 mm.	500	7	7	7	7	7,5	7	8	7,5	8	7,5	8,5	7,5	9	8	9,5	9	10	9,5	10,5	10
	550	7	7	7	7	8	7,5	8,5	8	8,5	8	9	8	10	9	10	9,5	11	10	11,5	11
	600	7	7	7,5	7	8,5	8	9	8,5	9	8,5	9,5	9	10,5	9,5	11	10,5	12	11	12,5	12
	650	7	7	8	7,5	9	8,5	9,5	9	10	9	10	9,5	11	10,5	12	11	13	12	13,5	12,5
	700	7,5	7	8,5	8	9,5	9	10	9,5	10,5	10	11	10	12	11	13,5	12,5	13,5	13	14,5	13,5
	750	7,5	7	9	8,5	10	9,5	10,5	10	11	10,5	11,5	11	12,5	11,5	14	13,5	14,5	13,5	15,5	14,5
	800	8	7,5	9	8,5	10,5	9,5	11	10,5	11,5	11	12	11,5	13	12,5	15	14	15	14	16	15,5
	850	8,5	8	9,5	9	11	10	11,5	11	12	11,5	13	12	14	13	16	15	16	15	17	16
	900	8,5	8	10	9,5	11,5	10,5	12	11,5	13	12	13,5	12,5	14,5	13,5	16,5	15,5	17	16	.	17
	950	9	8,5	10,5	10	12	11	12,5	12	13,5	12,5	14	13	15	14,5	17	16	17,5	16,5		.
	1000	9	8,5	11	10	12,5	11,5	13	12,5	14	13	15	14	16	15	.	17	.	17,5		.
	1050	9,5	9	11,5	10,5	13	12	13,5	13	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15,5		.		.		.
	1100	10	9	11,5	11	13	12,5	14	13	15	14	16	15	17,5	16,5						.
	1150	10	9,5	12	11	13,5	13	14,5	13,5	16	14,5	17	15,5	.	17				.		.
	1200	10,5	10	12,5	11,5	14	13	15	14	16,5	15	17,5	16								.
	1250	10,5	10	13	12	14,5	13,5	15,5	14,5	17	16	.	16,5								.
	1300	11	10,5	13	12	15	14	16	15	17,5	16	.	17	.	.	.	.	.	.	.	.
Длина *l* = 1500 mm.	500	7	7	7	7	7,5	7	8	7,5	8,5	8	8,5	8	9	8,5	10	9	10,5	10	11	10,5
	550	7	7	7,5	7	8,5	8	8,5	8	9	8,5	9	8,5	10	9,5	10,5	10	11,5	10,5	12	11,5
	600	7	7	8	7,5	9	8,5	9	8,5	9,5	9	10	9	11	10	11,5	11	12,5	11,5	13	12,5
	650	7,5	7	8,5	8	9,5	9	10	9	10	9,5	10,5	10	11,5	11	12,5	11,5	13,5	12,5	14	13
	700	7,5	7	9	8,5	10	9,5	10,5	10	11	10	11,5	10,5	12,5	11,5	13,5	12,5	14	13,5	15	14
	750	8	7,5	9,5	8,5	10,5	10	11	10,5	11,5	11	12	11,5	13	12,5	14,5	13,5	15	14	16	15
	800	8,5	8	10	9	11	10,5	11,5	11	12	11,5	13	12	14	13	15	14	16	15	17	16
	850	9	8	10	9,5	11,5	11	12	11,5	13	12	13,5	12,5	14,5	13,5	16	15	17	16	.	17
	900	9,5	8,5	10,5	10	12	11	13	12	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15,5	.	16,5		.
	950	9,5	9	11	10,5	12,5	11,5	13,5	12,5	14	13,5	15	14	16	15	17,5	16,5		17,5		.
	1000	10	9	11,5	10,5	13	12	14	13	15	14	15,5	14,5	17	16	.	17		.		.
	1050	10	9,5	12	11	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15	.	16,5		.				.
	1100	10,5	10	12,5	11,5	14	13	15	14	16	15	17	16		17						
	1150	11	10	13	12	14,5	13,5	15,5	14,5	17	15,5	.	16,5		.						.
	1200	11,5	10,5	13	12,5	15	14	16	15	17,5	16		17								.
	1250	11,5	11	13,5	12,5	15,5	14,5	16,5	15,5	.	16,5		.								.
	1300	12	11	14	13	16	15	17	16		17										

НТБ ДНУЗТ

Таблица толщины стѣнокъ *s* горизонтальныхъ жаровыхъ трубъ въ mm.

(См. стр. 907 и 908).

Длина *l* mm | Внутр. діаметръ *d*. mm | Наибольшее рабочее давленіе (сверхъ наружн.) *p* въ kg/qcm.

	3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	Ü	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*
Длина *l* = 2000 mm.																				
500	7	7	7	7	8	7,5	8,5	8	8,5	8	9	8	9,5	9	10	9,5	10,5	10	11,5	10,5
550	7	7	7,5	7	8,5	8	9	8,5	9	8,5	9,5	8,5	10	9,5	11	10	11,5	11	12,5	11,5
600	7	7	8	7,5	9	8,5	9,5	9	10	9	10	9,5	11	10,5	12	11	12,5	12	13,5	12,5
650	7,5	7	8,5	8	9,5	9	10	9,5	10,5	10	11	10	12	11	13	12	13,5	12,5	14,5	13,5
700	8	7,5	9	8,5	10	9,5	11	10	11,5	10,5	12	11	12,5	12	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5
750	8,5	7,5	9,5	9	10,5	10	11,5	10,5	12	11	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15,5
800	8,5	8	10	9,5	11	10,5	12	11	12,5	12	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15,5	17,5	16,5
850	9	8,5	10,5	10	12	11	12,5	12	13,5	12,5	14	13	15	14	16,5	15	17,5	16,5	•	17,5
900	9,5	9	11	10	12,5	11,5	13,5	12,5	14	13	15	13,5	16	15	17	16,5	•	17	•	•
950	10	9	11,5	10,5	13	12	14	13	14,5	13,5	15,5	14,5	17	15,5	•	17		•		
1000	10	9,5	12	11	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5	16	15	•	16,5						
1050	10,5	10	12,5	11,5	14	13	15	14	16	15	17	16	•	17						
1100	11	10	13	12	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15,5	•	16,5		•		•				
1150	11,5	10,5	13,5	12,5	15	14	16	15	17	16	•	17								
1200	11,5	11	13,5	12,5	15,5	14,5	17	15,5	•	16,5						•				
1250	12	11	14	13	16	15	•	16	•	17,5				•						
1300	12,5	11,5	14,5	13,5	16,5	15,5	•	16,5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Длина *l* = 2500 mm.																				
500	7	7	7	7	8	7,5	8,5	8	8,5	8	9	8	9,5	9	10	9,5	11	10	11,5	10,5
550	7	7	7,5	7	8,5	8	9	8,5	9,5	8,5	9,5	9	10,5	9,5	11	10,5	12	11	12,5	11,5
600	7	7	8	7,5	9	8,5	9,5	9	10	9,5	10,5	9,5	11	10,5	12	11	13	12	13,5	12,5
650	7,5	7	8,5	8	10	9	10	9,5	10,5	10	11	10,5	12	11	13	12	14	13	14,5	13,5
700	8	7,5	9	8,5	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12	11	13	12	14	13	15	14	15,5	14,5
750	8,5	8	9,5	9	11	10	11,5	11	12	11,5	13	12	14	13	15	14	16	15	17	15,5
800	9	8	10	9,5	11,5	10,5	12	11,5	13	12	13,5	12,5	14,5	13,5	16	14,5	17	15,5	•	16,5
850	9,5	8,5	10,5	10	12	11,5	13	12	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15,5	•	16,5		17,5
900	9,5	9	11	10,5	12,5	12	13,5	12,5	14,5	13,5	15	14	16,5	15	17,5	16,5	•	17,5		•
950	10	9,5	11,5	11	13	12,5	14	13	15	14	16	15	17	16	•	17	•	•		
1000	10,5	9,5	12	11,5	13,5	13	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15,5	•	17		•				
1050	11	10	12,5	12	14	13,5	15,5	14,5	16,5	15	17,5	16		•				•		
1100	11	10,5	13	12	15	14	16	15	17	16	•	17								
1150	11,5	10,5	13,5	12,5	15,5	14,5	16,5	15,5	•	16,5		•						•		
1200	12	11	14	13	16	15	17	16	•	17	•	•		•		•		•		
1250	12,5	11,5	14,5	13,5	16,5	15,5	•	16,5		•	•	•						•		
1300	13	12	15	14	17	16	•	17	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Длина *l* = 3000 mm и болѣе.																				
500	7	7	7	7	8	7,5	8,5	8	8,5	8	9	8	9,5	9	10	9,5	11	10	11,5	11
550	7	7	7,5	7	8,5	8	9	8,5	9,5	8,5	9,5	9	10,5	9,5	11	10,5	12	11	12,5	12
600	7	7	8	7,5	9	8,5	9,5	9	10	9,5	10,5	9,5	11,5	10,5	12	11,5	13	12	13,5	13
650	7,5	7	9	8	10	9	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12	11,5	13	12	14	13	15	14
700	8	7,5	9,5	8,5	10,5	9,5	11	10,5	11,5	10,5	12	11	13	12	14	13	15	14	16	15
750	8,5	8	10	9	11	10,5	11,5	11	12	11,5	13	12	14	13	15	14	16	15	17	16
800	9	8	10,5	9,5	11,5	11	12,5	11,5	13	12	13,5	12,5	15	14	16	15	17	16	•	17
850	9,5	8,5	11	10	12,5	11,5	13	12	13,5	13	14,5	13,5	15,5	14,5	17	15,5	•	17		•
900	10	9	11,5	10,5	13	12	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14	16,5	15,5	•	16,5	•			
950	10	9,5	12	11	13,5	12,5	14,5	13,5	15	14	16	15	17,5	16,5		17				
1000	10,5	10	12,5	11,5	14	13	15	14	16	15	17	15,5	•	17		•				
1050	11	10	13	12	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15,5	•	16,5		•				•		
1100	11,5	10,5	13,5	12,5	15	14	16	15	17	16		17								
1150	12	11	14	13	15,5	14,5	17	15,5	•	16,5		•			•	•		•		•
1200	12	11,5	14,5	13,5	16	15	•	16,5		17,5		•		•	•	•		•		•
1250	12,5	11,5	15	13,5	17	15,5		17		•						•	•	•		•
1300	13	12	15,5	14	•	16		•		•										

НТБ ДНУЗТ

Таблица толщины стѣнокъ *s* вертикальныхъ жаровыхъ трубъ въ mm.

(См. стр. 907 и 908).

Длина *l*. mm	Внутр. діаметръ *d*. mm	Наибольшее рабочее давленіе *p* въ kg/qcm.																			
		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
		Ü	G	Ü	G	Ü	G	Ü	G	Ü	G	Ü	G	Ü	G	Ü	G	Ü	G	Ü	G
Длина *l* = 500 mm.	500	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,5	7	8	7,5	8,5	8	9	8,5
	550	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	7	8,5	8	9	8,5	10	9
	600	7	7	7	7	7	7	7,5	7	7,5	7	8	7	8,5	8	9	8,5	10	9	10,5	9,5
	650	7	7	7	7	7,5	7	8	7	8	7,5	8.5	7,5	9	8,5	10	9	10,5	9,5	11	10,5
	700	7	7	7	7	8	7	8	7,5	8,5	8	9	8	9,5	9	10,5	9,5	11	10,5	12	11
	750	7	7	7	7	8	7,5	8,5	8	9	8,5	9,5	8,5	10	9,5	11	10	12	11	12,5	12,5
	800	7	7	7,5	7	8,5	8	9	8	9,5	8,5	10	9	11	10	11,5	11	12,5	12	13,5	12,5
	850	7	7	8	7	9	8	9,5	8,5	10	9	10,5	9,5	11,5	10.5	12,5	11,5	13	12,5	14	13
	900	7	7	8	7,5	9,5	8,5	10	9	10,5	9,5	11	10	12	11	13	12	14	13	15	14
	950	7	7	8,5	8	9,5	9	10	9,5	11	10	11,5	10,5	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5
	1000	7,5	7	8,5	8	10	9	10,5	10	11,5	10,5	12	11	13	12	14	13	15	14	16,5	15,5
	1050	7,5	7	9	8,5	10,5	9,5	11	10	11,5	11	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	14	16	15	17	16
	1100	8	7,5	9,5	8,5	10,5	9,5	11,5	10,5	12	11,5	13	12	14	13	15,5	14,5	16,5	15,5	17,5	16,5
	1150	8	7,5	9,5	9	11	10	12	11	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13,5	16	15	17	16		17,5
	1200	8,5	7,5	10	9	11,5	10,5	12,5	11,5	13	12	14	13	15	14	16,5	15,5		17		
	1250	8,5	8	10	9,5	11,5	11	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5	17	16		17,5		
	1300	9	8	10,5	9,5	12	11	13	12	14	13	15	14	16	15	17,5	16,5	.	.	.	.
Длина *l* = 1000 mm.	500	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,5	7	8	7	8,5	7,5	9	8,5	9,5	9
	550	7	7	7	7	7	7	7,5	7	7,5	7	8	7	8,5	8	9	8,5	10	9	10,5	9,5
	600	7	7	7	7	7,5	7	8	7,5	8	7,5	8,5	8	9	8,5	10	9	10,5	10	11,5	10,5
	650	7	7	7	7	8	7,5	8,5	7,5	9	8	9	8,5	10	9	10,5	10	11,5	10,5	12	11
	700	7	7	7,5	7	8,5	8	9	8	9,5	8,5	9,5	9	10,5	9,5	11,5	10,5	12	11	13	12
	750	7	7	8	7,5	9	8	9,5	8,5	10	9	10,5	9,5	11	10,5	12	11	13	12	14	13
	800	7	7	8,5	7,5	9,5	8,5	10	9	10,5	9,5	11	10	12	11	13	12	14	12,5	14,5	13,5
	850	7,5	7	8,5	8	10	9	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12,5	11,5	13,5	12 5	14,5	13,5	15,5	14,5
	900	8	7	9	8,5	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12	11	13	12	14	13	15,5	14	16,5	15
	950	8	7,5	9,5	8,5	10,5	10	11,5	10,5	12	11	12,5	11,5	14	12,5	15	13,5	16	15	17	16
	1000	8,5	7,5	9,5	9	11	10	12	11	12,5	11,5	13,5	12	14,5	13	15,5	14,5	16,5	15,5		16,5
	1050	8,5	8	10	9,5	11,5	10,5	12,5	11	13	12	14	12,5	15	14	16,5	15	17,5	16		17,5
	1100	9	8	10,5	9,5	12	11	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13	15,5	14,5	17	15,5	.	17		.
	1150	9	8,5	11	10	12,5	11	13	12	14	13	15	13,5	16,5	15	17,5	16,5		17,5		
	1200	9,5	8,5	11	10	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14	17	15,5	.	17				
	1250	9,5	9	11,5	10,5	13	12	14	13	15	14	16	14,5	17,5	16		17,5				
	1300	10	9	12	11	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14,5	16,5	15	.	16,5	.	.	.	.	.	.
Длина *l* = 1500 mm.	500	7	7	7	7	7	7	7	7	7,5	7	7,5	7	8	7,5	8,5	8	9,5	8,5	10	9
	550	7	7	7	7	7,5	7	7,5	7	8	7	8	7,5	9	8	9,5	8,5	10	9,5	11	10
	600	7	7	7	7	8	7,5	8,5	7,5	8,5	8	9	8	9,5	8,5	10,5	9,5	11	10	12	11
	650	7	7	7,5	7	8,5	7,5	9	8	9	8,5	9,5	8,5	10,5	9,5	11	10	12	11	12,5	11,5
	700	7	7	8	7	9	8	9,5	8,5	10	9	10	9	11	10	12	11	12,5	11,5	13,5	12,5
	750	7	7	8,5	7,5	9,5	8,5	10	9	10,5	9,5	11	10	12	10,5	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13
	800	7,5	7	8,5	8	10	9	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13	15,5	14
	850	8	7	9	8	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12	11	13	12	14	13	15	14	16	15
	900	8	7,5	9,5	8,5	11	9,5	11,5	10,5	12	11	13	11,5	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5
	950	8,5	7,5	10	9	11	10	12	11	12,5	11,5	13,5	12	14,5	13	15,5	14,5	17	15,5		16,5
	1000	9	8	10,5	9,5	11,5	10,5	12,5	11,5	13,5	12	14	12,5	15	14	16,5	15	17,5	16		17
	1050	9	8,5	10,5	9,5	12	11	13	12	14	12,5	14,5	13	10	14,5	17	15,5	.	17		
	1100	9,5	8,5	11	10	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13	15	14	16,5	15	.	16,5		17,5		
	1150	9,5	9	11,5	10	13	12	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5		17		.		
	1200	10	9	12	10,5	13,5	12,5	14,5	13	15,5	14	16,5	15		16,5		17,5				
	1250	10,5	9,5	12	11	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5		17		.				
	1300	10,5	9,5	12,5	11,5	14	13	15,5	14	16,5	15	17,5	16		17,5						

НТБ ДНУЗТ

Таблица толщины стѣнокъ *s* вертинальныхъ жаровыхъ трубъ въ mm.

(См. стр. 907 и 908).

Длина *l*. mm	Внутр. діаметръ *d*. mm	Наибольшее рабочее давленіе *p* въ kg/qcm.																			
		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
		Ü	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*	*Ü*	*G*
Длина $l = 2000$ mm.	500	7	7	7	7	7	7	7,5	7	7,5	7	7,5	7	8,5	7,5	9	8	9,5	8,5	10	9
	550	7	7	7	7	7,5	7	8	7	8	7,5	8,5	7,5	9	8	10	9	10,5	9,5	11	10
	600	7	7	7,5	7	8	7,5	8,5	7,5	9	8	9	8	10	9	10,5	9,5	11,5	10,5	12	11
	650	7	7	7,5	7	8,5	8	9	8	9,5	8,5	10	9	10,5	9,5	11,5	10,5	12	11	13	12
	700	7	7	8	7,5	9	8,5	9,5	8,5	10	9	10,5	9,5	11,5	10,5	12	11	13	12	14	12,5
	750	7,5	7	8,5	8	9,5	9	10	9	10,5	9,5	11	10	12	11	13	12	14	12,5	15	13,5
	800	7,5	7	9	8	10	9	10,5	9,5	11	10	12	11	13	11,5	14	12,5	15	13,5	15,5	14,5
	850	8	7,5	9,5	8,5	10,5	9,5	11,5	10	12	11	12,5	11,5	13,5	12,5	14,5	13,5	15,5	14	16,5	15
	900	8,5	7,5	10	9	11	10	12	10,5	12,5	11,5	13	12	14,5	13	15,5	14	16,5	15	17,5	16
	950	9	8	10,5	9,5	11,5	10,5	12,5	11	13	12	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17,5	16	·	17
	1000	9	8	10,5	9,5	12	11	13	11,5	13,5	12,5	14,5	13	15,5	14	17	15,5	·	16,5		17,5
	1050	9,5	8,5	11	10	12,5	11,5	13,5	12	14,5	13	15	13,5	16,5	15	17,5	16		17,5		·
	1100	10	9	11,5	10,5	13	12	14	12,5	15	13,5	15,5	14,5	17	15,5	·	17		·		
	1150	10	9	12	10,5	13,5	12	14,5	13	15,5	14	16,5	15		16		17,5				
	1200	10,5	9,5	12	11	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5		17						
	1250	10,5	9,5	12,5	11,5	14,5	13	15,5	14	16,5	15	17,5	16		17,5						
	1300	11	10	13	11,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5	·	16,5	·	·	·	·	·	·	·	·
Длина $l = 2500$ mm.	500	7	7	7	7	7	7	7,5	7	7,5	7	8	7	8,5	7,5	9	8	10	9	10	9,5
	550	7	7	7	7	7,5	7	8	7,5	8,5	7,5	8,5	7,5	9	8,5	10	9	10,5	9,5	11	10
	600	7	7	7,5	7	8,5	7,5	8,5	8	9	8	9	8,5	10	9	11	9,5	11,5	10,5	12	11
	650	7	7	8	7	9	8	9	8,5	9,5	8,5	10	9	11	9,5	11,5	10,5	12,5	11	13	12
	700	7	7	8,5	7,5	9,5	8,5	10	9	10	9	10,5	9,5	11,5	10,5	12,5	11	13	12	14	13
	750	7,5	7	8,5	8	10	9	10,5	9,5	11	10	11,5	10	12,5	11	13	12	14	13	15	13,5
	800	8	7	9	8,5	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12	11	13	12	14	13	15	13,5	16	14,5
	850	8	7,5	9,5	8,5	11	10	11,5	10,5	12	11	12,5	11,5	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5
	900	8,5	8	10	9	11,5	10,5	12	11	13	11,5	13,5	12	14,5	13	15,5	14	17	15,5	·	16,5
	950	9	8	10,5	9,5	12	10,5	12,5	11,5	13,5	12	14	12,5	15,5	14	16,5	15	17,5	16		17
	1000	9,5	8,5	11	10	12,5	11	13	12	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5	·	17		
	1050	9,5	8,5	11,5	10	13	11,5	13,5	12,5	14,5	13	15,5	14	17	15		16,5		17,5		
	1100	10	9	11,5	10,5	13,5	12	14	13	15	13,5	16	14,5	17,5	16		17		·		
	1150	10,5	9,5	12	11	13,5	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15		16,5		·				
	1200	10,5	9,5	12,5	11,5	14	13	15,5	14	16,5	15	17,5	16		17		·		·		
	1250	11	10	13	11,5	14,5	13,5	16	14,5	17	15,5		16,5								
	1300	11,5	10,5	13,5	12	15	13,5	16,5	15	17,5	16	·	17	·	·	·	·	·	·	·	·
Длина $l = 3000$ mm и болѣе.	500	7	7	7	7	7,5	7	7,5	7	7,5	7	8	7	8,5	7,5	9	8	10	9	10,5	9,5
	550	7	7	7	7	8	7	8	7,5	8,5	7,5	9	8	9,5	8,5	10	9	10,5	9,5	11,5	10,5
	600	7	7	7,5	7	8,5	7,5	8,5	8	9	8	9,5	8,5	10	9	11	10	11,5	10,5	12,5	11
	650	7	7	8	7	9	8	9,5	8,5	9,5	8,5	10	9	11	10	11,5	10,5	12.5	11,5	13,5	12
	700	7	7	8,5	7,5	9,5	8,5	10	9	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12,5	11,5	13,5	12	14,5	13
	750	7,5	7	9	8	10	9	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12,5	11	13,5	12	14,5	13	15	14
	800	8	7	9,5	8,5	10,5	9,5	11	10	11,5	10,5	12	11	13	12	14	13	15	14	16	14,5
	850	8,5	7,5	9,5	9	11	10	11,5	10,5	12,5	11	13	11,5	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5
	900	8,5	8	10	9	11,5	10,5	12	11	13	11,5	13,5	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5		16,5
	950	9	8	10,5	9,5	12	11	13	11,5	13,5	12,5	14,5	13	15,5	14	16,5	15	·	16		17,5
	1000	9,5	8,5	11	10	12,5	11,5	13,5	12	14,5	13	15	13,5	16,5	15	17,5	16		17		
	1050	10	9	11,5	10,5	13	11,5	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5		16,5		·		
	1100	10	9	12	10,5	13,5	12	14,5	13	15,5	14	16,5	15	17,5	16		17,5				
	1150	10,5	9,5	12,5	11	14	12,5	15	13,5	16	14,5	17	15,5		17		·				
	1200	11	10	12,5	11,5	14,5	13	15,5	14	16,5	15		16		17,5						
	1250	11	10	13	12	15	13,5	16	14,5	17,5	15,5		16,5		·						
	1300	11,5	10,5	13,5	12	15,5	14	16,5	15		16		17								·

НТБ ДНУЗТ

Таблица толщины стѣнокъ s плоскихъ

(Соотвѣтственно формулѣ VIII, на стр. 909,

Діаметръ днища d mm	Радіусъ закругленія борта ϱ mm	Наибольшее рабочее давленіе (сверхъ пар.) p въ kg/qcm:												
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
500	45	8	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14	15	15,5	16,5	17	17,5	18
	50	8	9	10,5	11,5	12	13	14	14,5	15,5	16	16,5	17,5	18
	60	7,5	9	10	11	12	12,5	13,5	14	15	15,5	16	17	17,5
	80	7	8,5	9,5	10	11	11,5	12,5	13	13,5	14,5	15	15,5	16
	100	7	7,5	8,5	9,5	10	10,5	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5
	150	7	7	7	7	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10	11
550	45	9	10,5	11,5	13	14	15	16	16,5	17,5	18	19	19,5	20
	50	9	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17	18	18,5	10,5	20
	60	8,5	10	11	12,5	13,5	14	15	16	16,5	17,5	18	18,5	19,5
	80	8	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14	15	15,5	16,5	17	17,5	18
	100	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13	13,5	14,5	15	15,5	16,5	17
	150	7	7	7,5	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
600	45	10	11,5	13	14	15	16,5	17,5	18	19	20	21	21,5	22,5
	50	10	11,5	12,5	14	15	16	17	18	19	19,5	20,5	21,5	22
	60	9,5	11	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19	20	21	21,5
	80	9	10,5	11,5	13	14	15	15,5	16,5	17,5	18	19	19,5	20,5
	100	8,5	10	11	12	13	14	14,5	15,5	16,5	17	17,5	18,5	19
	150	7	8	9	9,5	10,5	11	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15,5
650	45	11	12,5	14	15,5	16,5	18	19	20	21	22	22,5	23,5	24,5
	50	11	12,5	14	15	16,5	17,5	18,5	19 5	20,5	21,5	22,5	23	24
	60	10,5	12	13,5	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23,5
	80	10	11,5	13	14	15,5	16,5	17,5	18,5	19	20	21	21,5	22,5
	100	9,5	11	12	13,5	14,5	15,5	16,5	17	18	19	19,5	20,5	21
	150	8	9	10	11	12	13	13,5	14,5	15	15,5	16,5	17	17,5
700	45	12	13,5	15	16,5	18	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5	24,5	25,5	26,5
	50	11,5	13,5	15	16,5	18	19	20,5	21,5	22,5	23,5	24,5	25,5	26
	60	11,5	13,5	15	16,5	17,5	19	20	21	22	23	24	25	25,5
	80	11	12,5	14	15,5	16,5	18	19	20	21	22	23	23,5	24,5
	100	10,5	12	13,5	14,5	16	17	18	19	20	21	21,5	22,5	23
	150	9	10	11,5	12,5	13,5	14,5	15.5	16	17	17,5	18,5	19	20
750	45	12,5	14,5	16,5	18	19,5	21	22	23	24,5	25 5	26,5	27,5	28,5
	50	12,5	14,5	16,5	18	19	20,5	22	23	24	25	26	27	28
	60	12,5	14,5	16	17,5	19	20	21,5	22,5	23,5	24,5	26	26,5	27,5
	80	12	13,5	15,5	17	18	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5	24.5	25,5	26,5
	100	11,5	13	14,5	16	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5	24,5	25,5
	150	10	11,5	12,5	14	15	16	17	18	19	19,5	20,5	21	22
800	45	13,5	15,5	17,5	19,5	21	22,5	23,5	25	26	27,5	28,5	29,5	30,5
	50	13,5	15,5	17,5	19	20,5	22	23,5	24,5	26	27	28	29	30
	60	13,5	15,5	17	19	20,5	21,5	23	24,5	25,5	26,5	27,5	28,5	29,5
	80	13	15	16,5	18	19,5	21	22	23,5	24,5	25,5	26,5	27,5	28,5
	100	12,5	14	16	17,5	18,5	20	21	22.5	23,5	24.5	25,5	26,5	27,5
	150	11	12,5	14	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5	24
850	45	14.5	17	19	20,5	22	23,5	25	26,5	28	29	30	31,5	
	50	14,5	16,5	18,5	20,5	22	23,5	25	26,5	27,5	29	30	11	
	60	14	16,5	18,5	20	21,5	23	24,5	26	27	28,5	29,5	30,5	.
	80	13,5	16	17,5	19,5	21	22,5	24	25	26,5	27.5	28,5	29,5	30,5
	100	13	15,5	17	18,5	20	21,5	23	24	25.5	26,5	27,5	28,5	29,5
	150	12	13,5	15,5	16,5	18	19	20,5	21,5	22,5	23,5	24,5	25,5	26,5
900	45	15,5	18	20	22	23,5	25,5	27	28,5	29,5	31			
	50	15,5	17,5	20	21,5	23,5	25	26,5	28	29,5	31	.		
	60	15	17,5	19,5	21,5	23	24,5	26	27,5	29	30,5	31,5		
	80	14,5	17	19	21	22,5	24	25,5	27	28	29,5	30,5	.	
	100	14	16,5	18,5	20	21,5	23	24,5	26	27	28,5	29,5	30.5	.
	150	12,5	14,5	16,5	18	19,5	21	22	23	24,5	25,5	26,5	27,5	28,5

НТБ ДНУЗТ

днищъ съ отогнутыми бортами въ mm.

причемъ принято $K_z = 3400$ kg/qcm).

Діаметръ днища d mm	Радіусъ закругленія борта ϱ mm	Наибольшее рабочее давленіе (сверхъ нар.) p въ kg/qcm:												
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
950	45	16,5	19	21	23	25	27	28,5	30	31,5				
	50	16,5	19	21	23	25	26,5	28	29,5	31				
	60	16	18,5	21	22,5	24,5	26	28	29,5	31	.			
	80	15,5	18	20	22	24	25,5	27	28,5	30	31	.	.	.
	100	14	16	18	20	21,5	23	24	25,5	27	28	29	30	31
	150	13,5	16	17,5	19,5	21	22,5	23,5	25	26	27,5	28,5	29,5	30,5
1000	45	17,5	20	22,5	24,5	26,5	28	30	31,5	.	.	.	.	
	50	17	20	22	24,5	26	28	29,5	31,5					
	60	17	19,5	22	24	26	27,5	29,5	31	.				
	80	16,5	19	21,5	23,5	25	27	28,5	30	31,5				
	100	16	18,5	20,5	22,5	24,5	26	27,5	29	30,5	.	.	.	
	150	14,5	17	19	20,5	22,5	24	25,5	27	28	29,5	30,5	31,5	.
1050	45	18	20,5	23	25	27	29	31		.		.		.
	50	17,5	20,5	23	25	27	29	30,5						
	60	17,5	20,5	22,5	25	27	28,5	30,5	.	.				
	80	17,5	20	22,5	24,5	26,5	28,5	30	31,5	.				
	100	17	19,5	22	24	26	27,5	29,5	31	.	.			
	150	15,5	18	20	22	24	25,5	27	28,5	30	31	.	.	.
1100	45	19	22	24,5	27	29	31			.	.			
	50	19	22	24,5	27	29	31							
	60	19	21,5	24,5	26,5	28,5	30,5							
	80	18,5	21	23,5	26	28	30	.						
	100	18	20,5	23	25,5	27,5	29	31	.	.				
	150	16,5	19	21,5	23,5	25,5	27	28,5	30	31,5	.	.	.	.
1150	45	20	23	26	28,5	30,5					.			.
	50	20	23	26	28	30,5	.							.
	60	19,5	22,5	25,5	28	30	.							
	80	19,5	22	25	27	29,5	31,5							
	100	18,5	21,5	24	26,5	28,5	30,5	.	.					
	150	17,5	20	22,5	24,5	26,5	28,5	30	31,5	.	.	.	.	
1200	45	21	24	27	29,5				.				.	
	50	21	24	27	29,5	.							.	
	60	20,5	24	26,5	29	31,5								
	80	20	23,5	26	28,5	31	.							
	100	19,5	22,5	25,5	28	30	.							
	150	18,5	21	24	25	28	30	.			.	.	.	.
1250	45	22	25,5	28	31	.								.
	50	22	25	28	31	.								
	60	21,5	25	28	30,5	.								
	80	21	24,5	27,5	30	.								
	100	20,5	24	26,5	29	31,5	.							
	150	19,5	22,5	25	27,5	29,5	31,5	.	.	.	.	.	.	.
1300	45	23	26,5	29,5								.		
	50	22,5	26	29,5										
	60	22,5	26	29	.									
	80	22	25,5	28,5	31									
	100	21,5	25	28	30,5	.								
	150	20,5	23,5	26	28,5	31	.	.	.	.	.	.	.	.
1350	45	23,5	27,5	30,5	.						.			
	50	23,5	27,5	30,5										
	60	23,5	27	30										
	80	23	26,5	29,5										
	100	22,5	26	29	.									
	150	21	24,5	27,5	30									

НТБ ДНУЗТ

Толщина s плоскихъ стѣнокъ въ mm,

опредѣленная по формулѣ VII, стр. 909, причемъ принято, что толщина листовъ s не должна быть меньше 7 mm.

Разстояніе между связями e mm.	Наибол. рабочее давленіе p (сверхъ пар.) въ kgqcm											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	$c = 1{,}323$.											
100	7	7	7	7	7	7	7,5	7,5	8	8,5	8,5	9
120	7	7	7	7,5	8	8	8,5	9	9,5	9,5	10	10,5
140	7	7	7,5	8,5	9	9,5	10	10	10,5	11	11,5	12
160	7	8	8,5	9	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5
180	7,5	8,5	9,5	10	11	11,5	12	12,5	13,5	14	14,5	15
200	8,5	9,5	10,5	11	12	12,5	13,5	14	14,5	15	15,5	16,5
240	9,5	11	12	13	14	15	15,5	16,5	17	18	18,5	19
300	11,5	13,5	14,5	16	17	18	19	20	21	22	23	23,5
360	14	15,5	17,5	19	20,5	21,5	23	24	25	26	27	28
400	15	17,5	19	21	22,5	24	25	26,5	27,5	29	30	31
	$c = 1{,}0314$.											
100	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,5	7,5	8
120	7	7	7	7	7	7,5	7,5	8	8,5	8,5	9	9,5
140	7	7	7	7,5	8	8,5	8,5	9	9,5	10	10	10,5
160	7	7	7,5	8,5	9	9,5	10	10	11	11	11,5	12
180	7	7,5	8,5	9	9,5	10,5	11	11,5	12	12,5	12,5	13
200	7,5	8,5	9	10	10,5	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5
240	8,5	10	11	11,5	12,5	13	14	14,5	15	16	16,5	17
300	10,5	12	13	14	15	16	17	18	18,5	19,5	20	21
360	12,5	14	15,5	16,5	18	19	20	21	22	23	24	25
400	13,5	15,5	17	18,5	20	21	22	23,5	24,5	25,5	26,5	27,5
	$c = 0{,}9774$.											
100	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,5	7,5	8
120	7	7	7	7	7	7,5	7,5	8	8	8,5	9	9
140	7	7	7	7,5	8	8	8,5	9	9,5	9,5	10	10,5
160	7	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	11,5
180	7	7,5	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
200	7,5	8,5	9	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14
240	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13	13,5	14,5	15	15,5	16	16,5
300	10,5	11,5	13	14	15	16	17	17,5	18,5	19	20	20,5
360	12	13,5	15	16,5	17,5	19	20	21	21,5	22,5	23,5	24,5
400	13	15	16,5	18	19,5	20,5	22	23	24	25	26	27
	$c = 0{,}8658$.											
100	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,5	7,5
120	7	7	7	7	7	7	7	7,5	8	8	8,5	8,5
140	7	7	7	7	7,5	8	8	8,5	9	9	9,5	10
160	7	7	7	8	8,5	8,5	9	9,5	10	10,5	10,5	11
180	7	7	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12
200	7	8	8,5	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5
240	8	9	10	11	11,5	12,5	13	13,5	14	15	15,5	16
300	10	11	12	13	14	15	16	16,5	17,5	18	19	19,5
360	11,5	13	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22	23
400	12,5	14,5	16	17	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5	24,5	25,5

НТБ ДНУЗТ

Таблица заклепочныхъ соединеній для паровыхъ котловъ *).

(Дополненіе къ гамбургскимъ нормамъ).

s — толщина листовъ въ mm, d — діаметръ заклепки въ mm, t — разстояніе между заклепками въ mm, φ — ослабленіе шва.

Швъ съ одиночнымъ перерѣзываніемъ.

(Швъ въ нахлестку или съ одной накладкой).

Толщ. листовъ.	Заклепки сварочнаго желѣза въ листахъ сварочнаго желѣза.			Заклепки литого желѣза въ листахъ литого желѣза.			Заклепки сварочнаго желѣза въ листахъ литого желѣза.		
s	d	t	φ	d	t	φ	d	t	φ
Одиночный швъ (см. черт. 287, стр. 440).									
7	16	44	0,64	17	44	0,61	17	41	0,59
8	17	45	0,62	18	45	0,60	18	42	0,57
9	18	46	0,61	19	46	0,59	19	43	0,56
10	19	47	0,60	20	47	0,57	20	44	0,55
11	20	49	0,59	21	48	0,56	21	45	0,53
12	21	50	0,58	22	49	0,55	22	46	0,52
13	22	51	0,57	23	50	0,54	23	47	0,51
14	23	52	0,56	24	51	0,53	24	48	0,50
15	24	54	0,55	25	53	0,52	25	49	0,49
16	25	55	0,54	26	54	0,52	26	51	0,48
17	26	57	0,54	27	55	0,51	27	52	0,48
18	27	60	0,53	28	57	0,51	28	53	0,47
Двойной швъ (см. черт. 288, стр. 441).									
8	15	59	0,74	16	58	0,72	16	54	0,70
9	16	60	0,73	17	60	0,71	17	55	0,69
10	17	62	0,73	18	61	0,70	18	56	0,68
11	18	64	0,72	19	63	0,69	19	58	0,67
12	19	66	0,71	20	65	0,69	20	59	0,66
13	20	68	0,71	21	66	0,68	21	61	0,66
14	21	70	0,70	22	68	0,68	22	63	0,65
15	22	72	0,70	23	70	0,67	23	65	0,65
16	23	75	0,69	24	72	0,67	24	66	0,64
17	24	77	0,69	25	74	0,67	25	68	0,63
18	25	80	0,69	26	76	0,67	26	70	0,63
19	26	82	0,69	27	78	0,66	27	72	0,63
20	27	84	0,68	28	80	0,66	28	74	0,62
Тройной швъ (см. черт. 290, стр. 441).									
12	17	74	0,77	18	72	0,75	18	65	0,73
13	18	77	0,76	19	74	0,74	19	68	0,72
14	19	80	0,76	20	77	0,74	20	70	0,71
15	20	83	0,76	21	80	0,74	21	73	0,71
16	21	85	0,75	22	82	0,74	22	75	0,71

*) Таблицы Ф. Промана содержатъ данныя для заклепочныхъ соединеній, которыя выполнены и оказались на практикѣ весьма хорошими; онѣ не даютъ опредѣленныхъ правилъ, но могутъ служить при проэктированіи прекраснымъ пособіемъ для выбора того или другого размѣра.

НТБ ДНУЗТ

Шовъ съ одиночнымъ перерѣзываніемъ.

Толщ. листа.	Заклепки сварочнаго желѣза въ листахъ сварочнаго желѣза.			Заклепки литого желѣза въ листахъ литого желѣза.			Заклепки сварочнаго желѣза въ листахъ литого желѣза.		
s	d	t	φ	d	t	φ	d	t	φ
Тройной шовъ.									
17	22	89	0,75	23	85	0,73	23	78	0,71
18	23	92	0,75	24	88	0,73	24	80	0,70
19	24	95	0,75	25	91	0,73	25	83	0,70
20	25	99	0,75	26	94	0,72	26	86	0,70
21	26	102	0,75	27	97	0,72	27	88	0,69
22	27	105	0,74	28	99	0,72	28	91	0,69
23	28	108	0,74	29	102	0,72	29	94	0,69
24	29	112	0,74	30	105	0,72	30	96	0,69
25	30	115	0,74	31	108	0,71	31	99	0,69
26	31	118	0,74	32	112	0,71	32	101	0,68
27	32	121	0,73	33	114	0,71	33	104	0,68
28	33	124	0,73	34	117	0,71	34	106	0,68
Четверной шовъ.									
15	18	85	0,78	19	83	0,77	19	75	0,75
16	19	89	0,78	20	87	0,77	20	79	0,74
17	20	94	0,78	21	90	0,77	21	82	0,74
18	21	98	0,78	22	93	0,76	22	85	0,74
19	22	102	0,78	23	97	0,76	23	89	0,74
20	23	106	0,78	24	101	0,76	24	92	0,74
21	24	110	0,78	25	105	0,76	25	95	0,74
22	25	114	0,78	26	109	0,76	26	98	0,73
23	26	118	0,78	27	112	0,76	27	102	0,73
24	27	122	0,78	28	115	0,76	28	105	0,73
25	28	127	0,78	29	119	0,76	29	108	0,73
26	29	131	0,78	30	123	0,76	30	112	0,73
27	30	135	0,78	31	126	0,76	31	115	0,73
28	31	139	0,77	32	130	0,75	32	118	0,73
29	32	143	0,77	33	133	0,75	33	121	0,73
30	33	147	0,77	34	137	0,75	34	124	0,73
Пятерной шовъ.									
18	19	97	0,80	20	93	0,78	20	85	0,77
19	20	102	0,80	21	98	0,78	21	90	0,77
20	21	107	0,80	22	103	0,78	22	93	0,77
21	22	112	0,80	23	107	0,78	23	97	0,77
22	23	117	0,80	24	111	0,78	24	101	0,77
23	24	122	0,80	25	116	0,78	25	105	0,76
24	25	127	0,80	26	120	0,78	26	109	0,76
25	26	132	0,80	27	124	0,78	27	113	0,76
26	27	137	0,80	28	129	0,78	28	116	0,76
27	28	142	0,80	29	133	0,78	29	121	0,76
28	29	147	0,80	30	138	0,78	30	125	0,76
29	30	152	0,80	31	143	0,78	31	128	0,76
30	31	157	0,80	32	146	0,78	32	132	0,76
31	32	162	0,80	33	150	0,78	33	136	0,76
32	33	167	0,80	34	154	0,78	34	141	0,76
33	34	172	0,80	35	159	0,78	35	145	0,75
34	35	176	0,80	36	163	0,78	36	148	0,75
35	36	181	0,80	37	167	0,78	37	152	0,75
36	37	186	0,80	38	172	0,77	38	156	0,75

НТБ ДНУЗТ

Шовъ съ двойнымъ перерѣзываніемъ.

(Двойныя накладки).

Толщ. листа.	Заклепки сварочнаго желѣза въ листахъ сварочнаго желѣза.			Заклепки литого желѣза въ листахъ литого желѣза.			Заклепки сварочнаго желѣза въ листахъ литого желѣза.		
s	d	t	φ	d	t	φ	d	t	φ
Одиночный шовъ (см. черт. 291, стр. 442).									
7	14	52	0,75	15	53	0,72	15	48	0,69
8	15	53	0,72	16	54	0,70	16	49	0,68
9	16	55	0,71	17	55	0,69	17	50	0,66
10	17	56	0,70	18	56	0,68	18	51	0,65
11	18	58	0,69	19	58	0,67	19	53	0,64
12	19	60	0,68	20	59	0,66	20	54	0,63
13	20	62	0,68	21	61	0,65	21	55	0,62
14	21	64	0,67	22	63	0,65	22	57	0,61
15	22	66	0,67	23	65	0,65	23	59	0,61
16	23	68	0,66	24	66	0,64	24	61	0,61
17	24	71	0,66	25	68	0,63	25	63	0,60
18	25	73	0,66	26	70	0,63	26	64	0,59
Двойной шовъ (см. черт. 292, стр. 443).									
8	13	71	0,82	14	72	0,81	14	65	0,78
9	14	74	0,81	15	74	0,80	15	66	0,77
10	15	77	0,81	16	76	0,79	16	68	0,76
11	16	80	0,80	17	79	0,78	17	71	0,76
12	17	83	0,79	18	82	0,78	18	73	0,75
13	18	86	0,79	19	85	0,77	19	76	0,75
14	19	90	0,79	20	87	0,77	20	78	0,74
15	20	93	0,79	21	90	0,76	21	81	0,74
16	21	96	0,78	22	93	0,76	22	84	0,74
17	22	100	0,78	23	96	0,76	23	86	0,73
18	23	104	0,78	24	99	0,76	24	89	0,73
19	24	107	0,77	25	102	0,75	25	92	0,73
20	25	111	0,77	26	106	0,75	26	95	0,73
Тройной шовъ (см. черт. 293, стр. 443).									
12	15	92	0,84	16	92	0,83	16	82	0,81
13	16	97	0,84	17	96	0,82	17	85	0,80
14	17	102	0,83	18	100	0,82	18	89	0,80
15	18	107	0,83	19	104	0,82	19	93	0,80
16	19	112	0,83	20	108	0,81	20	97	0,80

НТБ ДНУЗТ

Шовъ съ двойнымъ перерѣзываніемъ.

Толщ. листа.	Заклепки сварочнаго желѣза въ листахъ сварочнаго желѣза.			Заклепки литого желѣза въ листахъ литого желѣза.			Заклепки сварочнаго желѣза въ листахъ литого желѣза.		
s	d	t	φ	d	t	φ	d	t	φ
Тройной шовъ.									
17	20	117	0,83	21	113	0,81	21	100	0,79
18	21	122	0,83	22	117	0,81	22	104	0,79
19	22	127	0,83	23	121	0,81	23	108	0,79
20	23	132	0,83	24	126	0,81	24	112	0,79
21	24	137	0,82	25	130	0,81	25	116	0,78
22	25	142	0,82	26	134	0,81	26	120	0,78
23	26	147	0,82	27	138	0,80	27	124	0,78
24	27	152	0,82	28	141	0,80	28	128	0,78
25	28	157	0,82	29	145	0,80	29	132	0,78
26	29	162	0,82	30	149	0,80	30	136	0,78
27	30	167	0,82	31	154	0,80	31	140	0,78
28	31	173	0,82	32	158	0,80	32	144	0,78
Четверной шовъ.									
15	16	100	0,86	17	108	0,84	17	96	0,82
16	17	116	0,85	18	113	0,84	18	101	0,82
17	18	123	0,85	19	119	0,84	19	106	0,82
18	19	129	0,85	20	125	0,84	20	111	0,82
19	20	136	0,85	21	130	0,84	21	116	0,82
20	21	142	0,85	22	136	0,84	22	121	0,82
21	22	149	0,85	23	142	0,84	23	126	0,82
22	23	155	0,85	24	148	0,84	24	131	0,82
23	24	162	0,85	25	153	0,84	25	136	0,82
24	25	168	0,85	26	159	0,84	26	141	0,82
25	26	174	0,85	27	165	0,84	27	146	0,82
26	27	181	0,85	28	170	0,84	28	151	0,81
27	28	188	0,85	29	176	0,84	29	156	0,81
28	29	194	0,85	30	181	0,83	30	161	0,81
29	30	200	0,85	31	187	0,83	31	166	0,81
30	31	207	0,85	32	193	0,83	32	171	0,81
Пятерной шовъ.									
18	17	127	0,87	18	124	0,86	18	110	0,84
19	18	136	0,87	19	131	0,86	19	116	0,84
20	19	145	0,87	20	138	0,86	20	122	0,84
21	20	151	0,87	21	145	0,86	21	128	0,84
22	21	159	0,87	22	152	0,86	22	134	0,84
23	22	167	0,87	23	159	0,86	23	140	0,84
24	23	175	0,87	24	166	0,86	24	146	0,84
25	24	183	0,87	25	172	0,86	25	153	0,84
26	25	190	0,87	26	179	0,85	26	159	0,84
27	26	199	0,87	27	186	0,85	27	165	0,84
28	27	206	0,87	28	193	0,85	28	171	0,84
29	28	214	0,87	29	200	0,85	29	177	0,84
30	29	222	0,87	30	207	0,85	30	183	0,84
31	30	230	0,87	31	214	0,85	31	189	0,84
32	31	238	0,87	32	220	0,85	32	195	0,84
33	32	245	0,87	33	227	0,85	33	202	0,84
34	33	253	0,87	34	234	0,85	34	208	0,84
35	34	261	0,87	35	241	0,85	35	214	0,84
36	35	268	0,87	36	248	0,85	36	220	0,84

НТБ ДНУЗТ

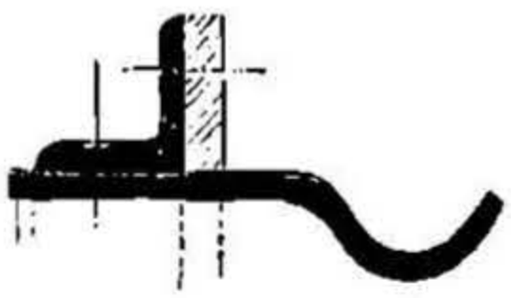
e. Конструкція.

I. Соединенія.

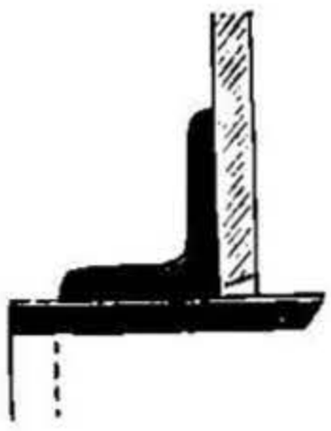
1. Соединеніе днищъ съ жаровыми трубами.

1) Посредствомъ углового желѣза, находящагося внѣ или внутри котла (черт. 769, 770 и 771); послѣдній способъ, вообще, употребляется для соединеній съ заднимъ днищемъ котла; по черт. 769—при трубахъ большого діаметра и небольшой толщинѣ стѣ-

Черт. 769.

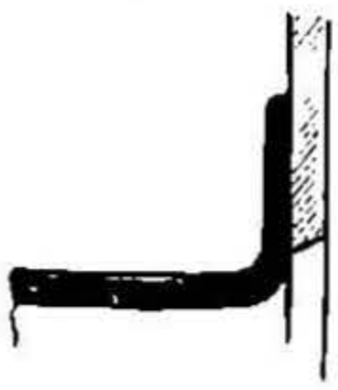


Черт. 770.

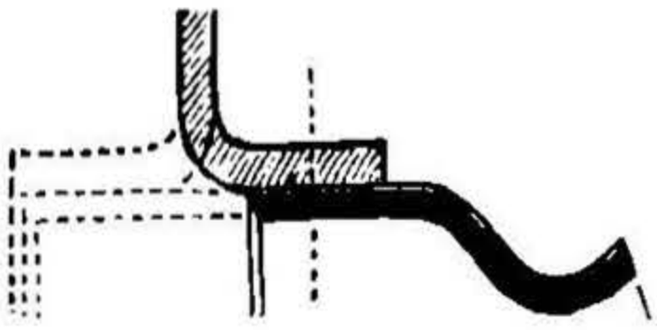


Черт. 771.

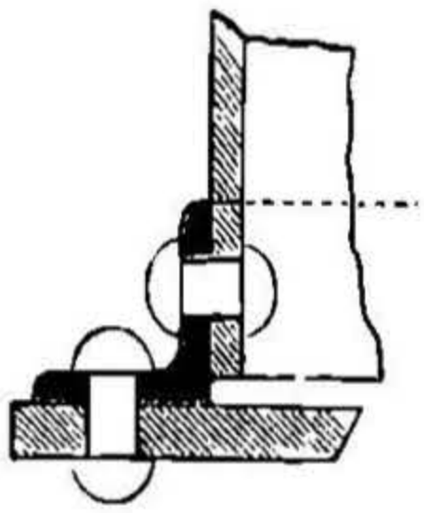
Черт. 772.



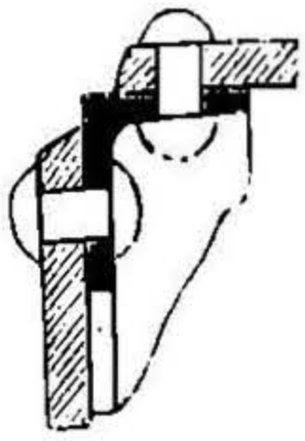
Черт.



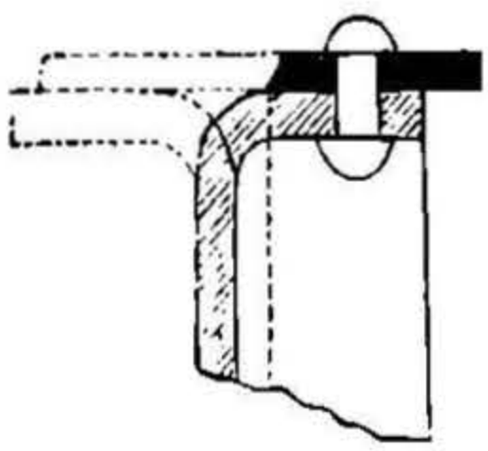
Черт. 774.



Черт. 775.

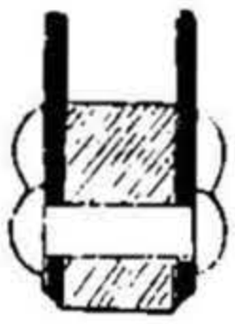


Черт.

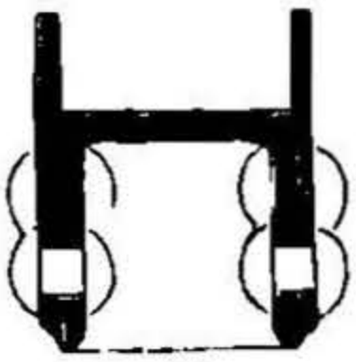


Черт.

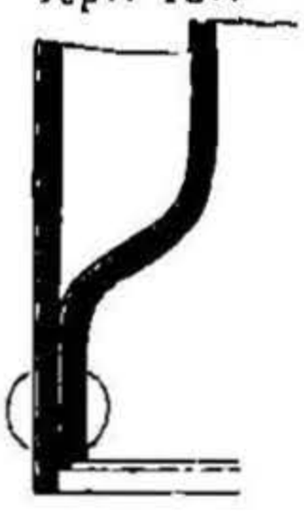
Черт.



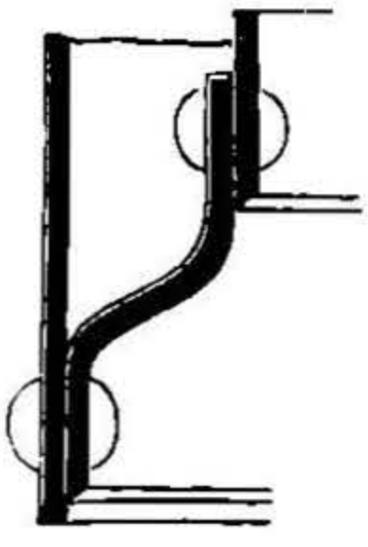
Черт. 779.



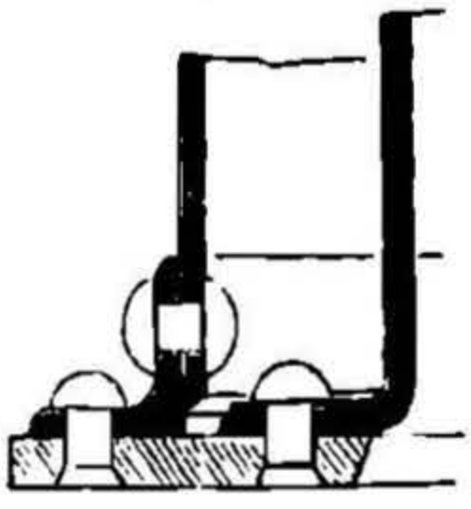
Черт. 780.



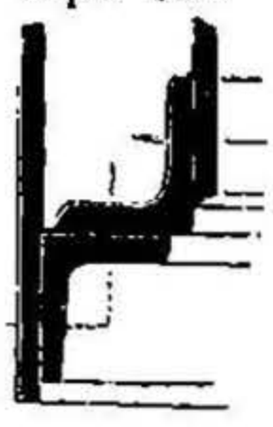
Черт. 781.



Черт.



Черт. 783.



нокъ (волнистыя трубы), а по черт. 770—для трубъ малаго діаметра и большой толщины стѣнокъ.

НТБ ДНУЗТ

2) Посредствомъ днища, края котораго загнуты наружу или вовнутрь (черт. 773); послѣднее соединеніе употребляется рѣдко; см. котлы съ волнистыми трубами и выпуклыми днищами.

3) Посредствомъ отогнутыхъ стѣнокъ жаровыхъ трубъ (черт. 772); это соединеніе употребляется только въ томъ случаѣ, если остальныя звенья жаровыхъ трубъ имѣютъ также соединеніе фланцами (черт. 795, стр. 930); то же и для волнистыхъ трубъ.

2. Соединеніе днищъ съ цилиндрическою частью котла.

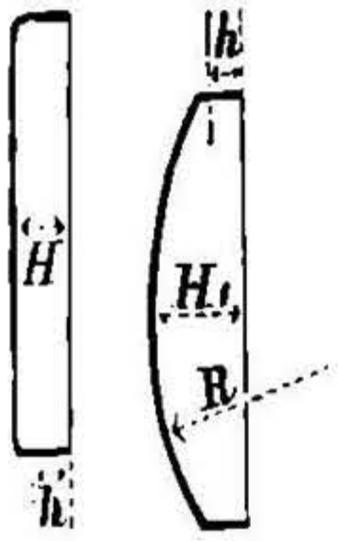
1) Посредствомъ колецъ углового желѣза, расположенныхъ снаружи или изнутри, черт. 774 и 775.

2) Днища съ бортами, отогнутыми внутрь или наружу, черт. 776; первый способъ употребляется для соединенія цилиндрической части котла съ заднимъ днищемъ.

3) Цилиндрическая часть котла отогнута вовнутрь или наружу (черт. 777); употребляется рѣдко; отгибать борты наружу нераціонально.

3. Соединеніе топки съ цилиндрической частью котла производится:

Черт. 784.



1) Посредствомъ желѣзнаго кольца (черт. 778).
2) Посредствомъ коробчатаго желѣза (черт. 779).
[Въ 1) и 2) заклепки въ два ряда].
3) Посредствомъ 2-хъ угольниковъ (черт. 783).
4) Выгибаніемъ листовъ топки (черт. 780).
5) Посредствомъ дважды выгнутаго кольца (черт. 781).
6) Посредствомъ доски, общей для обѣихъ соединяемыхъ частей (черт. 782).

4. Горизонтальные цилиндры, расположенные рядомъ или одинъ надъ другимъ, соединяются между собою посредствомъ патрубковъ.

Матеріалъ **патрубковъ** — сварочное или литое желѣзо, толщиною не меньше 10 до 12 mm, при діаметрѣ ихъ отъ 400 до 500 mm. При этомъ одиночный шовъ въ отогнутой части; въ случаѣ высокаго давленія, когда шовъ въ отогнутой части патрубка двойной, то толщина стѣнокъ патрубка не менѣе 13 до 15 mm.

Патрубки изготовляются:

1) изъ одного куска (это лучшій и наиболѣе употребительный способъ).

2) изъ двухъ или трехъ частей, соединенныхъ фланцами, между которыми прокладывается кольцо красной мѣди, если фланцы стянуты болтами, или желѣзное — если фланцы соединены заклепками; послѣдній способъ лучше.

5. Соединеніе дымогарныхъ трубъ съ трубными стѣнками котловъ. (Черт. 785 до 792).

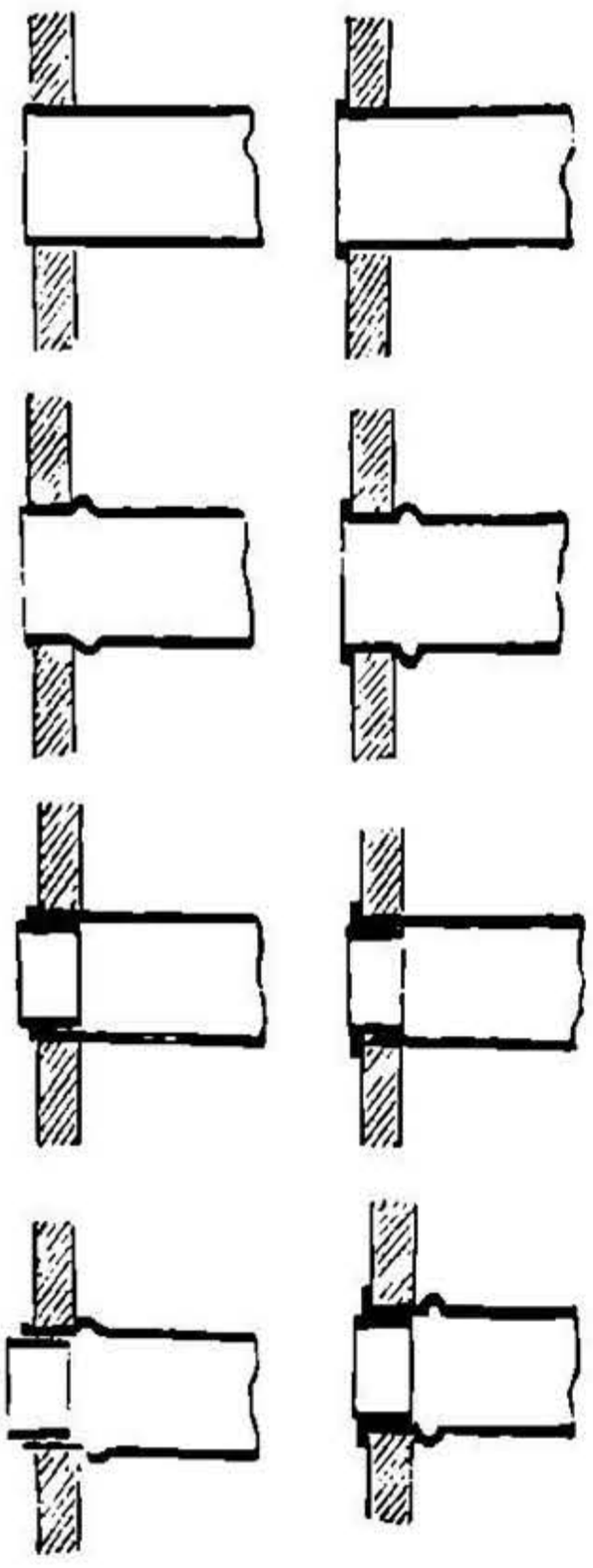
Общеупотребительно: развальцовываніе концовъ трубъ посредствомъ особой вальцовки (труборазкатки), состоящей изъ глад-

НТБ ДНУЗТ

кихъ роликовъ или профилированныхъ сегментовъ, причемъ борты на трубахъ могутъ быть дѣлаемы одновременно съ вальцовкой или отдѣльно — впослѣдствіи; на концы трубы навертываются гайки или вовнутрь трубъ загоняются кольца.

Результаты изслѣдованій надъ прочностью разнаго рода укрѣпленій трубъ *).

1. **Латунныя трубы.**
Черт. 785 до 792.



Трубы съ бортами (безъ колецъ), развальцованныя аппаратомъ съ роликами, лучше сопротивляются вытягиванію, нежели трубы, развальцованныя аппаратомъ съ сегментами; особенно при тонкихъ стѣнкахъ, трубы безъ бортовъ укрѣпляются аппаратомъ съ роликами менѣе прочно, нежели аппаратомъ съ сегментами.

Вставныя кольца увеличиваютъ сопротивленіе трубъ вытягиванію въ обоихъ случаяхъ; желѣзныя кольца въ этомъ отношеніи лучше латунныхъ. Навинченныя гайки безъ вставныхъ колецъ не увеличиваютъ сопротивленія.

2. **Желѣзныя трубы**, укрѣпленныя вальцовками съ роликами. При постановкѣ колецъ и отгибаніи бортовъ, обладаютъ большею прочностью, чѣмъ при томъ же укрѣпленіи безъ колецъ. Трубы, развальцованныя съ бортами, обладаютъ большею плотностью, чѣмъ развальцованныя безъ бортовъ.

Если трубы укрѣплены въ коническихъ отверстіяхъ трубныхъ стѣнокъ, то вытягивающее напряженіе незначительно, если коничность мала (66,7 на 68,3); большій конусъ (66,7 на 71,5) увеличиваетъ прочность въ значительной мѣрѣ (отъ ≈ 500 до 1400 kg/qcm сѣченія трубы, т.-е. почти до прочности трубъ въ цилиндрическихъ отверстіяхъ съ расклепанными бортами [≈ 1800 kg/qcm]).

II. Укрѣпленіе стѣнокъ котловъ.

1. Укрѣпленіе стѣнокъ жаровыхъ трубь.

1. Посредствомъ колецъ изъ **углового желѣза** (черт. 793). Угольники заварные, размѣромъ 75.75.12 mm. Разстояніе кольца отъ жаровой трубы = 25 до 30 mm; кольцо соединяется съ жаровой

*) См. изслѣдованія W. H. Shock, Engineering 1877, стр. 199 и 335; Zeitschr. des Verbandes der Dampfkessel- Ueberwachungsvereine I. Jahrg., стр. 59.

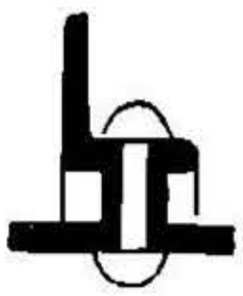
НТБ ДНУЗТ

трубой заклепками (черезъ каждые 15 cm) при посредствѣ распорныхъ трубокъ, толщиною (стѣнокъ) не болѣе 5 mm.

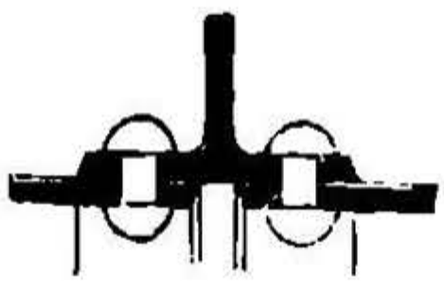
При укрѣпленіи уже существующихъ котловъ угольникъ состоитъ изъ 2-хъ частей, которыя соединяются между собой двойной накладкой у вертикальной полки.

2. Посредствомъ **фланцевъ**, отогнутыхъ на отдѣльныхъ звеньяхъ трубы (черт. 795). Кольцо (толщиною около 10 mm), проложенное между фланцами, доходитъ до начала загиба и выступаетъ наружу на 10 mm.

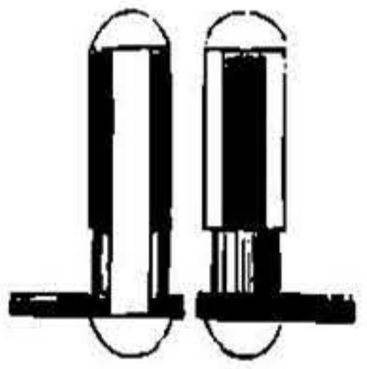
Черт. 793.



Черт. 794.

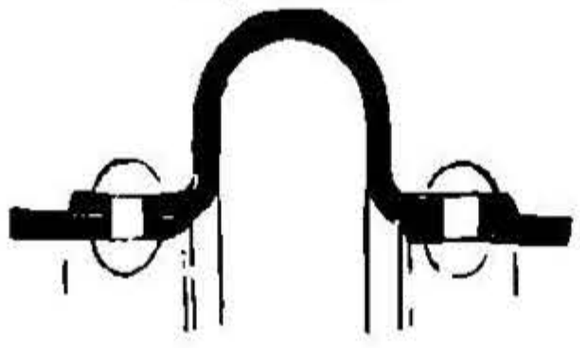


Черт. 797.



Черт. 795.

Черт. 796.

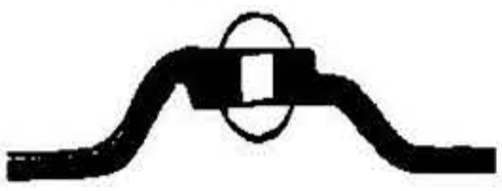


3. Скрѣпленіе отдѣльныхъ звеньевъ производится иногда, какъ показано на черт. 796 и 798. Второе эластичнѣе перваго. Недостатокъ обоихъ соединеній заключается въ томъ, что при нихъ непосредственному дѣйствію огня подвергается двойная толщина желѣза.

4. По системѣ Бекинга (черт. 797), посредствомъ плоскихъ желѣзныхъ колецъ. Два плоскихъ желѣзныхъ кольца, толщиною до 10 mm, склепанныхъ между собою и выгнутыхъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ пропускаются заклепки, соединяющія эти кольца съ жаровыми трубами; отверстія для заклепокъ послѣ выгиба колецъ разсверливаются точно по діаметру заклепокъ. Соединеніе съ жаровой трубой, какъ въ 1. Преимущества: болѣе узкій промежутокъ между кольцомъ и жаровой трубой сравнительно съ устройствомъ по 1, кольца эти могутъ быть легко поставлены на жаровыя трубы и впослѣдствіи.

5. По системѣ **Прегардьенъ** (черт. 798). Преимущество этого способа: эластичность соединенія и устраненіе непосредственнаго дѣйствія огня на шовъ.

Черт. 798.

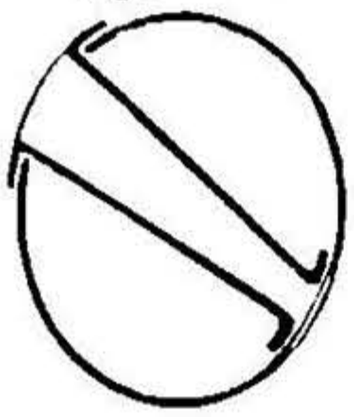


6. Въ котлахъ **Галловея** (черт. 799) скрѣпленіемъ жаровыхъ трубъ служатъ коническія трубки, поставленныя частью вертикально, частью наклонно; въ послѣднемъ случаѣ достигается болѣе совершенная передача теплоты отъ продуктовъ горѣнія водѣ, но сборка затруднительнѣе.

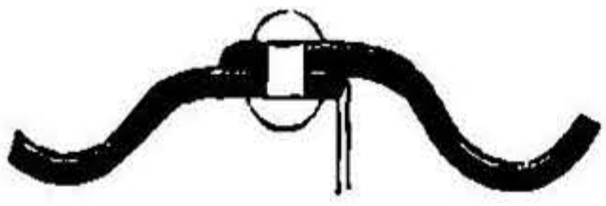
НТБ ДНУЗТ

Вообще же, трубки Галловея хорошо скрѣпляютъ жаровую трубу, и ими достигается энергичная циркуляція воды.

Черт. 799.



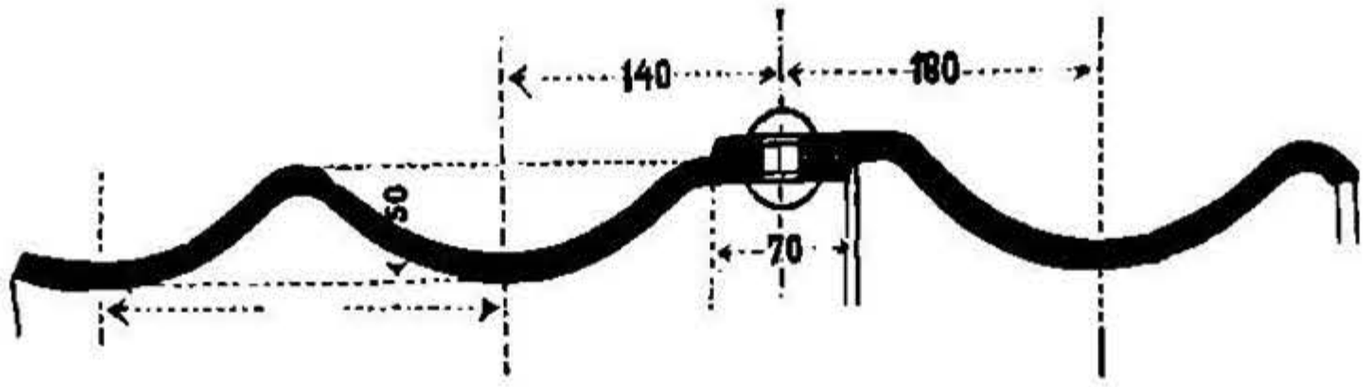
Черт. 800.



Діаметръ трубокъ не долженъ быть слишкомъ великъ; обыкновенно $d = 0{,}225$ до 0,25 соотвѣтствующаго діаметра жаровой трубы. Разстояніе между трубами 1,25 до 1,5 m. Одна галловейская труба приходится на каждые 2 m жаровой трубы; соотвѣтственно этому распредѣляются звенья жаровыхъ трубъ такъ, чтобы въ каждомъ изъ нихъ помѣщалось по одной галловейской трубѣ.

7. Фоксъ предлагаетъ примѣнять вмѣсто гладкихъ трубъ **волнистыя трубы** по черт. 800, а Мориссонъ — по черт. 801. Вторая система соотвѣтствуетъ первой съ тою лишь разницею, что выступающія вовнутрь (къ сторонѣ горячихъ газовъ) части волны, вслѣдствіе соотвѣтственнаго выбраннаго большого радіуса кривизны, приблизительно вдвое длиннѣе той части волны, которая направлена наружу.

Черт. 801.



Размѣры волнистыхъ трубъ Фокса Мориссона по даннымъ завода Schulz-Knaudt въ Эссенѣ:

Наименьшій внутренній діаметръ $D_i = 700$ до 1300 mm, увеличиваясь на 50 mm,

наружній діаметръ $D_a = D_i + 100$ mm,

разстояніе отъ средины до средины волны = 151 mm для трубъ Фокса и 202 mm для трубъ Мориссона,

длина трубы для помѣщенія колосниковъ = 2850 mm,

„ нормальной трубы 2592 mm.

Опредѣленныя звенья по размѣру длиной 650 до 2592 mm.

Наибольшая допускаемая длина волнистой трубы = 3150 mm.

Діаметръ $\frac{D_i}{D_a}$	700 / 800	750 / 850	800 / 900	850 / 950	900 / 1000	950 / 1050	1000 / 1100	1050 / 1150	1100 / 1200	1150 / 1250	1200 / 1300	1250 / 1350	1300 mm / 1400 mm
Вѣсъ одного пог. m.	210	235	250	265	280	295	310	335	360	375	390	415	435 kg
Нормал. толщ. жел.	10	10	10	10	10	10	10,5	10,5	10,5	10,5	11	11	11,5 mm
Допускаемое давленіе.	13	13	12	11,5	11	10,5	10,5	10	10	9,5	9	9	9 kg/qcm.

Относительно толщины желѣза волнистыхъ трубъ см. стр. 908.

8. **Ребристыя жаровыя трубы** (система Purves). Толщина листовъ какъ у волнистыхъ трубъ (стр. 908). Въ виду значительнаго увели-

НТБ ДНУЗТ

ченія толщины стѣнокъ вблизи реберъ (до 1″ = 25,4 mm) принято $l \sim 0$. John Brown & C⁰, въ Шеффильдѣ, изготовляютъ такія трубы толщиной стѣнокъ $^7/_{16}$ до $^5/_8$″ (11 до 16 mm), внутр. діаметромъ отъ 28 до 52 дюймовъ (711 до 1321 mm) и длиной отъ 60 до 102 дюйм. (1524 до 2591 mm).

По изслѣдованіямъ прочность заварного шва равна 90 до 95% прочности цѣльнаго листа. Поверхность нагрѣва волнистыхъ трубъ на $^1/_7$ больше, чѣмъ у трубъ гладкихъ.

2. Анкерныя скрѣпленія плоскихъ днищъ.

Гамбургскія нормы для этихъ скрѣпленій см. стр. 905 и слѣд. Разстояніе между анкерами опредѣляется изъ условія, чтобы напряженія на изгибъ въ плоской стѣнкѣ (а также, по обстоятельствамъ, и измѣненіе формы) ни въ какомъ мѣстѣ не превосходили допускаемыхъ *).

1. **Сквозные анкерные стержни** изъ круглаго желѣза (когда одно днище желательно соединить съ другимъ противолежащимъ). Этотъ способъ соединенія употребляется только въ котлахъ небольшой длины. Число анкерныхъ стержней (болтовъ) и распредѣленіе ихъ должно быть такъ выбрано, чтобы чистка котла не была затруднительна. Анкерные болты соединяются съ днищами:

α) ввинчиваніемъ нарѣзанныхъ концовъ анкеровъ въ днища и расклепываніемъ,

β) посредствомъ гаекъ и подкладныхъ шайбъ,

γ) посредствомъ болтовъ или клиньевъ, соединяющихъ анкерные болты съ угольниками, или тавровымъ желѣзомъ, приклепаннымъ къ днищамъ котла; послѣднимъ способомъ достигается распредѣленіе дѣйствія анкерныхъ болтовъ на большую площадь.

Анкерные болты большого діаметра лучше замѣнять нѣсколькими меньшаго діаметра; къ концамъ болтовъ должны быть въ такомъ случаѣ приварены Т-образныя части. Если тяга оканчивается вилкой, то соотвѣтственный болтъ снабжается шплинтомъ или клиномъ.

2. Днище съ цилиндрическою частью котла соединяется посредствомъ **угловыхъ анкерныхъ скрѣпленій** изъ листового желѣза. Соединеніе одиночныхъ листовъ производится вездѣ парными угольниками: эти послѣдніе приклепываются какъ къ днищу котла, такъ и къ его цилиндрической части. Анкерныя скрѣпленія съ двойными желѣзными листами не раціональны. Длина этихъ анкеровъ не должна быть мала: они должны по возможности доходить до второго звена котла. Разстояніе угольниковъ днища отъ жаровой трубы не должно быть меньше 200 mm; допускаемое напряженіе въ этихъ скрѣпленіяхъ около 500 kg/qcm.

---

*) Подробно см. C. Bach, Die Machinen-Elemente, 6 изд., стр. 168 и слѣд.; 7 изд., стр. 181 и слѣд., Stuttgart, 1899.

НТБ ДНУЗТ

3. Двутавровымъ, тавровымъ или угловымъ (⊥|└) желѣзомъ, приклепываемымъ къ днищу (см. стр. 905).

4. **Распорные болты.** Если соединяемыя стѣнки находятся на небольшомъ разстояніи, то скрѣпленіе ихъ производится помощью распорныхъ болтовъ; эти болты ввинчиваются въ винтовую нарѣзку днища котла.

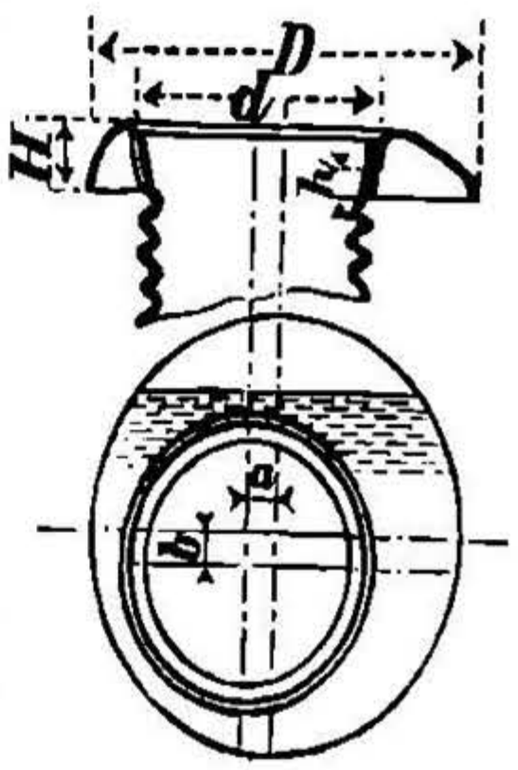
5. **Выпуклыя днища (лобовыя стѣнки) съ отогнутой кромкой въ отверстіи для жаровой трубы волнистаго желѣза.** Эти днища даютъ возможность обойтись безъ анкерныхъ укрѣпленій, такъ какъ эластичность волнистой трубы уравниваетъ всевозможныя удлиненія, не разстраивая поперечныхъ швовъ. Грани, подлежащія чеканкѣ, равно и поверхности соприкосновенія, обтачиваются.

Эти днища изготовляются, на заводѣ Schulz-Knaudt, 19 mm толщиною, которая совершенно достаточна для упругости пара 10 атм. для днищъ діаметромъ 2000 до 2200 mm, или при упругости 12 атм. для днищъ діаметромъ 1600 до 1800 mm.

Размѣры (черт. 802):

D =	1600	1800	2000	2200 mm
d =	985	1140	1280	1425 „
$w_i : w_a$ =	$^{800}/_{900}$	$^{950}/_{1050}$	$^{1100}/_{1200}$	$^{1250}/_{1350}$ „
H =	230	250	250	300
h =	105	120	120	160
a =	125	145	150	180
b =	125	100	100	140
Вѣсъ =	320	390	450	560 kg.

Черт. 802.

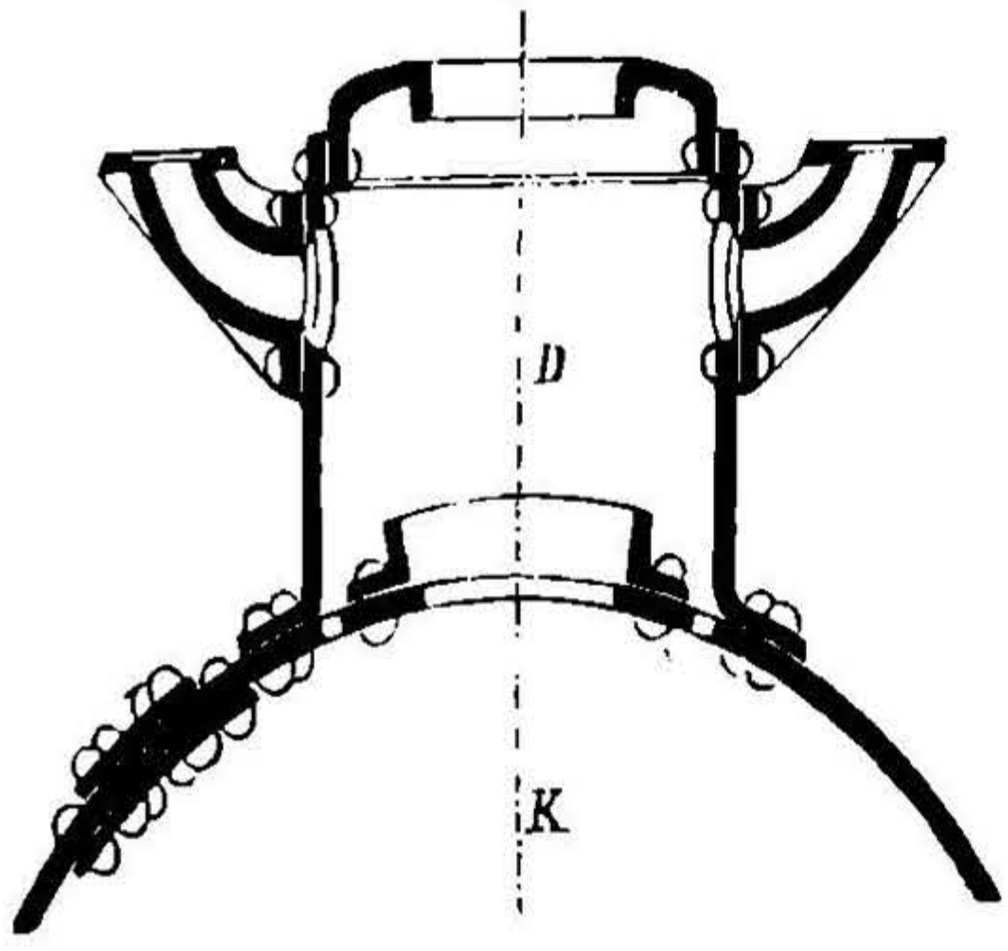


w_i внутреній (наименьшій) діаметръ волнистой трубы и w_a наружній діаметръ волнистой трубы.

3. Лазы и другія отверстія въ стѣнкахъ котла.

Всѣ вырѣзы въ стѣнкахъ котла должны быть сдѣланы по возможности меньшихъ размѣровъ; отверстіе для **парового колпака** (сухопарника, черт. 803) всего лучше дѣлать въ видѣ **обыкновеннаго лаза**, т.-е. эллиптической формы (300 до 350 mm ширины и 400 до 450 mm длины).

Черт. 803.



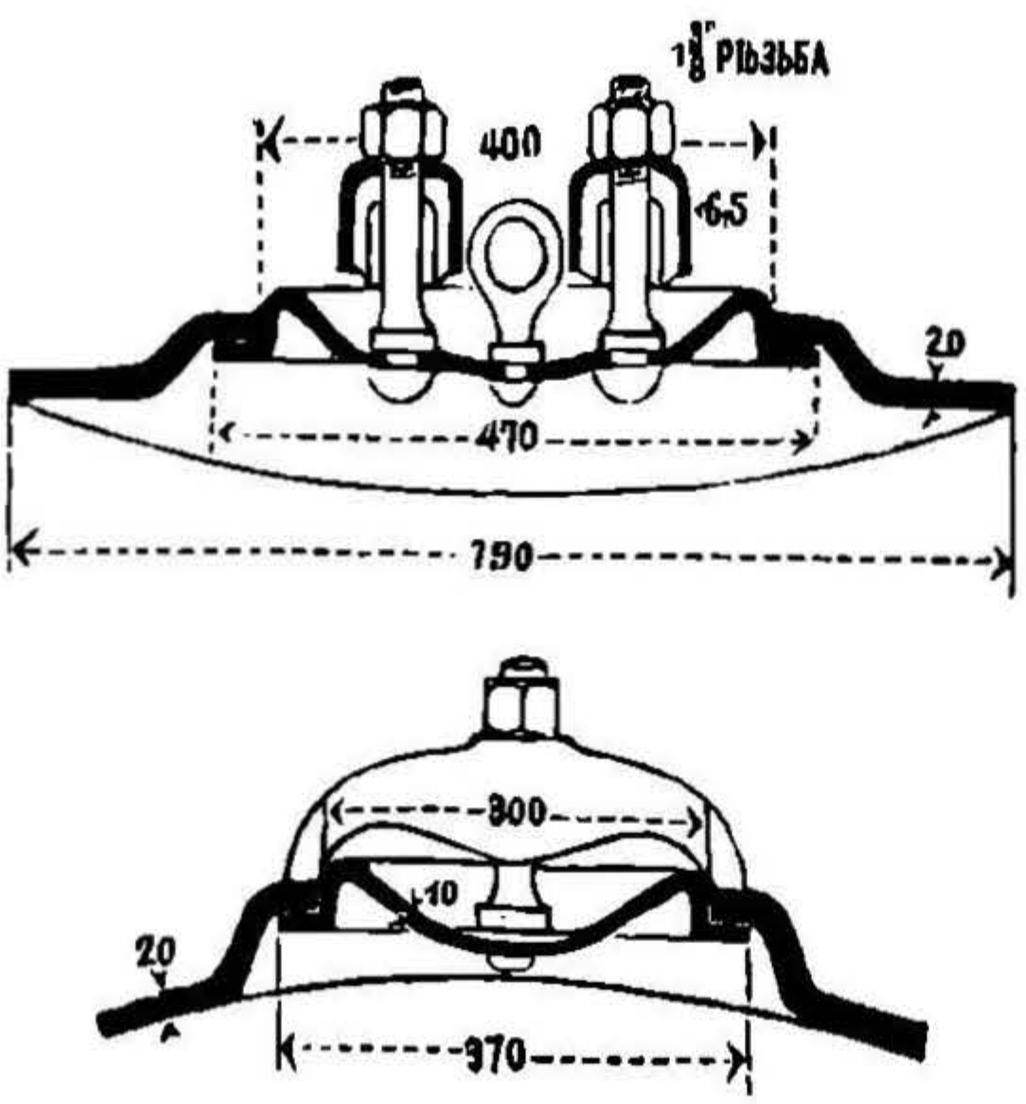
Лазы меньшихъ размѣровъ, до 280 380 mm, допускаются только въ тѣхъ случаяхъ, если трудно сдѣлать ихъ большаго размѣра (Гамб. нормы, см. также стр. 946, § 8).

НТБ ДНУЗТ

Напряженіе листа по направленію оси котла значительно менѣе, чѣмъ по его окружности (стр. 423), почему малая ось эллиптическаго отверстія располагается вдоль оси котла.

Для укрѣпленія отверстій приклепываются желѣзныя заварныя кольца или угольники, которые должны замѣнять собою сѣченіе вырѣзанной части стѣнки котла. Шовъ двойной. Для обыкновенныхъ лазовъ кольца эти дѣлаются шириною 80 до 100 mm и толщиною 12 до 18 mm.

Черт. 804.

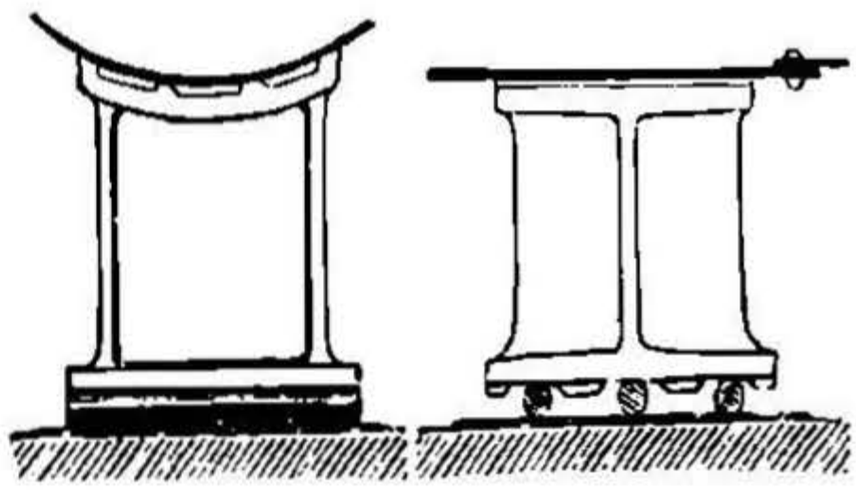


Обыкновенно крышки лазовъ, для большей плотности соединенія, располагаются внутри и укрѣпляются 2-мя скобками посредствомъ 2-хъ болтовъ, діаметромъ около 30 mm. На черт. 804 изображенъ лазъ, помѣщаемый на цилиндрической части котла; какъ крышка, такъ и скобы этого лаза штампованы. Вслѣдствіе плотнаго прилеганія конструкція эта очень хороша. Для рамки и крышки чугуна слѣдуетъ избѣгать.

II. Опоры котловъ.

Поддержки. Давленіе должно передаваться всегда на наружнія звенья котла (черт. 805). Нагрузка на опоры отъ котла, совершенно заполненнаго водою, не должна превосходить 6 kg/qcm верхней поверхности подушки; на поверхности этой дѣлаются ребра. Вслѣдствіе расширенія котла слѣдуетъ, при употребленіи 2-хъ или большаго числа опорныхъ подушекъ, только одну изъ нихъ укрѣплять неподвижно, а каждую изъ остальныхъ устанавливать на 3-хъ каткахъ, діаметромъ до 60 mm (черт. 805). Между катками и фундаментомъ кладется желѣзная плита толщиною около 10 mm (черт. 805). Опоры котловъ должны быть защищены отъ непосредственнаго дѣйствія на нихъ горячихъ газовъ кирпичной кладкой.

Черт. 805.

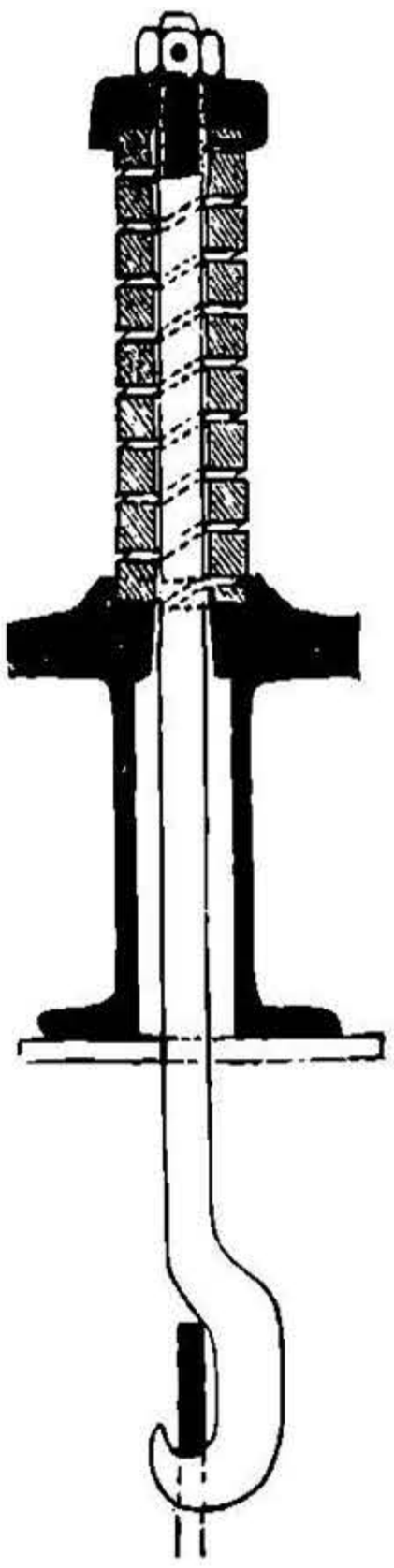


Подвѣшеніе котла. Нагрузка тягъ, на которыхъ подвѣшенъ котелъ, наполненный водой, не должна превосходить 750 kg/qcm.

НТБ ДНУЗТ

Тяги соединяются съ котломъ или посредствомъ приклепываемыхъ къ котлу толстыхъ болтовъ съ ушками, или же посредствомъ накладокъ, соединенныхъ съ котломъ двойными угольниками. Раціонально устраивать также и опорныя подушки на случай разрыва тягъ.

Черт. 806.



Поддержка котла, въ соединеніи съ подвѣшеніемъ. Для выступающихъ частей котла (у котловъ съ топкой — между верхнимъ и нижнимъ котлами), въ передней части верхняго котла до перваго патрубка устраивается упругое подвѣшеніе съ цѣлью разгрузки круглаго шва. Жесткое подвѣшеніе или установка на опорныхъ подушкахъ не раціональна, ибо при работѣ котла передняя часть его подымается. Спиральная пружина квадратной стали (20 mm въ квадратѣ) можетъ быть соотвѣтственно натянута въ то время, когда котелъ во время работы уже приподнялся (черт. 806).

III. Вмазка котловъ *).

а. Матеріалъ.

1. Связывающій растворъ — всего лучше глина. Известковаго раствора безусловно слѣдуетъ избѣгать въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ котелъ непосредственно соприкасается съ кладкой. Для огнеупорной кладки—шамоттъ.

2. Кирпичная кладка выводится изъ огнеупорнаго кирпича ниже наинизшаго уровня воды, равно какъ и кладка топки (очага) и порога. Въ случаѣ наружней топки, огнеупорнымъ кирпичемъ выкладывается первый дымоходъ (или первые 3 извилистыхъ хода), равно какъ и задняя лобовая стѣнка у всѣхъ котловъ. Огнеупорный кирпичъ пропитывается слегка водой. Швы между отдѣльными кирпичами должны быть по возможности тонки. При облицовкѣ кирпичемъ каждый третій рядъ соединяется съ остальной кладкой.

3. Толщина стѣнокъ кладки вообще принимается не меньше $1^1/_2$ кирпичей, а лучше—въ 2 кирпича. Въ наружнихъ стѣнкахъ рекомендуется оставлять слой воздуха въ видѣ узкаго прозора, около 50 mm шириною. Каждый третій рядъ имѣетъ кирпичи, соединяющіе кладку по обѣ стороны прозора. Выступающая часть кладки, примыкающая къ котлу въ долевыхъ дымоходахъ, не должна быть толще 13 cm. Полезно прокладывать между высту-

*) О кирпичной кладкѣ для нефтяного отопленія см. стр. 867 и слѣд.

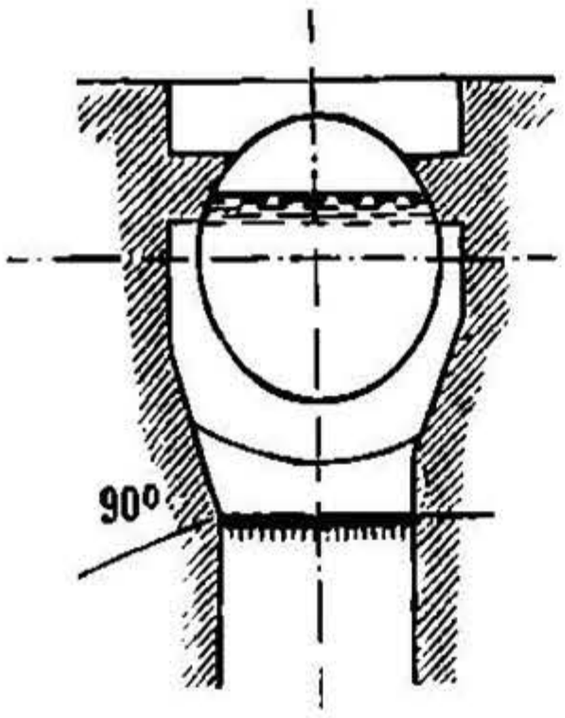
НТБ ДНУЗТ

нающею частью кладки и котломъ желѣзныя прокладки; онѣ необходимы при сыромъ грунтѣ. Перегородки, при вмазкѣ съ извилистыми ходами, дѣлаются толщиною въ 13 cm и не должны плотно прилегать къ стѣнкамъ котла, а прямоугольные кирпичи прилегаютъ ребромъ къ цилиндрической части котла.

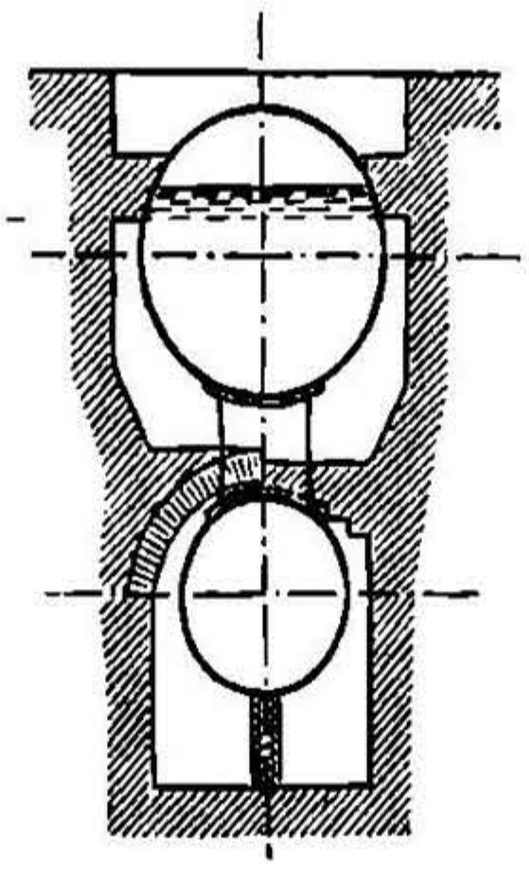
b. Производство кладки.

1. **Вмазка котла съ наружней топкой** производится, какъ на черт. 807, справа и слѣва; второй способъ лучше, такъ какъ въ немъ невозможно прогораніе кладки (изображенное пунктиромъ на черт. 807 справа); камень не обтесывается, почему остается гладкимъ и твердымъ.

Черт. 807.

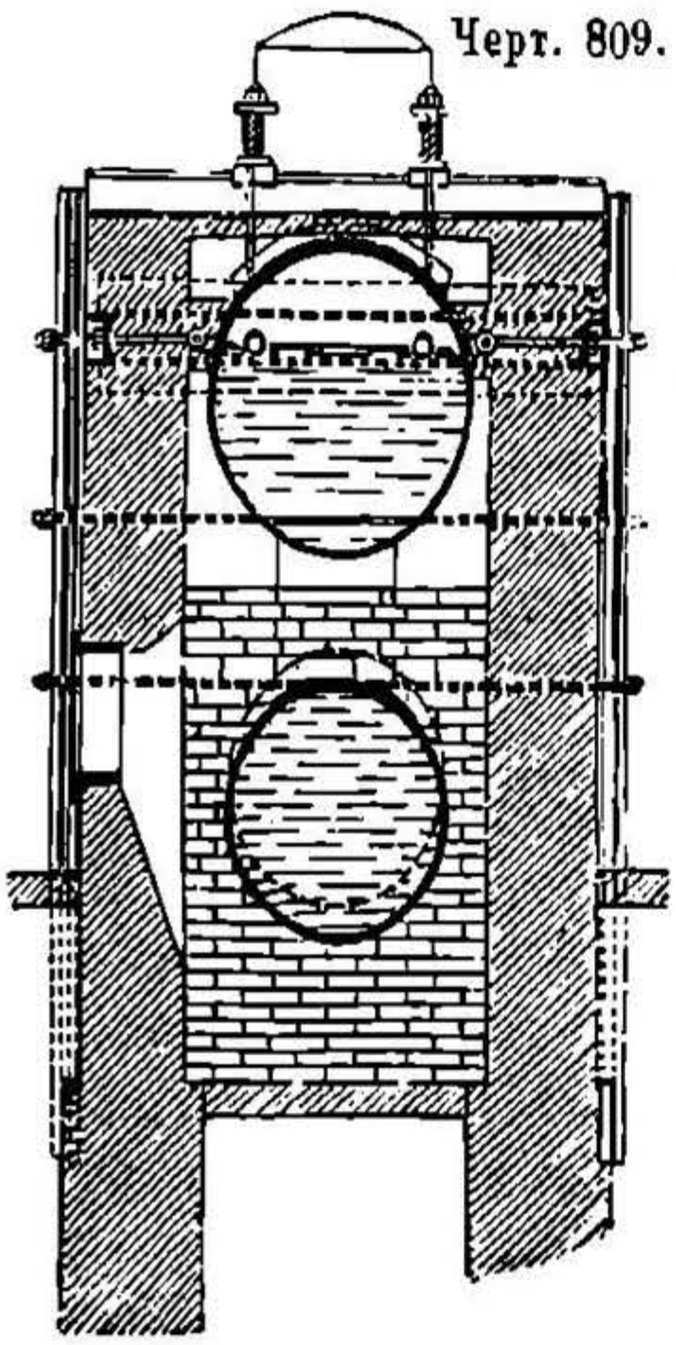


Черт. 808.

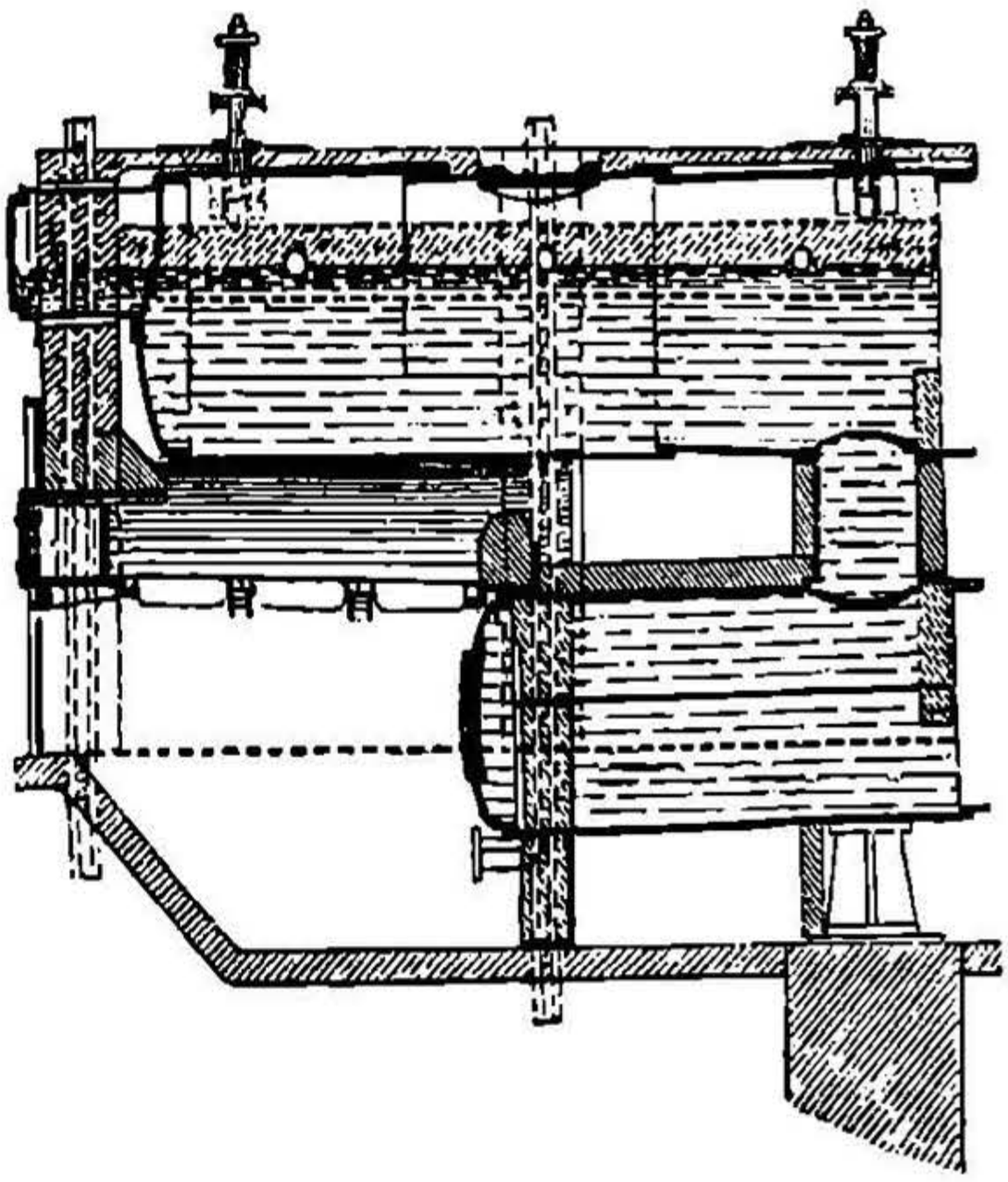


2. **Въ частяхъ котла, которыя проходятъ сквозь кладку** (напр., патрубки для водомѣрнаго стекла, цилиндрическія части котловъ съ жаровыми трубами), эта послѣдняя не должна примыкать плотно къ частямъ котла; весьма употребительна поэтому вмазка, изображенная на черт. 810. Промежуточное пространство

Черт. 809.



Черт. 810.



заполняется рыхлымъ несгораемымъ матеріаломъ, напр., волокни-

НТБ ДНУЗТ

стыми шлаками. Кладка должна доходить до поперечнаго круглаго шва и вполнѣ прикрывать послѣдній.

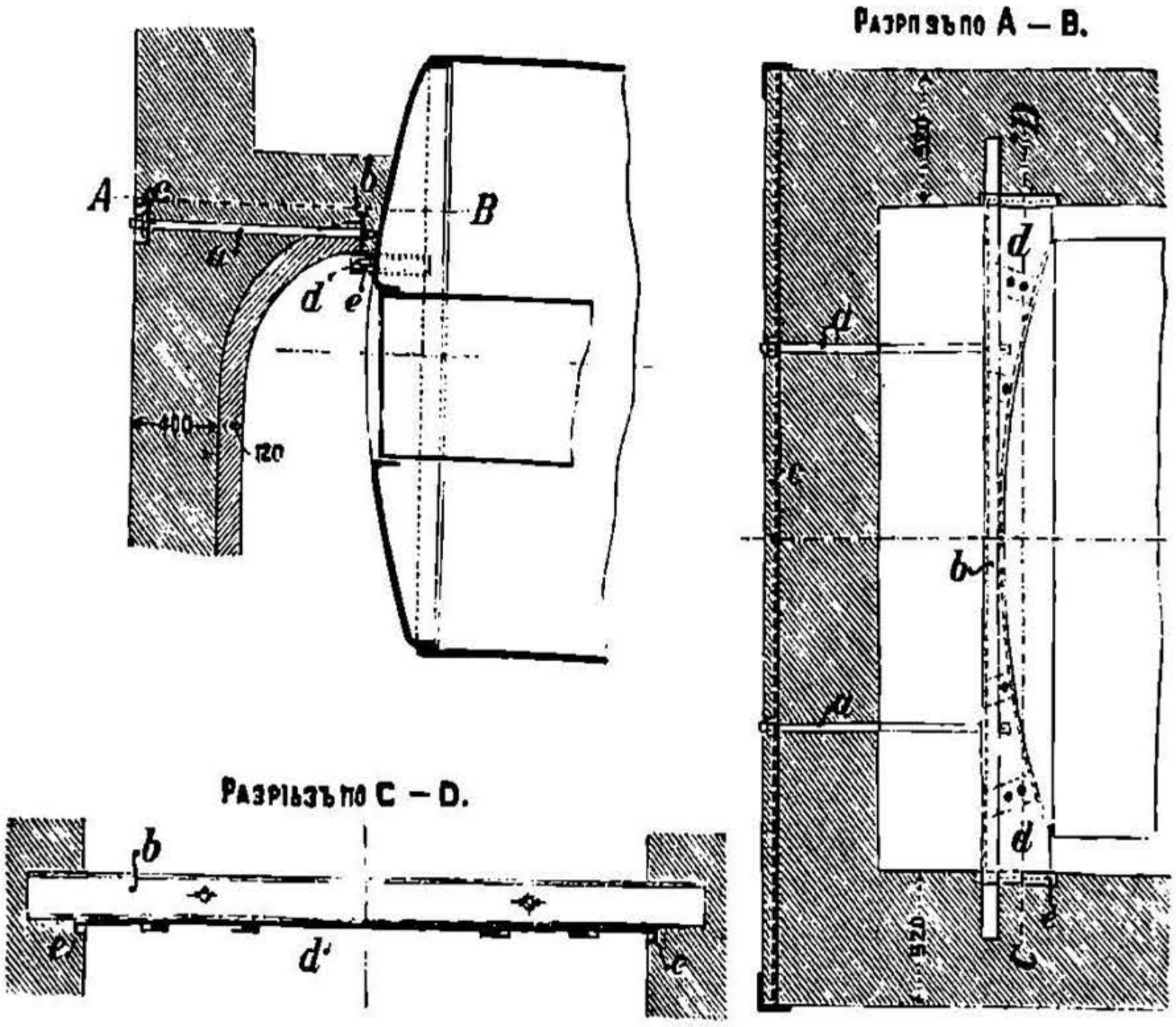
3. Дымоходы надъ нижними котлами не перекрываются сводами (черт. 808—слѣва), а выкладываются уступообразно (черт. 808—справа).

4. Скрѣпленіе кладки.

1. Продольныя стѣны кладки, ниже наинизшаго уровня воды въ котлѣ, притягиваются къ послѣднему посредствомъ якорныхъ тягъ, толщиною 25 mm, захватывающихъ (въ видѣ крючковъ) боковыя поддержки котла или особые шарнирные болты; а со стороны наружней стѣны розетками, діаметромъ 400 mm на 1, 3, 5 и т. д. звеньяхъ котла. При наружней топкѣ (промежуточной) скрѣпленія должны быть очень прочны; рекомендуется коробчатое желѣзо, проложенное вдоль котла и скрѣпленное, какъ выше, якорями и розетками или планками (черт. 809).

2. Соединеніе задней стѣнки съ днищемъ котла. Рекомендуется исполненіе по черт. 811, особенно въ томъ случаѣ,

Черт. 811.



если горючіе газы проходятъ черезъ паровое пространство. Задняя стѣнка примыкаетъ непосредственно не къ днищу котла, а къ укрѣпленной въ продольныхъ стѣнахъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ лобового листа желѣзной двутавровой балкѣ *b*, которая, съ своей стороны, связана съ задней стѣнкой помощью двухъ круглыхъ желѣзныхъ анкеровъ *a* и коробчатой балки *c*. На днищѣ котла помощью четырехъ угольниковъ укрѣплена желѣзная полоса *d*,

НТБ ДНУЗТ

которая плотно примыкаетъ къ днищу, направляется посредствомъ двухъ швеллеровъ *e* въ боковыхъ стѣнкахъ и можетъ слѣдовать за движеніемъ котла въ ту и другую сторону, между тѣмъ какъ двутавровая балка *b* и задняя стѣнка остаются неподвижными. Пространство между двутавровой балкой и днищемъ заполняется шерстяными шлаками до верхней грани двутавровой балки, а поверхъ этого выводится кладка.

3. Для скрѣпленія кладки топочной камеры (очага) употребляются поперечные якоря, проходящіе черезъ сводъ топки и порогъ, а у наружныхъ стѣнъ имѣющіе розетки, или лучше коробчатое желѣзо, или желѣзнодорожные рельсы; части эти сверху скрѣпляются между собой другими якорями, плотно прилегающими къ котлу, а въ нижней части зарываются въ землю (черт. 810).

IV. Арматура котловъ.

a. Гарнитура (грубая арматура).

1. Колосниковая рѣшетка.

Матеріаломъ служатъ чугунъ и желѣзо. Чугунъ хорошаго качества (твердый) вообще прочнѣе и лучше желѣза. Желѣзные колосники должны быть склепываемы, по крайней мѣрѣ, по три штуки. Обыкновенные прямые колосники съ прямымъ прозоромъ для пропуска воздуха на практикѣ весьма хороши. Зазоръ для расширенія колосниковъ отъ дѣйствія теплоты $= {}^1/_{50}$ ихъ длины.

Форма и размѣры колосниковъ. Колосники должны удовлетворять слѣд. условіямъ: центръ тяжести ихъ долженъ находиться ниже опорныхъ плоскостей, прозоры должны пропускать необходимое количество воздуха и хорошо охлаждать колосники снизу; очистка прозоровъ колосниковъ должна производиться съ удобствомъ и легкостью снизу; соотвѣтственно этому, длина колосниковъ не должна быть больше 700 mm; колосники, длина которыхъ больше 700 mm, должны быть утолщаемы въ срединѣ. Лучше дѣлать колосники длиною 500 до 650 mm, постоянной высоты $= {}^1/_5$ до ${}^1/_6$ длины; толщина ихъ внизу $= 10$ до 15 mm, а вверху $= 15$ до 20 mm; толщина прозора зависитъ отъ степени спекаемости угля, тягучести шлаковъ, условій тяги и т. д.

По Мейдингеру *) размѣры и вѣсъ колосниковъ колеблются, въ зависимости отъ ихъ конструкціи, слѣд. образомъ:

вѣсъ 1 qm колосниковой рѣшетки . . .	120	до 470	kg,
площ. прозоровъ на 1 qm колосников. рѣшетки	0,285	„ 0,50	qm,
вся площадь, занимаемая горизонтальнымъ котломъ, на 1 qm площади рѣшетки	4,1	„ 17,1	qm,
ширина зазора между колосниками .	3	„ 8	mm,

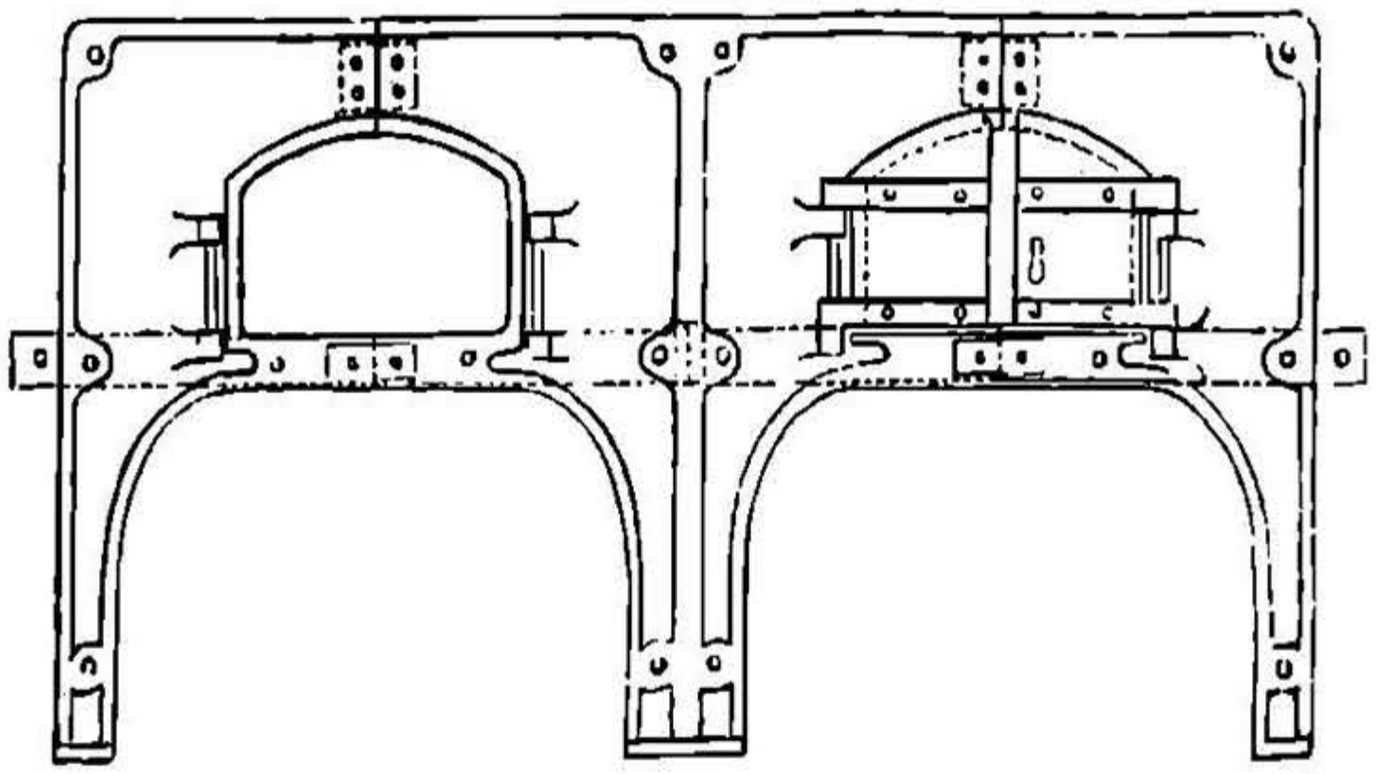
*) См. Meidinger, Ueber Feurungsroste, Z. d. V. d. Ing. 1878, стр. 214 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

ширина колосника вверху.	6	до	18 mm,
высота колосника. . .	3,5	„	14 cm,
вѣсъ одного колосника (одинарнаго или состоящаго изъ нѣсколькихъ соединенныхъ между собою полосъ)	0,6		18,8 kg.

2. Балки, поддерживающія колосниковую рѣшотку.

Черт. 812.



Передняя балка отливается обыкновенно изъ одного куска съ рамой для топочныхъ дверецъ (лицевой плитой), ширина которой при наружней топкѣ равна 400 mm, а при внутренней—200 mm (черт. 812 и 813). Задняя балка отливается съ приливами для укладки порога топки (черт. 813). Въ котлахъ съ внутренней топкой къ задней балкѣ приливается стѣнка для закрытія нижней части жаровой трубы; въ стѣнкѣ этой иногда дѣлается отверстіе для чистки. Въ балкахъ, поддерживающихъ колосники посрединѣ, дѣлаются просвѣты для прохода воздуха (черт. 813). Въ котлахъ съ внутренней топкой колосниковыя балки соединяются между собою болтами на распорныхъ втулкахъ.

Черт. 813.

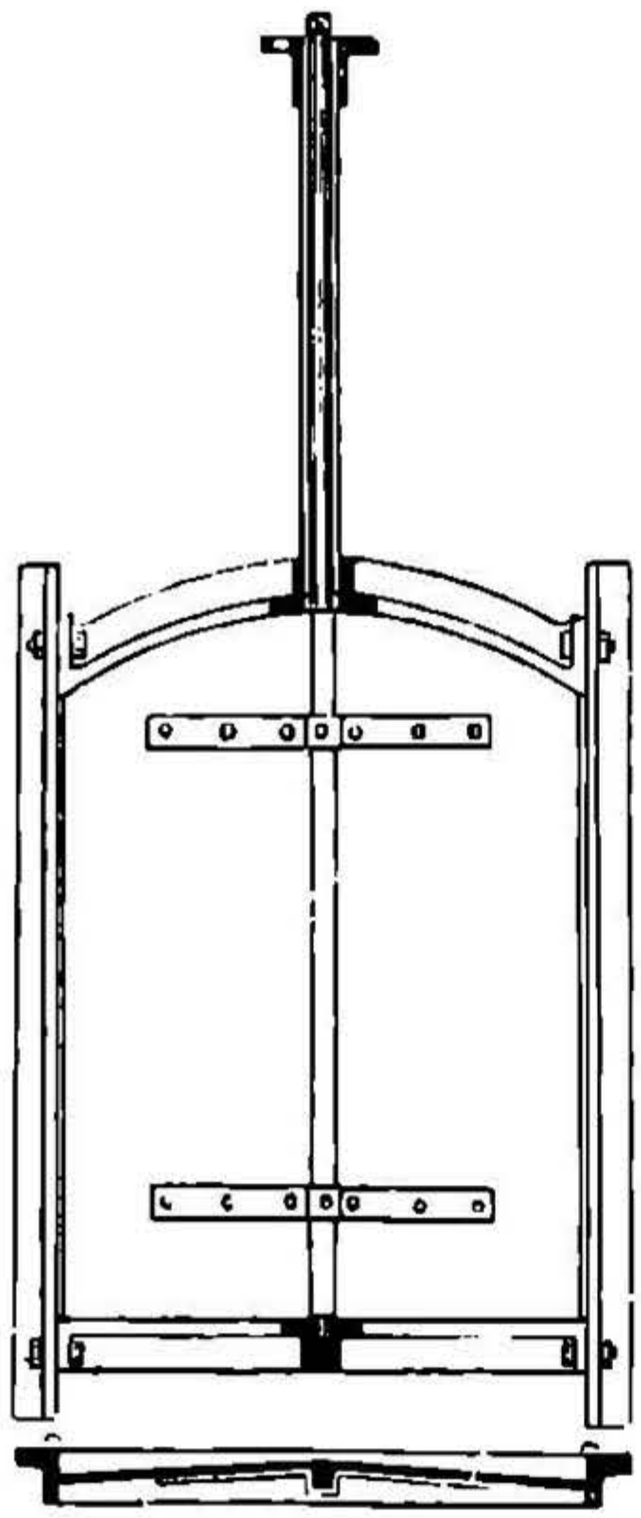
3. Лицевая плита.

Въ котлахъ съ внутренней топкой плиты эти часто дѣлаются желѣзныя, а въ котлахъ съ наружней топкой—чугунныя (черт. 812). Въ котлахъ съ жаровыми трубами плиты прикрѣпляются къ выступающей части послѣднихъ или къ днищу котла; первый способъ предпочитается второму. Въ котлахъ съ наружней топкой плита соединяется съ кладкой прочными якорями; въ этихъ котлахъ желательно дѣлать плиту составною изъ двухъ частей,

НТБ ДНУЗТ

соединяя ихъ посредствомъ прочныхъ накладокъ, для предупрежденія образованія трещинъ отъ вліянія различныхъ температуръ.

Черт. 814.



Для топочныхъ дверецъ должны быть устроены предохранительные листы, а въ самыхъ дверцахъ необходимы отверстія для прохода воздуха, закрываемыя розетками.

Разстояніе предохранительной доски отъ топочныхъ дверецъ = 80 до 100 mm. У котловъ съ внутренней топкой устраиваются сзади дверецъ предохранительныя чугунныя сводчатыя плиты на ширинѣ передней доски (черт. 813); этимъ сохраняется передняя часть жаровой трубы.

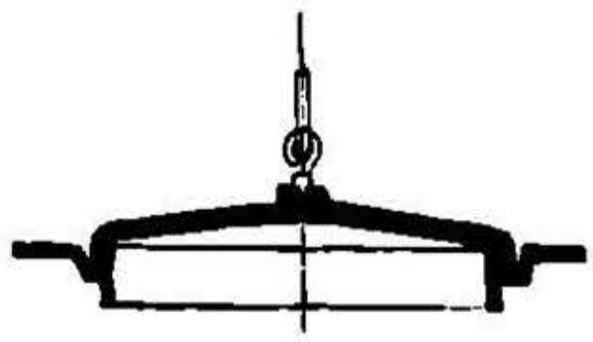
Ширина одинарныхъ дверецъ = 300 до 375 mm, а высота = 250 до 350 mm. Ширина двойныхъ дверецъ 450 до 550 mm, а высота = 300 до 350 mm.

4. Заслонки для регулированія и прекращенія тяги.

1. **Заслонки** большею частью чугунныя; рамы ихъ прочно соединяются якорями съ кладкой. Заслонки уравновѣшиваются посредствомъ противовѣсовъ. Подъемъ заслонки посредствомъ цѣпей, перекинутыхъ черезъ блоки, расположенные въ подвѣсныхъ вилкообразныхъ подшипникахъ.

2. **Вращающаяся заслонка** (черт. 814).

Черт. 815.



3. **Люкъ дымовой.** Рама чугунная, заслонка тоже иногда чугунная, лучше изъ желѣза — тогда вѣсъ ея значительно меньше. Заслонки бываютъ четырехугольныя и круглыя (черт. 815); въ первомъ случаѣ нужны направляющія.

b. Арматура мѣдная.

1. Предохранительный клапанъ.

По формулѣ:

$$f = 15\sqrt{(v : p_1)}\ \text{qmm}$$

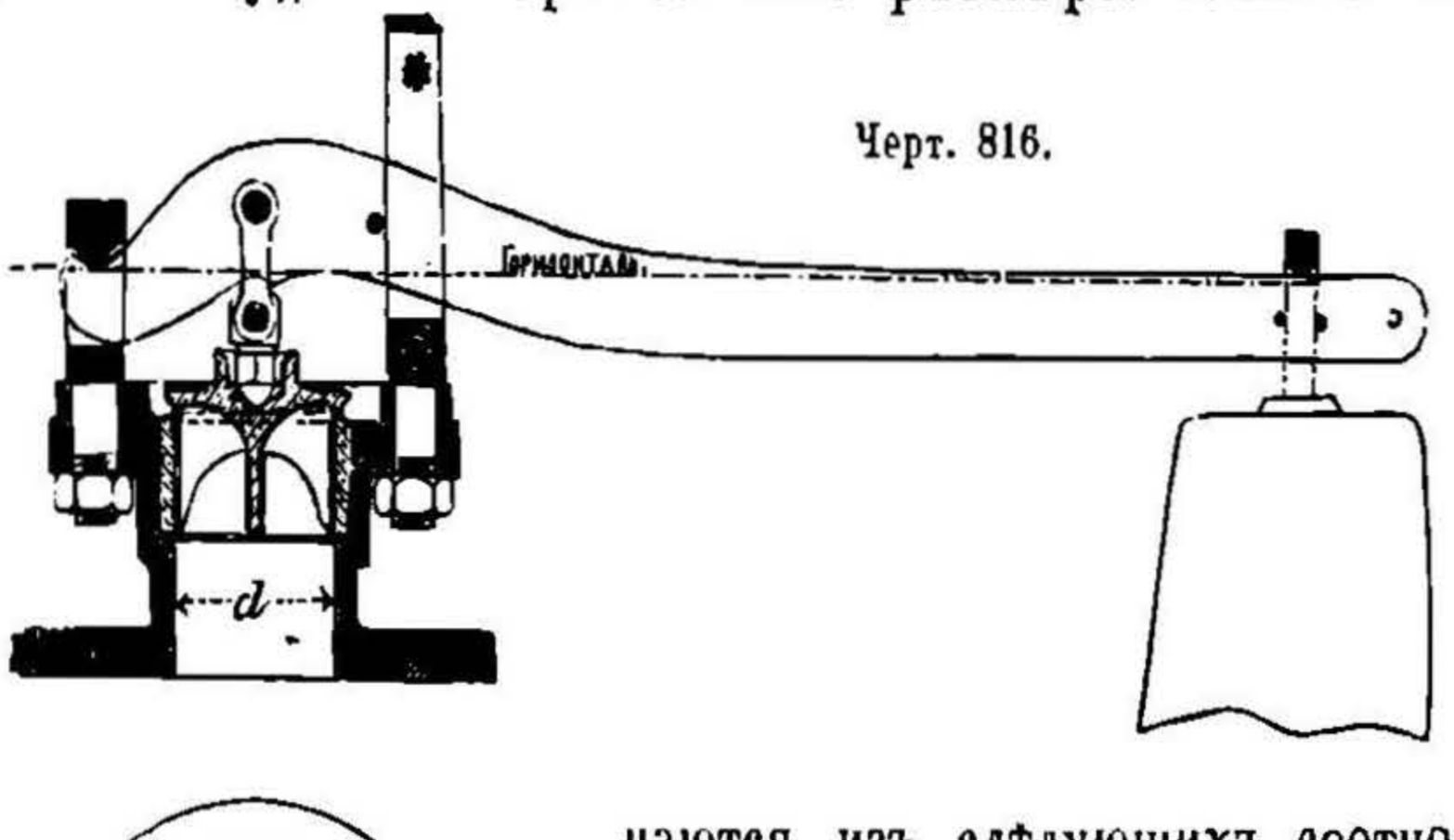
опредѣляется пригодное для практики сѣченіе f въ qmm клапана, приходящееся на 1 qm поверхности нагрѣва котла, если p_1 наибольшій допускаемый избытокъ давленія пара надъ атмосфернымъ въ атм., а v удѣльный объемъ водяного пара (по таблицамъ Флиг-

НТБ ДНУЗТ

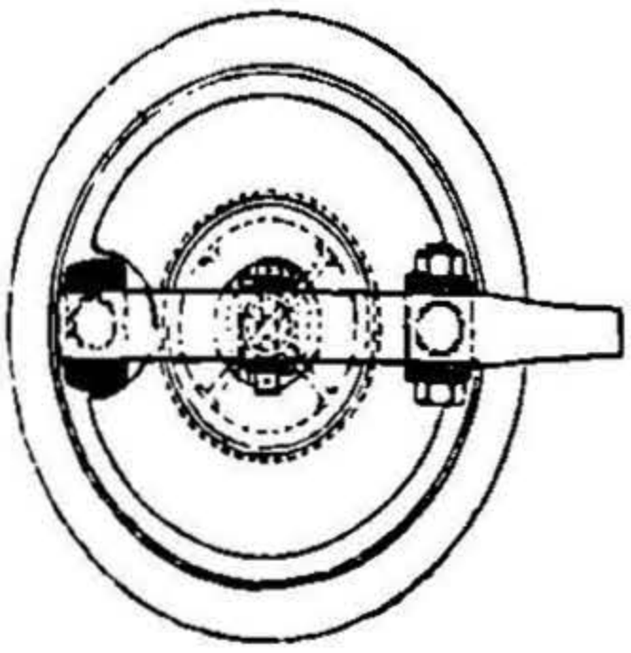
нера, стр. 286 и 287), причемъ принимается также, что, вслѣдствіе направляющихъ реберъ клапана, площадь сѣченія его уменьшается на 20% (см. стр. 298 и 299). По этой формулѣ имѣемъ для:

$p_1 =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$v =$	896	612	467	379	319	276	244	218	198	181	167	154	144	135
$f =$	449	262	187	146	120	102	89	78	70	64	58	54	50	47

Клапаны, діаметромъ болѣе 100 mm, при высокомъ давленіи, замѣняются нѣсколькими клапанами меньшаго діаметра съ тѣмъ, чтобы избѣжать слишкомъ большой нагрузки клапана. Клапаны съ нагрузкой на рычагѣ предпочитаются клапанамъ съ непосредственной нагрузкой. Черт. 816 изображаетъ точно и правильно работающій предохранительный клапанъ, лежащій свободно на сѣдалищѣ и легко доступный для осмотра; его горизонтальное положеніе во всѣхъ направленіяхъ легко можетъ быть провѣрено; точка, въ которой передается давленіе на клапанъ, находится въ плоскости сѣдалища. Рычагъ вращается на ножахъ. Ось вращенія, точка, въ которой передается давленіе на клапанъ, и точка привѣса груза должны лежать въ одной плоскости. Клапанъ подъ давленіемъ на него пара можетъ быть повернутъ. Острія ножей дѣлаются широкими, а рычаги—по возможности прочными (черт. 816). Весьма удовлетворительные размѣры клапана полу-



Черт. 816.



чаются изъ слѣдующихъ соотношеній: наименьшое разстояніе между ножами $= d$, то высота рычага надъ среднимъ ножемъ $= {}^2/_3\ d$, ширина рычага $= {}^1/_3\ d$. Сѣдалище клапана — плоское или коническое; въ обоихъ случаяхъ ширина его не болѣе 2 до 2,5 mm; плоскія сѣдалища не ржавѣютъ, но къ нимъ клапанъ прилегаетъ менѣе плотно, чѣмъ къ коническимъ (уголъ наклона 45°). Направленіе движенія клапана должно быть по возможности длиннѣе; направляющія располагаются сверху или снизу, или сверху

НТБ ДНУЗТ

и снизу; направленіемъ клапана служитъ его шпиндель или ребра. Рычагъ клапана направляется вилкой, замкнутой сверху, и тѣмъ самымъ ограничивающей ходъ клапана.

2. Паровые запорные клапаны.

Клапаны угловые и проходные. Рѣзьба винта снаружи, шпиндель (винтъ) проходитъ черезъ мѣдную втулку желѣзной поперечины, укрѣпленной на двухъ колоннахъ. На шпинделѣ изнутри дѣлается конусъ или заплечикъ для ограниченія хода клапана и затвора сальника, и для возможности производить набивку сальника подъ давленіемъ пара. Чтобы достигнуть того же при закрытомъ клапанѣ, необходимо, чтобы паръ дѣйствовалъ на клапанъ снизу, а не сверху. Діаметръ запорнаго клапана обыкновенно въ 1,1 до 1,25 раза болѣе діаметра предохранительнаго клапана (стр. 941). Клапаны діаметромъ болѣе 250 mm устраиваются двойными, съ цѣлью достичь уравновѣшенія клапана и лучшаго прогрѣванія паропроводной трубы. Опредѣленіе наивыгоднѣйшаго діаметра паропровода указано на стр. 847 и 848.

3. Питательный клапанъ.

Закрываніе клапана самодѣйствующее, подъ давленіемъ воды, находящейся въ котлѣ. Клапаны эти устраиваются со шпинделемъ и безъ шпинделя; первая конструкція даетъ возможность регулировать питаніе котла. Клапанъ долженъ находиться по возможности ближе къ котлу. Рекомендуется вводить запорный клапанъ между котломъ и питательнымъ клапаномъ. Ходъ клапана отъ 5 до 8 mm; сѣдалище клапана должно быть расположено, по крайней мѣрѣ, на 25 mm ниже нижняго края выходного отверстія; сѣдалище коническое или шарообразное, шириною отъ 5 до 6 mm. Головка клапана и плоскость, о которую ударяется клапанъ, для предупрежденія ударовъ воды, принимается въ $^1/_3$ площади клапана. Діаметръ питательнаго клапана не долженъ быть слишкомъ малъ *). На нагнетательной трубѣ рекомендуется устанавливать также предохранительный клапанъ. Нагрузка клапана принимается на 1 атм. больше давленія въ котлѣ.

Отверстіе для питанія котла должно находиться по возможности выше, почти около наинизшаго уровня воды (см. стр. 946, § 6). Если питательная труба проводится черезъ переднее днище котла (въ котлахъ съ жаровыми трубами), то: длина питательной трубы около 3 m; наинизшая точка ея должна быть выше верха жаровыхъ трубъ.

---

*) Вейсбахъ совѣтуетъ опредѣлять діаметръ **питательнаго планана** въ зависимости отъ парообразованія котла; а именно, при расходѣ пара въ часъ въ:

2000 kg = 75 mm,	1200 kg = 65 mm,	700 kg = 50 mm,	300 kg = 40 mm,
1680 „ = 70 „ ,	900 „ = 55 „ ,	500 „ = 45 „ ,	200 „ = 35 „

НТБ ДНУЗТ

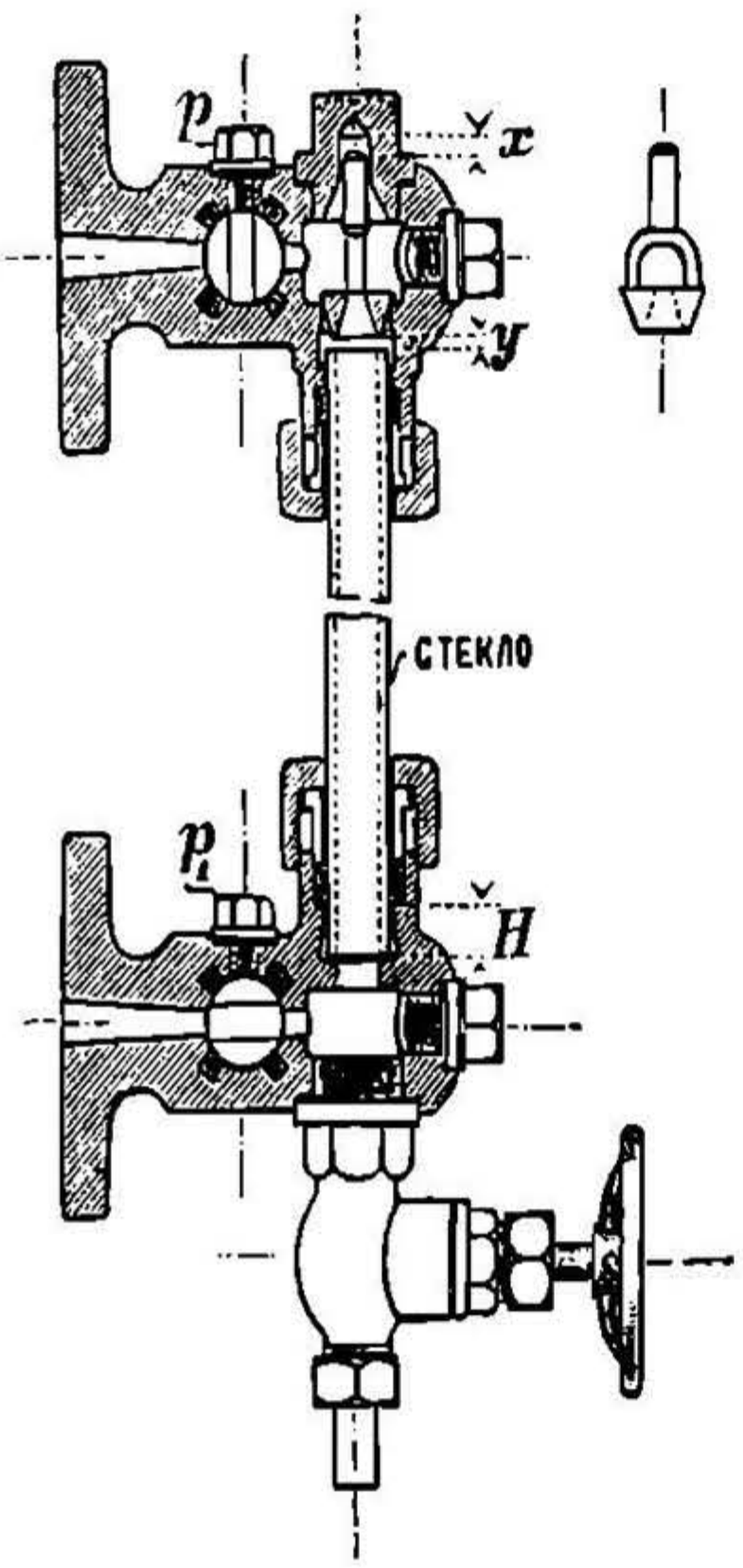
4. Приспособленія для продуванія котла.

Употребляются клапаны, краны или задвижки. Клананами не можетъ быть достигнуто столь плотное и полное запираніе, какъ кранами и задвижками, но эти послѣднія требуютъ значительнаго усилія для ихъ запиранія и отпиранія. Рекомендуется соединять оба приспособленія, т.-е. располагать клапанъ между котломъ и краномъ (или задвижкой). Запирающій клапанъ не долженъ быть слишкомъ великъ; обыкновенно діаметръ его отъ 30 до 60 mm, въ зависимости отъ величины котла. Клапаны эти должны быть легко доступны и хорошо защищены отъ дѣйствія сырости, пепла и т. д.

5. Водоуказательные приборы.

1. **Водомѣрное стекло.** Наружній діаметръ стекла = 20 mm; длина не менѣе 250 mm. Сверху и снизу трубка, на высотѣ 6 до 8 mm, должна входить въ точно приточенныя къ ней втулки, съ тѣмъ, чтобы предотвратить возможность проникновенія матеріала набивки вовнутрь трубки. При неимѣніи такихъ приточенныхъ втулокъ, рекомендуется прокладывать точно пригнанныя къ стеклу свинцовыя шайбы надъ или подъ набивкой.

Черт. 817.



Краны водомѣрныхъ стеколъ по черт. 817. Здѣсь $x + y < H$; поэтому матеріалъ набивки не можетъ проникнуть въ нижнее отверстіе стекла даже при наивысшемъ положеніи стекла. Закрытое винтомъ боковое отверстіе находится въ плоскости, перпендикулярной къ главному проходу въ тѣлѣ крана, и позволяетъ (закрывши коническую пробку крана и отвинтивъ p) во время работы убѣдиться, совпадаетъ ли отверстіе въ конической пробкѣ съ главнымъ проходомъ въ тѣлѣ крана.

Рекомендуется указывать на кранахъ водомѣрнаго стекла, при помощи выбитаго клейма, соотвѣтствующій діаметръ стекла, а также разстояніе между срединами крановъ въ зависимости отъ длины стекла.

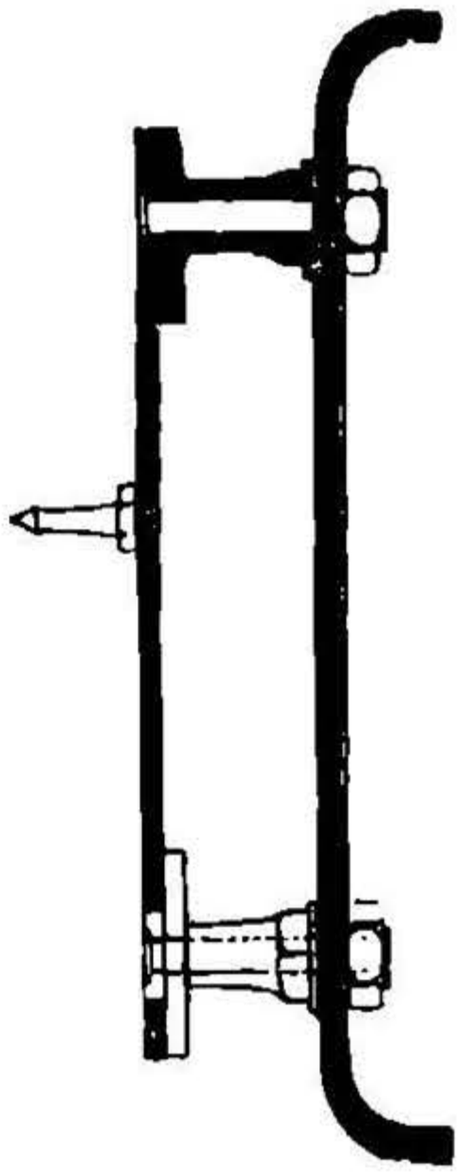
Повѣйшія водомѣрныя стекла Шотта (въ Іенѣ) обладаютъ наибольшимъ сопротивленіемъ при большихъ разницахъ температуръ внутри и снаружи (внутри 200^0, снаружи капли холодной воды температурой 0^0). Они изготовляются такъ, что стекло, обладающее малымъ удлиненіемъ, окружается стекломъ съ большимъ удлиненіемъ, и такимъ образомъ выдуваются (стекло-компаундъ). Въ этихъ стеклахъ устранены часто наблюдающіеся недостатки обыкновенныхъ водомѣрныхъ стеколъ, кото-

НТБ ДНУЗТ

рыя разъѣдаются по линіи уровня воды, лопаются отъ капель холодной воды или снѣжныхъ хлопьевъ, растрескиваются изнутри большею частью отъ необъяснимыхъ причинъ *).

2. **Пробные краны или клапаны.** Діаметръ отверстія 10 mm, изъ нижняго крана должна всегда вытекать вода, изъ верхняго—паръ; разстояніе между обоими кранами = 80 до 120 mm, смотря по пространству, занимаемому объемомъ питающей воды въ котлѣ. Водоуказательные приборы и пробные краны не слѣдуетъ ввинчивать въ котелъ непосредственно или укрѣплять съ помощью фланцевъ; лучше желѣзныя колонки, прикрѣпленныя къ котлу, какъ показано на черт. 818, и къ этимъ послѣднимъ съ помощью фланцевъ или гаекъ слѣдуетъ укрѣплять водоуказательные приборы. Если длина колонокъ, соединяющихъ котелъ съ водоуказательными приборами, значительна, то онѣ должны быть хорошо защищены отъ вреднаго вліянія продуктовъ горѣнія. Двойные водоуказатели прикрѣпляются посредствомъ фланцевъ къ чугуннымъ или желѣзнымъ отросткамъ площадью сѣченія въ свѣту не менѣе 60 qcm.

Черт. 818.



3. **Поплавки** работаютъ не такъ правильно, какъ водомѣрныя стекла, но даютъ возможность опредѣлять уровень воды на значительномъ разстояніи, удобны какъ второй водоуказатель въ котлахъ съ высоко расположеннымъ уровнемъ воды.

6. Манометры.

Манометры ртутные и пружинные. Открытые ртутные манометры наиболѣе надежны, но весьма неудобны на практикѣ, и потому почти исключительно употребляются манометры съ пластинчатыми или трубчатыми (системы Бурдона) пружинами. Пружинные манометры не должны нагрѣваться отъ теплоты, испускаемой котломъ, и потому не должны быть располагаемы вблизи котла; кромѣ того, трубка манометра должна быть соединена съ паровымъ пространствомъ котла возможно болѣе длинною трубкой, съ цѣлью достиженія конденсаціи пара въ этой трубкѣ.

D. Правила относительно устройства, установки и содержанія паровыхъ котловъ, а также порядка освидѣтельствованія оныхъ.

Утверждены Министромъ Финансовъ 30 іюля 1890 г.

I. Опредѣленіе паровыхъ котловъ.

§ 1. Всѣ закрытые приборы, въ которыхъ дѣйствіемъ горящаго топлива жидкости обращаются въ пары, могущіе пріобрѣтать давленіе (абсолютное), болѣе атмосфернаго, признаются паровыми котлами и подчиняются нижеизложеннымъ правиламъ.

---

*) См. E. Glinzer, Neuerungen in der Glasfabrikation, Zeitschr, d. V. d. Ing. 1895, стр. 541.

НТБ ДНУЗТ

Примѣчаніе. Правиламъ симъ не подчиняются такіе открытые паровые котлы, которые снабжены прямыми сообщеніями съ атмосферою посредствомъ вертикально опущенной въ воду трубы, имѣющей болѣе $3^1/_2$ дюйм. внутренняго діаметра и менѣо $2^1/_2$ саж. высоты, считая отъ уровня воды въ котлѣ. Означенная труба не должна имѣть пробки, крана или другихъ какихъ-либо приспособленій для разобщенія внутренняго пространства котла съ атмосферою.

II. Конструкція паровыхъ котловъ.

§ 2. **Стѣнки котловъ,** находящіяся, вполнѣ или частію, въ соприкосновеніи съ продуктами горѣнія, должны быть изготовляемы исключительно изъ сварочнаго желѣза, литого незакаливающагося желѣза или красной мѣди. Не возбраняется употребленіе латуни для прикасающихся къ продуктамъ горѣнія дымогарныхъ трубокъ, если внутренній діаметръ таковыхъ трубокъ не превосходитъ четырехъ дюймовъ.

Употребленіе для вышеозначенныхъ стѣнокъ и трубокъ другихъ матеріаловъ допускается не иначе, какъ съ особаго разрѣшенія Министра Финансовъ, по предварительномъ разсмотрѣніи въ совѣтѣ торговли и мануфактуръ устройства и образа дѣйствія котловъ, для коихъ испрашивается отступленіе отъ общаго правила. При таковомъ разрѣшеніи могутъ быть, въ видахъ общественной безопасности, вмѣняемы къ обязательному соблюденію особыя условія относительно устройства, арматуры, установки, испытанія и употребленія таковой системы котловъ, о чемъ доводится до всеобщаго свѣдѣнія.

§ 3. **Уровень воды** въ постоянныхъ и подвижныхъ котлахъ, употребляемыхъ на сушѣ, долженъ быть, по крайней мѣрѣ, на четыре дюйма выше наивысшей черты соприкасающихся съ продуктами горѣнія стѣнокъ котла, если только эти стѣнки подвергаются опасности быть раскаленными. То же правило примѣняется къ рѣчнымъ пароходнымъ котламъ, наибольшій горизонтальный размѣръ которыхъ, по ширинѣ судна, не превосходитъ четырехъ футовъ; въ котлахъ же, горизонтальный размѣръ которыхъ, по ширинѣ судна, заключается между четырьмя и восьмью футами, превышеніе уровня воды надъ подверженными опасности накаливанія стѣнками его должно быть не менѣе шести дюймовъ, а при размѣрѣ болѣе восьми футовъ (какъ, напримѣръ, въ котлахъ мореходныхъ судовъ) не менѣе семи дюймовъ; на катерахъ же можетъ быть и въ три дюйма.

Примѣчаніе 1. Стѣнкою котла, не подверженною опасности накаливанія, признается та, до прикосновенія съ которою продукты горѣнія должны пройти по поверхности нагрѣва, превосходящей площадь рѣшетки (на которой горитъ топливо) въ 40 разъ, если естественная тяга, производимая дымовою трубою, усиливается посредствомъ выпускаемой въ трубу струи пара, и въ 20 разъ, если такого усиленія естественной тяги не имѣется.

Примѣчаніе 2. Изложенныя въ семъ параграфѣ правила не относятся къ котламъ, составленнымъ изъ трубъ, въ которыхъ циркулируетъ вода, если внутренній діаметръ этихъ трубъ не превышаетъ четырехъ дюймовъ, и къ вертикальнымъ трубчатымъ котламъ, поверхность нагрѣва которыхъ не превосходитъ ста квадратныхъ футовъ.

III. Арматура паровыхъ котловъ.

§ 4. Всѣ постоянные и подвижные паровые котлы должны быть снабжены, по крайней мѣрѣ, двумя **предохранительными клапанами**, изъ которыхъ одинъ долженъ имѣть устройство, не дозволяющее машинисту измѣнять нагрузку клапана. Нагрузка клапановъ должна быть такова, чтобы они открывались при наивысшемъ давленіи, для котораго разрѣшено употребленіе котла, размѣры же клапановъ должны быть образованы съ парообразовательною способностью котла. Если грузъ дѣйствуетъ при посредствѣ рычага, то наивысшему давленію пара въ котлѣ должно соотвѣтствовать положеніе груза на самомъ концѣ рычага. Предохранительные клапаны должны быть устроены такимъ образомъ, чтобы всегда возможно было повѣрить исправное ихъ состояніе.

Примѣчаніе. Въ подвижныхъ, а также пароходныхъ и паровозныхъ котлахъ, допускаются пружинные предохранительные клапаны.

§ 5. Каждый паровой котелъ долженъ быть снабженъ вѣрнымъ **манометромъ** съ сифонною трубкою. На скалѣ или циферблатѣ манометра должна быть проведена замѣтная черта въ томъ мѣстѣ гдѣ долженъ быть указатель при наивысшемъ, допускаемомъ при работѣ, давленіи внутри котла.

Маиометръ долженъ помѣщаться на видномъ для кочегара мѣстѣ.

НТБ ДНУЗТ

На котлахъ пароходовъ должно быть два манометра: одинъ на виду у кочегара, а другой на палубѣ, въ удобномъ для наблюденія мѣстѣ. Если нѣсколько пароходныхъ котловъ соединены между собою, то, кромѣ отдѣльныхъ при каждомъ изъ нихъ манометровъ, расположенныхъ на виду у кочегара, на палубѣ достаточно имѣть одинъ общій манометръ.

Если котлы отдѣляются отъ машинъ стѣнкою или переборкою, то въ помѣщеніи машинъ долженъ быть установленъ манометръ для наблюденія машинисту.

§ 6. При каждомъ паровомъ котлѣ, имѣющемъ не болѣе двухъ сотъ квадратныхъ футовъ площади нагрѣва, равно какъ и при котлахъ локомобилей, должно быть, по крайней мѣрѣ, по одному надежному **питательному прибору**, могущему поддерживать нормальный уровень воды въ котлѣ, при самомъ усиленномъ его дѣйствіи. Для котловъ, имѣющихъ болѣе 200 кв. фут. поверхности нагрѣва, требуется два такихъ же питательныхъ прибора; притомъ оба прибора должны приводиться въ дѣйствіе независимо одинъ отъ другого, и такъ, чтобы, въ случаѣ порчи одного прибора, другой могъ дѣйствовать. Два независимые питательные прибора признаются достаточными и для нѣсколькихъ котловъ, въ одномъ помѣщеніи расположенныхъ, но съ тѣмъ, чтобы размѣры каждаго прибора были съ избыткомъ достаточны для питанія всѣхъ котловъ.

Питательный приборъ долженъ соединяться съ котломъ посредствомъ клапана, который давленіемъ пара изнутри долженъ запираться.

§ 7. При каждомъ паровомъ котлѣ должна быть **водоуказательная стеклянная трубка** и, по крайней мѣрѣ, два крана для показанія уровня воды въ котлѣ, изъ коихъ каждый долженъ имѣть отдѣльное соединеніе съ котломъ; кромѣ того, могутъ быть и другія соотвѣтствующія этой же цѣли приспособленія. При водоуказательной трубкѣ долженъ быть ясно обозначенъ красною или бѣлою продольною полосою наинизшій допускаемый уровень воды въ котлѣ. Водоуказательные краны надлежитъ располагать такъ, чтобы нижній находился на горизонтѣ наинизшаго уровня. Водоуказательные краны и краны при водоуказательныхъ трубкахъ должны быть устроены такъ, чтобы ихъ, для устраненія засоренія, можно было протыкать по прямому направленію.

§ 8. Паровые котлы должны быть устроены такъ, чтобы было возможно **очищать ихъ внутреннія стѣнки** при помощи одного или нѣсколькихъ отверстій, или другихъ приспособленій.

IV. Помѣщеніе паровыхъ котловъ.

§ 9. Помѣщеніе паровыхъ котловъ на сушѣ должно удовлетворять, въ отношеніи самаго зданія, всѣмъ постановленнымъ въ строительномъ уставѣ требованіямъ и, сверхъ того:

1. Оно должно быть достаточно освѣщено и достаточно просторно, дабы можно было удобно дѣйствовать всѣми приборами, при котлѣ имѣющимися, а равно осматривать и, въ случаѣ надобности, исправлять и перемѣнять таковые.

2. Между кладкою печи котла и стѣнами помѣщенія долженъ оставаться промежутокъ не менѣе полутора вершковъ, который по концамъ можетъ быть заложенъ и сверху перекрытъ.

3. Котлы, работающіе болѣе чѣмъ при *шести* атмосферахъ дѣйствительнаго давленія (внутреннее давленіе за вычетомъ внѣшняго атмосфернаго), равно такіе, при которыхъ отъ перемноженія числа, выражающаго дѣйствительное давленіе въ атмосферахъ, на число квадратныхъ футовъ поверхности нагрѣва, получается произведеніе, превосходящее *десяти*, за исключеніемъ котловъ, составляемыхъ изъ трубъ, внутренній діаметръ коихъ (кромѣ собирателей пара или коллекторовъ) не болѣе четырехъ дюймовъ, а поверхность нагрѣва не превосходитъ 300 квадратныхъ футовъ, воспрещается устанавливать:

а) подъ мастерскими, жилыми комнатами и такими помѣщеніями, въ которыхъ находятся обыкновенно люди;

б) внутри всѣхъ исчисленныхъ въ пунктѣ а) помѣщеній; исключеніе допускается только для мастерскихъ, не покрытыхъ сводами и не имѣющихъ потолка на балкахъ, причемъ мѣсто, занимаемое котлами, имѣющими самостоятельную топку, должно быть отдѣляемо отъ остальной части мастерскихъ перегородками, безопасными въ пожарномъ отношеніи, съ необходимыми проходами и дверями; для котловъ же, дѣйствующихъ теряющимся жаромъ отъ какихъ-либо печей, а равно при временныхъ устройствахъ, напримѣръ, при инженерныхъ работахъ, въ рудникахъ, золотопромывательныхъ фабрикахъ и т. п., такого огражденія не требуется.

4. **Двери и окна** помѣщенія, гдѣ находится паровой котелъ, должны открываться наружу.

НТБ ДНУЗТ

5. Помѣщеніе парового котла должно быть отдѣлено отъ жилыхъ комнатъ или мастерскихъ, если таковыя находятся рядомъ, каменною или кирпичною стѣною, толщиною въ $1^1/_4$ аршина; полъ въ помѣщеніи парового котла долженъ быть изъ несгараемыхъ матеріаловъ.

6. Черезъ котельный покой допускаются **проходы,** но никакъ не для общей массы рабочихъ, для которой проходъ изъ одного отдѣленія завода или фабрики въ другое, или во дворъ, долженъ быть особый, помимо котельнаго покоя.

7. Помѣщеніе котла на паровомъ суднѣ должно удовлетворять требованіямъ удобнаго надзора и ухода и доступа ко всѣмъ частямъ котла, требующимъ постояннаго осмотра. **Полъ въ помѣщеніи** пароходнаго котла долженъ быть изъ несгараемыхъ матеріаловъ или покрытъ таковыми.

V. Освидѣтельствованіе паровыхъ котловъ.

§ 10. Всякій, находящійся въ употребленіи, паровой котелъ, въ сроки, указанные ниже (§§ 12 и 16), подвергается **техническому освидѣтельствованію** на мѣстѣ своего дѣйствія. Освидѣтельствованіе подвижныхъ котловъ производится на одномъ изъ мѣстъ ихъ дѣйствія, по указанію владѣльца.

Примѣчаніе 1. Удостовѣреніе объ освидѣтельствованіи подвижныхъ котловъ сохраняетъ свою силу до срока, хотя бы котелъ былъ перевезенъ и установленъ на другомъ мѣстѣ.

Примѣчаніе 2. Если подвижной котелъ, построенный въ Россіи, былъ освидѣтельствованъ до выпуска его изъ мастерской, въ коей онъ изготовленъ, то свидѣтельство это также сохраняетъ силу до срока, назначеннаго до слѣдующаго освидѣтельствованія.

11. Цѣль техническаго освидѣтельствованія парового котла заключается въ приведеніи въ извѣстность состоянія котла во всѣхъ его частяхъ и самаго помѣщенія его и въ удостовѣреніи, что означенное состояніе во всемъ согласно съ условіями даннаго на постановку котла разрѣшенія, что, притомъ, котелъ снабженъ, сообразно симъ условіямъ и общимъ правиламъ, надлежащими предохранительными приспособленіями и что сіи приспособленія содержатся въ удовлетворительномъ видѣ и порядкѣ.

§ 12. Техническое **освидѣтельствованіе котла** бываетъ **наружнее и внутреннее.** Первое производится **одинъ разъ въ 2 года,** а второе требуется для каждаго вновь устанавливаемаго парового котла прежде допущенія его къ дѣйствію и, затѣмъ, возобновляется **черезъ каждыя шесть лѣтъ и ранѣе,** въ случаѣ, указанномъ ниже въ § 16, соединяясь съ очереднымъ наружнимъ освидѣтельствованіемъ. Независимо отъ сего, внутреннее освидѣтельствованіе котла производится послѣ каждаго значительнаго исправленія, а именно: если котелъ для исправленія былъ снятъ съ своего мѣста или обнаженъ отъ кладки, а равно если при исправленіи вынута была внутренняя жаровая труба, имѣющая болѣе четырехъ дюймовъ въ діаметрѣ, или часть внутренней топки, или сдѣлана замѣна одного или нѣсколькихъ листовъ.

Примѣчаніе. Независимо отъ установленныхъ выше сроковъ для освидѣтельствованія паровыхъ котловъ, начальству, на которое возложено завѣдываніе ими, предоставляется во всякое время командировать состоящихъ въ его распоряженіи техниковъ для наблюденія за точнымъ исполненіемъ правилъ, предписанныхъ при употребленіи паровыхъ котловъ.

§ 13. При **наружномъ освидѣтельствованіи,** которое должно быть производимо безъ остановки дѣйствія котла, обращается главнѣйшее вниманіе на слѣдующіе предметы: состояніе помѣщенія котла, состояніе питательныхъ и водоуказательныхъ приборовъ, состояніе приспособленій для чистки котла, приборовъ для указанія давленія пара, приборовъ для удаленія излишнихъ паровъ, когда давленіе переходитъ за установленный нормальный предѣлъ, и устройство и состояніе топки.

При производствѣ наружняго освидѣтельствованія должно удостовѣриться въ томъ, знакомъ ли кочегаръ съ назначеніемъ и употребленіемъ имѣющихся при котлѣ приборовъ и знаетъ ли онъ, какія именно мѣры слѣдуетъ принимать въ случаѣ пониженія уровня воды въ котлѣ за предѣлы допускаемаго.

§ 14. **Внутреннее освидѣтельствованіе** простирается на состояніе всего котельнаго устройства и помѣщенія; съ нимъ соединяется испытаніе прочности стѣнокъ котла посредствомъ гидравлическаго давленія; для производства сего освидѣтельствованія, дѣйствіе котла должно быть остановлено. Предметы, на которые, при внутреннемъ освидѣтельствованіи, должно преимущественно обращать вниманіе, кромѣ указанныхъ выше въ § 13, суть слѣдующіе:

НТБ ДНУЗТ

Состояніе стѣнокъ, заклепокъ и связей какъ внутри, такъ и снаружи котла, равно жаровыхъ и дымовыхъ трубъ и распорныхъ болтовъ, причемъ должно быть опредѣлено: не пострадала ли отъ употребленія прочность всѣхъ этихъ частей и не слѣдуетъ ли перемѣнить трубки, если таковыя въ котлѣ имѣются; присутствіе и физическія-свойства котельнаго камня или накипи; состояніе трубъ, приводящихъ воду, и отверстій для чистки; состояніе питательныхъ и паровыхъ клапановъ; состояніе соединительныхъ трубъ между котлами съ одной стороны, манометромъ и водоуказателемъ—съ другой, а равно состояніе всѣхъ прочихъ предохранительныхъ приборовъ, состояніе порога и пламенныхъ ходовъ какъ внутри, такъ и снаружи котла. Если внутреннее освидѣтельствованіе не можетъ быть произведено посредствомъ обхода дымоводовъ или какимъ-либо другимъ способомъ, безъ обнаженія котла, то одежда или кладка котла должна быть устранена, вся или частью, на свидѣтельствуемыхъ мѣстахъ.

§ 15. При **испытаніи котловъ гидравлическимъ давленіемъ**, которое входитъ въ составъ внутренняго ихъ освидѣтельствованія, соблюдаются слѣдующія правила: а) паровые котлы, предназначенные къ употребленію при дѣйствительномъ давленіи не свыше *одной* атмосферы, подвергаются дѣйствительному давленію, *второе* сильнѣе того наибольшаго дѣйствительнаго давленія, при которомъ котелъ предназначается къ дѣйствію; б) паровые котлы, предназначенные къ употребленію при дѣйствительномъ давленіи, превышающемъ одну атмосферу, но не болѣе *пяти атмосферъ*, подвергаются при испытаніи дѣйствительному давленію *вдвое* сильнѣе того наибольшаго дѣйствительнаго давленія, при которомъ котелъ предназначается къ работѣ, по во всякомъ случаѣ не менѣе *трехъ атмосферъ*; в) котлы, предназначаемые къ работѣ при дѣйствительномъ давленіи болѣе *пяти* атмосферъ, испытываются дѣйствительнымъ давленіемъ, равнымъ наибольшему, допускаемому для котла, дѣйствительному давленію, *увеличенному на пять атмосферъ*; г) давленіе, коему подвергается котелъ при испытаніи, опредѣляется преимущественно посредствомъ вывѣреннаго манометра, который, равно какъ и насосъ, для производства испытаній необходимый, должны быть доставляемы ревизующимъ техникомъ; д) пробное давленіе поддерживается при испытаніи въ теченіе премени, достаточнаго для тщательнаго осмотра всѣхъ частей котла; е) котелъ признается выдержавшимъ испытаніе, если: 1) въ котлѣ не оказывается признака разрыва, 2) не замѣчаются измѣненія, остающіяся и по окончаніи испытанія, 3) не замѣчается течи, причемъ, однако, выходъ воды черезъ швы и заклепки, въ видѣ мелкой пыли или мелкихъ капель (такъ называемыхъ слезокъ), течью не считается; ж) кипятильники испытываются точно такъ же, какъ и котлы.

§ 16. Если, **при внутреннемъ или наружнемъ освидѣтельствованіи** окажутся **значительныя неправильности** въ способѣ употребленія котла, то, для удостовѣренія въ надлежащемъ ихъ устраненіи, отъ усмотрѣнія свидѣтельствовавшаго лица зависитъ повтореніе наружняго осмотра.

Если освидѣтельствованіе обнаружитъ недостатки, которые не будутъ немедленно устранены, то назначается крайній срокъ времени, необходимый къ возстановленію правильнаго состоянія котла; по истеченіи сего срока освидѣтельствованіе должно быть произведено вновь.

Если при освидѣтельствованіи окажется, что котелъ находится въ состояніи, которое **угрожаетъ непосредственною опасностью**, то немедленно должно быть остановлено его дѣйствіе, впредь до устраненія опасности, съ составленіемъ о томъ акта, въ которомъ должна быть указана подробно причина остановки. Въ такомъ случаѣ, предварительно обращенія вновь котла въ дѣйствіе, должны быть приняты мѣры для устраненія опасности, и затѣмъ должно быть повторено освидѣтельствованіе, для удостовѣренія въ согласномъ съ установленными правилами состояніи всего устройства.

Если, при внутреннемъ освидѣтельствованіи и испытаніи гидравлическимъ давленіемъ котла, онъ окажется еще годнымъ къ употребленію, но вслѣдствіе долговременной службы возможность продолжительнаго его употребленія представляется сомнительною, то слѣдующее внутреннее освидѣтельствованіе назначается совмѣстно съ очереднымъ наружнимъ освидѣтельствованіемъ.

§ 17. **Наружнее освидѣтельствованіе, безъ испытанія гидравлическимъ давленіемъ**, производится безъ предварительнаго о томъ увѣдомленія; объ испытаніи гидравлическимъ давленіемъ владѣлецъ иди его уполномоченный предувѣдомляются свидѣтельствующимъ лицомъ, по крайней мѣрѣ, за мѣсяцъ, причемъ на обязанности владѣльца лежитъ приготовленіе котла къ таковому освидѣтельствованію; окончательный выборъ времени для этого освидѣтельствованія, въ теченіе назначеннаго срока, производится по соглашенію съ владѣльцемъ и по преимуществу въ нерабочіе дни.

НТБ ДНУЗТ

Если бы соглашеніе не состоялось, то время освидѣтельствованія опредѣляется ревизующимъ техникомъ, но не иначе, какъ въ нерабочіе дни, а для котловъ, дѣйствующихъ непрерывно, въ промежутки времени между ихъ рабочими періодами.

Владѣлецъ котла обязанъ **оказывать содѣйствіе лицу**, назначенному для освидѣтельствованія, и производить на свой счетъ всѣ необходимыя при этомъ работы.

Внутреннее освидѣтельствованіе пароходныхъ котловъ производится непремѣнно до начала рейсовъ.

Примѣчаніе. Внутреннее освидѣтельствованіе и испытаніе гидравлическимъ давленіемъ котловъ, которые во время ихъ бездѣйствія опечатываются акцизнымъ надзоромъ, производится по соглашенію сего послѣдняго съ свидѣтельствующимъ котелъ лицомъ.

§ 18. Владѣлецъ котла долженъ имѣть при каждомъ котлѣ особую **шнуровую книгу**, выдаваемую подлежащими властями, въ которую вносится, за надлежащими подписями, результатъ каждаго освидѣтельствованія. Независимо отъ того, въ удостовѣреніе каждаго произведеннаго внутренняго освидѣтельствованія и испытанія гидравлическимъ давленіемъ, ревизующимъ техникомъ накладывается на котелъ **клеймо**, съ обозначеніемъ числа атмосферъ наибольшаго допускаемаго дѣйствительнаго давленія, года освидѣтельствованія и нумера по порядку внутреннихъ освидѣтельствованій, произведенныхъ въ текущемъ году.

Клеймо выбивается на особой металлической (латунной, мѣдной) пластинкѣ, которая привинчивается на видномъ мѣстѣ котла или на кладкѣ онаго.

VI. О разрѣшеніи установки паровыхъ котловъ.

§ 19. Для **установки парового котла** необходимо разрѣшеніе начальства, на которое возложено завѣдываніе котлами; сему начальству подается **прошеніе** о такомъ разрѣшеніи.

§ 20. Въ прошеніи обозначаются имя, званіе и мѣсто жительства просителя. Къ прошенію должны быть приложены: а) въ двухъ экземплярахъ—**описаніе и чертежъ котла** въ простыхъ линіяхъ и, сверхъ того, для неподвижныхъ котловъ, генеральный планъ мѣстности и чертежъ зданія для помѣщенія котла. Въ описаніи должны содержаться: размѣры котла, родъ матеріала, размѣры клапановъ и ихъ нагрузки, величина поверхности нагрѣва котла, устройство питанія и топки, предѣльное дѣйствительное давленіе, выше котораго котелъ не будетъ работать, а также сила и родъ паровой машины, если котелъ для такой предназначенъ. Чертежъ котла долженъ заключать въ себѣ данныя, необходимыя для опредѣленія площади, прикасающейся къ продуктамъ горѣнія съ одной стороны, къ водѣ—съ другой, и высоты наинизшаго допускаемаго водостоянія надъ жаровыми каналами. **На генеральномъ планѣ** должны быть нанесены въ линіяхъ всѣ зданія, принадлежащія промышленному заведенію, для котораго котелъ назначается, а также поименованы сосѣди, указанъ родъ пограничныхъ построекъ. **Строительный чертежъ помѣщенія котла** долженъ ясно указывать мѣсто котла, мѣсто и высоту дымовой трубы, равно какъ положеніе жаровыхъ и дымогарныхъ трубъ. Простой планъ и разрѣзъ для этого достаточны. Для генеральныхъ плановъ и чертежей зданій должны быть употребляемы масштабы, установленные строительными правилами. Чертежъ котла долженъ быть исполненъ въ $^1/_{20}$ натуральной величины. На каждомъ чертежѣ долженъ быть нанесенъ его масштабъ. Описаніе и чертежи должны быть подписаны тѣми, кто ихъ изготовлялъ, и просителемъ; б) **удостовѣреніе мѣстнаго полицейскаго начальства и отзывъ**, въ подлежащихъ случаяхъ, городского общественнаго управленія о томъ, не встрѣчается ли къ удовлетворенію просьбы какихъ либо особыхъ препятствій.

§ 21. **Прошенія** о разрѣшеніи на постановку паровыхъ котловъ передаются на предварительное заключеніе техника, находящагося для сей цѣли въ распоряженіи начальства, на которое возложено завѣдываніе котлами; въ случаѣ же отсутствія сего техника, прошеніе передается на заключеніе другого свѣдущаго лица. За симъ, по разсмотрѣніи, соотвѣтствуетъ ли предположенное устройство существующимъ постановленіямъ закона, а равно и правиламъ, установленнымъ для употребленія паровыхъ котловъ, постановка парового котла или разрѣшается безусловно, или при разрѣшеніи предписывается произвести извѣстное устройство, или принять извѣстныя мѣры, или же разрѣшенія вовсе не дается. Въ случаѣ отказа должны быть указаны всѣ тѣ нарушенія правилъ, вслѣдствіе которыхъ не послѣдовало разрѣшенія.

§ 22. **Разрѣшеніе по прошеніямъ** о постановкѣ паровыхъ котловъ дается въ возможно кратчайшій срокъ; во всякомъ случаѣ, отвѣтъ по каждому такому прошенію долженъ быть объявленъ просителю черезъ мѣстную полицію **не позже, какъ въ мѣ-**

НТБ ДНУЗТ

сячный срокъ послѣ дня подачи прошенія, съ присоединеніемъ къ сему сроку времени, необходимаго для пересылки по почтѣ прошенія и отвѣта на опос.

Въ случаѣ, если, по какимъ-либо особымъ обстоятельствамъ, рѣшеніе по данному прошенію не можетъ быть дано въ указанный срокъ, то просителю въ теченіе сего срока объявляется черезъ мѣстную полицію, когда именно онъ можетъ получить рѣшеніе на просьбу, съ указаніемъ причинъ замедленія. Если такого увѣдомленія не послѣдуетъ, или если окончательный отвѣтъ просителю не будетъ объявленъ и во вновь указанный подлежащимъ начальствомъ по принадлежности срокъ, то, **по истеченіи мѣсяца** съ указаннаго окончательнаго срока, разрѣшеніе считается даннымъ во всемъ, согласно съ поданнымъ прошеніемъ, насколько оно не противно дѣйствующимъ узаконеніямъ. Проситель, желающій воспользоваться принадлежащимъ ему, на основаніи сказаннаго, правомъ, обязанъ предупредить о таковомъ своемъ намѣреніи мѣстную полицію и представить удостовѣреніе, что имъ соблюдены всѣ условія, для пользованія симъ правомъ необходимыя.

Въ указанномъ выше случаѣ отсрочки рѣшенія на просьбу, начальство, на которое возложено завѣдываніе котлами, можетъ сообщить просителю о тѣхъ нарушеніяхъ правилъ, кои, при первомъ обозрѣніи его просьбы, могли открыться, съ предоставленіемъ ему означенныя нарушенія исправить, причемъ, однако, срокъ рѣшенія по такой исправленной просьбѣ считается лишь со дня подачи послѣдняго къ ней дополненія.

§ 23. **Разрѣшенный къ установкѣ котелъ** (за исключеніемъ случая, указаннаго въ примѣчаніи 2 къ § 10) не можетъ быть пущенъ въ дѣйствіе безъ предварительнаго **освидѣтельствованія правительственнымъ техникомъ,** къ тому назначеннымъ. Для сей цѣли владѣлецъ котла заявляетъ о готовности онаго къ освидѣтельствованію начальству, на которое возложено завѣдываніе котлами, и оно командируетъ для освидѣтельствованія правительственнаго техника. Техникъ, сверхъ надлежащаго испытанія котла, обязанъ удостовѣриться въ соотвѣтствіи всего устройства и помѣщенія котла установленнымъ правиламъ и данному разрѣшенію: такое **освидѣтельствованіе должно быть произведено** въ возможно кратчайшій срокъ, во всякомъ случаѣ, не позже истеченія **двойного срока,** необходимаго для проѣзда на мѣсто, съ присоединеніемъ **двухъ недѣль.** Въ случаѣ неприбытія въ теченіе указаннаго срока правительственнаго техника для освидѣтельствованія котла, владѣльцу или уполномоченному отъ него лицу предоставляется пустить котелъ въ дѣйствіе подъ **своею отвѣтственностью.**

VII. О взрывахъ паровыхъ котловъ.

§ 24. Въ случаѣ **взрыва парового котла,** владѣлецъ или уполномоченное имъ лицо обязаны увѣдомить о томъ немедленно **мѣстную полицію;** до составленія установленнымъ порядкомъ акта о происшедшемъ, поврежденныя взрывомъ постройки не могутъ быть исправляемы, а части котла должны оставаться безъ измѣненія своего вида и положенія, за исключеніемъ случаевъ, когда это препятствуетъ сохраненію жизни или здоровья людей, предупрежденію дальнѣйшихъ несчастій или возобновленію сообщенія по находящейся въ общемъ пользованіи дорогѣ.

VIII. О лицахъ, приставленныхъ къ уходу за паровыми котлами.

§ 25. Владѣльцы и арендаторы заводовъ съ паровыми котлами, а также лица, управляющія фабриками, заводами, пароходами и другими предпріятіями, въ коихъ употребляются паровые котлы, обязаны внушать находящимся при паровыхъ котлахъ машинистамъ, кочегарамъ и рабочимъ о необходимости **точнаго соблюденія** предписанныхъ при употребленіи котловъ **правилъ** и приставлять къ котламъ рабочихъ трезваго и надежнаго поведенія; лицъ же, приставленныхъ къ уходу за котлами, опредѣлять испытанныхъ познаній.

IX. О локомобиляхъ.

§ 26. При употребленіи подвижныхъ паровыхъ котловъ (локомобилей) подлежатъ соблюденію изложенныя выше правила, за исключеніемъ содержащихся въ ст. 9 и 19—23.

X. О паровыхъ котлахъ, дѣйствующихъ до изданія настоящихъ правилъ.

§ 27. Паровые котлы, поставленные до изданія настоящихъ правилъ, могутъ дѣйствовать, хотя бы и не удовлетворяли требованіямъ, изложеннымъ въ §§ 2, 9, 19, 20, 21, 22 и 23; правила же, изложенныя въ остальныхъ параграфахъ, примѣ-

НТБ ДНУЗТ

няются къ симъ котламъ наравнѣ съ котлами, кои будутъ поставлены послѣ изданія настоящихъ правилъ.

Техническія правила о паровозныхъ и вагонныхъ паровыхъ котлахъ желѣзныхъ дорогъ, подвѣдомственныхъ Министерству Путей Сообщенія *).

Глава I. Условія примѣненія настоящихъ правилъ, порядокъ утвержденія проектовъ котловъ и выборъ матеріала для постройки котловъ.

§ 1. Всѣ паровые котлы паровозовъ и паровозо-вагоновъ, а также тѣ изъ котловъ съ внутреннимъ давленіемъ свыше половины атмосферы сверхъ наружней, которые устанавливаются въ вагонахъ и назначаются для обслуживанія поѣздовъ на желѣзныхъ дорогахъ, подвѣдомственныхъ Министру Путей Сообщенія, подчиняются настоящимъ правиламъ.

Необходимыя отъ сихъ правилъ отступленія на желѣзныхъ дорогахъ могутъ быть допускаемы не иначе, какъ съ разрѣшенія Министра Путей Сообщенія.

§ 2. Общій надзоръ за исполненіемъ настоящихъ правилъ возлагается на Начальника дороги, а ближайшее наблюденіе за безопаснымъ и исправнымъ состояніемъ паровыхъ котловъ и правильнымъ уходомъ за ними, а равно и удостовѣреніе въ знаніи своихъ обязанностей лицами, приставленными къ паровымъ котламъ, лежитъ на Начальникѣ службы подвижного состава и тяги, а также, въ предѣлахъ установленныхъ для сего правилъ и инструкціи, и на подвѣдомственныхъ ему лицахъ, причастныхъ къ содержанію, ремонту и работѣ паровыхъ котловъ.

Разрѣшеніе на допущеніе паровыхъ котловъ на службу дается Начальникомъ дороги или уполномоченнымъ имъ на сіе лицомъ.

§ 3. Проекты паровозныхъ и вагонныхъ паровыхъ котловъ, вновь изготовляемыхъ по типамъ, для которыхъ не имѣется утвержденныхъ Министерствомъ Путей Сообщенія чертежей, представляются на утвержденіе Министерства Путей Сообщенія, причемъ должны быть указаны слѣдующія свѣдѣнія:

1) рабочее давленіе пара **);
2) родъ матеріаловъ, назначенныхъ на постройку котла;
3) главные размѣры котла и его частей въ миллиметрахъ;
4) поверхность нагрѣва огневой коробки и трубокъ въ квадратныхъ метрахъ, разсчитанная по поверхностямъ, омываемымъ водою;
5) площадь колосниковой рѣшетки въ квадратныхъ метрахъ;
6) низшій допускаемый уровень воды;
7) разсчетъ прочности частей котла;
8) вѣсъ котла въ нерабочемъ и рабочемъ его состояніяхъ.

§ 4. Паровозные и вагонные паровые котлы и ихъ части должны изготовляться изъ соотвѣтственныхъ матеріаловъ.

Означенные матеріалы должны удовлетворять техническимъ условіямъ, устанавливаемымъ для нихъ Министерствомъ Путей Сообщенія.

Глава II. Арматура котловъ.

§ Изъ числа предметовъ арматуры паровозные и вагонные паровые котлы должны быть обязательно снабжены:

1) знаками низшаго уровня воды (§ 6); 2) водоуказательнымъ стекломъ (§ 7); 3) пробными кранами (§ 8); 4) питательными приборами (§ 9); 5) предохранительными клапанами (§ 10); 6) манометрами (§ 11); 7) промывательными люками (§ 13).

Сверхъ сего, паровозные котлы и вагонные котлы паровознаго типа должны быть обязательно снабжены еще и предохранительными легкоплавкими пробками (§ 12) и знакомъ, указывающимъ верхнюю грань неба топки (§ 6), а паровозные котлы также и спускными кранами (§ 13).

---

*) Постановленіе М. П. С. $^{18}/_{24}$ апрѣля 1901 года № 17337.—Правила эти обязательны для котловъ, выходящихъ изъ наружняго осмотра послѣ 1-го января 1902 года.

**) Подъ рабочимъ давленіемъ пара разумѣется давленіе пара въ котлѣ за вычетомъ одной атмосферы.

НТБ ДНУЗТ

§ 6. Для яснаго обозначенія низшаго уровня воды, допускаемаго при нахожденіи паровоза или вагона въ покоѣ на прямомъ горизонтальномъ пути, каждый паровой котелъ снабжается указателемъ этого уровня. Указатель состоитъ изъ привинченной къ котлу, вблизи водомѣрнаго стекла, жесткой металлической полосы, охватывающей футляръ стекла съ лѣвой стороны и установленной такимъ образомъ, что верхняя грань полосы лежитъ въ плоскости низшаго уровня.

Въ паровыхъ котлахъ и въ вагонныхъ котлахъ паровознаго типа, для дорогъ и вѣтвей съ уклонами не болѣе 0,012, а равно въ вертикальныхъ трубчатыхъ котлахъ, за низшій уровень воды принимается уровень слоя воды, покрывающаго при нахожденіи паровоза или вагона въ покоѣ на прямомъ горизонтальномъ пути не менѣе чѣмъ на 100 мм. наиболѣе возвышенную часть верхней грани неба топки.

На дорогахъ же и вѣтвяхъ съ уклонами, превышающими 0,012, низшій уровень воды въ паровозныхъ котлахъ и вагонныхъ котлахъ паровознаго типа долженъ быть повышенъ соотвѣтственно наибольшему предѣльному уклону дороги или вѣтви, полагая 5 мм. превышенія на каждую 0,001 уклона, сверхъ 0,012.

Въ вагонныхъ паровыхъ котлахъ, за исключеніемъ вышеупомянутыхъ вертикальныхъ трубчатыхъ котловъ и котловъ паровознаго типа, низшій уровень воды устанавливается Министерствомъ Путей Сообщенія, при утвержденіи типоваго проэкта котла (§ 3).

Для возможности вывѣрки указателя уровня въ паровозныхъ котлахъ и вагонныхъ паровыхъ котлахъ паровознаго типа, въ стѣнку котла, на которой укрѣпленъ указатель ввинчивается шурупъ съ головкою, разсверленною на конусъ, ось котораго, при нахожденіи паровоза или вагона на прямомъ горизонтальномъ пути, лежитъ въ одной горизонтальной плоскости съ наиболѣе возвышенною частью верхней грани неба топки.

При этомъ дѣлаются надписи: у указателя уровня,—„низшій уровень", а у вышеупомянутаго шурупа съ головкою—„небо топки".

Примѣчаніе. Указатели низшаго уровня воды конструкцій иныхъ противъ указанной въ семъ параграфѣ могутъ быть примѣняемы для обозначенія низшаго уровня воды въ паровыхъ котлахъ, но не иначе, какъ съ особаго въ каждомъ частномъ случаѣ разрѣшенія Министерства Путей Сообщенія.

§ 7. Водоуказательное стекло должно имѣть отдѣльныя соединенія съ котломъ, какъ и въ верхней, такъ и въ нижней его частяхъ.

Верхняя грань нижней гайки водомѣрнаго (водоуказательнаго) стекла должна превышать наиболѣе возвышенную часть верхней грани неба топки не болѣе какъ, на 50 мм.

На случай лопанія трубки водомѣрнаго стекла послѣднее должно быть снабжено предохранительною сѣткою или футляромъ и имѣть приспособленіе для одновременнаго закрытія выхода пара и воды черезъ оба канала, соединяющіе водомѣрное стекло съ котломъ.

Соединительные каналы водомѣрнаго стекла должны быть такъ устроены, чтобы для ихъ прочистки можно было проходить ихъ иглой насквозь по прямому направленію.

§ 8. При каждомъ паровомъ котлѣ должно быть не менѣе двухъ пробныхъ кранов, при чемъ каждый кранъ долженъ имѣть отдѣльное соединеніе съ котломъ.

Пробные краны должны быть расположены одинъ ниже другого, при чемъ ось канала нижняго крана должна находиться на одной высотѣ съ указателемъ низшаго уровня воды *).

Пробные краны должны быть такъ устроены, чтобы для прочистки ихъ каналовъ можно было проходить ихъ иглой насквозь по прямому направленію.

§ 9. Каждый паровозный котелъ и тѣ изъ вагонныхъ котловъ, поверхность нагрѣва которыхъ превышаетъ 15 квадратныхъ метровъ, должны быть снабжены двумя питательными приборами, дѣйствующими вполнѣ независимо одинъ отъ другого, причемъ порча какой либо части одного изъ приборовъ не должна препятствовать питанію котла другимъ приборомъ.

По крайней мѣрѣ, одинъ изъ питательныхъ приборовъ долженъ быть устроенъ такъ, чтобы имъ можно было снабжать котелъ водою во время стоянки.

На паровозныхъ котлахъ, по меньшей мѣрѣ, одинъ питательный приборъ долженъ быть приспособленъ для тушенія пожаровъ.

---

*) Соблюденіе этого требованія обязательно для паровозныхъ котловъ и котловъ, выходящихъ изъ большого ремонта послѣ 1 января 1902 года.

НТБ ДНУЗТ

При каждомъ котлѣ должно находиться приспособленіе для разобщенія питательныхъ приборовъ отъ котла.

Въ вагонныхъ котлахъ, имѣющихъ поверхность нагрѣва въ 15 кв. метровъ или менѣе, допускается одинъ питательный приборъ.

§ 10. При каждомъ паровомъ котлѣ должно быть не менѣе двухъ независимыхъ одинъ отъ другого предохранительныхъ клапановъ.

Изъ клапановъ этихъ, по крайней мѣрѣ, одинъ не долженъ допускать измѣненія нагрузки по произволу лицъ, обслуживающихъ котелъ.

Нагрузка клапановъ должна соотвѣтствовать наибольшему допускаемому рабочему давленію пара въ котлѣ, увеличенному не болѣе какъ на $^1/_3$ атмосферы.

Конструкція предохранительныхъ клапановъ должна допускать повѣрку ихъ неправнаго состоянія во всякое время.

Примѣчаніе. Предохранительные клапаны допускаются исключительно съ пружинною нагрузкою.

§ 11. Манометръ долженъ помѣщаться на мѣстѣ, видномъ для всѣхъ лицъ, обслуживающихъ котелъ.

Если это условіе не можетъ быть выполнено однимъ манометромъ, то ставится два или болѣе манометровъ.

Манометръ долженъ соединяться съ котломъ сифонною трубкой со спускнымъ краникомъ.

На манометрѣ должно быть отмѣчено красною чертою предѣльное наибольшее рабочее давленіе пара въ котлѣ.

При каждомъ паровомъ котлѣ должно быть приспособленіе для укрѣпленія контрольнаго манометра, устроеннаго по типу и размѣрамъ такового приспособленія, указаннаго въ нормальныхъ чертежахъ товарнаго паровоза.

Примѣчаніе. Манометры паровозныхъ котловъ провѣряются: въ главныхъ мастерскихъ по нормальному открытому ртутному манометру, а въ основныхъ депо—по контрольному манометру, провѣряемому по упомянутому ртутному манометру.

§ 12. Предохранительныя легкоплавкія пробки ставятся въ огневыхъ коробкахъ паровозныхъ котловъ и вагонныхъ котловъ паровознаго типа, въ частяхъ потолка, обнажающихся отъ воды ранѣе другихъ частей.

Предохранительныхъ пробокъ при паровозныхъ котлахъ должно быть въ каждомъ котлѣ не менѣе двухъ, а въ вагонныхъ котлахъ паровознаго типа, при недостаткѣ мѣста, можетъ быть устанавливаемо по одной пробкѣ.

Для заливки предохранительныхъ пробокъ долженъ употребляться другой, болѣе легкоплавкій, чѣмъ свинецъ, матеріалъ.

§ 13. Каждый паровой котелъ долженъ быть снабженъ въ надлежащемъ количествѣ промывательными люками, имѣющими такое расположеніе и такіе размѣры, чтобы черезъ эти люки могло производиться возможно полное удаленіе изъ котла накипи и грязи. Каждый паровозный котелъ, сверхъ того, долженъ имѣть не менѣе двухъ спускныхъ кранова для выпуска воды изъ котла и продувки его, помѣщаемыхъ по одному въ нижней части поперечныхъ стѣнокъ кожуха топки.

Глава III. Промывка, осмотръ, освидѣтельствованіе и гидравлическое испытаніе котловъ.

§ 14. Паровозные и вагонные паровые котлы должны содержаться въ исправности и въ случаѣ надобности подвергаться починкѣ (ремонту). Сверхъ сего, означенные котлы обязательно подвергаются:

1) промывкѣ (§§ 15 и 16);
2) наружному осмотру (§§ 17 и 18);
3) полному освидѣтельствованію (внутреннему и наружному) (§§ 19 и 20);
4) гидравлическому испытанію (§§ 21 и 22).

§ 15. Паровозные и вагонные паровые котлы подвергаются промывкѣ въ слѣдующіе сроки:

1) котлы паровозные и вагонные, находящіеся въ работѣ, промываются въ сроки, устанавливаемые, съ одобренія Начальника дороги, Начальникомъ службы подвижного состава и тяги, въ зависимости отъ напряженности работы котловъ и отъ качества воды;

2) котлы, состоящіе внѣ службы полгода или болѣе, подвергаются промывкѣ передъ назначеніемъ ихъ въ службу;

НТБ ДНУЗТ

3) котлы, подвергавшіеся наружнему осмотру или полному освидѣтельствованію, промываются передъ назначеніемъ ихъ въ службу:

4) котлы, поступившіе въ инвентарь дороги съ заводовъ или съ другихъ дорогъ безъ свидѣтельства о времени ихъ промывки, подвергаются таковой передъ назначеніемъ ихъ въ службу.

§ 16. При каждой промывкѣ котла надлежитъ:

а) удалить изъ котла грязь и накипь, насколько возможно;

б) осмотрѣть всѣ видимыя части котла, и

в) осмотрѣть арматуру котла.

Независимо отъ сего, не рѣже одного раза въ три мѣсяца надлежитъ при промывкѣ котла:

г) повѣрить манометры контрольнымъ манометромъ;

д) повѣрить пружины предохранительныхъ клапановъ;

е) смѣнить заливку легкоплавкихъ пробокъ съ постановкою новаго клейма.

Когда въ котлѣ послѣ промывки разводится паръ установленнаго рабочаго давленія, то повѣряется подъ парами исправное состояніе котла и его принадлежностей.

О произведенной промывкѣ котла дѣлается запись въ находящейся при депо, или мастерскихъ, книгѣ промывокъ; запись эта удостовѣряется подписью Начальника участка или депо или мастерскихъ, или ихъ помощниками.

§ 17. Котлы паровозные и вагонные подвергаются наружнему осмотру въ слѣдующіе сроки:

1. Котлы, находящіеся въ работѣ:

а) паровозные котлы—не позже, какъ въ первое полугодіе по прошествіи двухъ лѣтъ со дня послѣдняго предшествовавшаго наружняго осмотра или полнаго освидѣтельствованія котла;

б) вагонные котлы—ежегодно до наступленія зимняго періода.

2. Котлы, стоявшіе безъ работы два года и болѣе—передъ назначеніемъ ихъ въ службу.

3. Котлы, переведенные въ инвентарь дороги съ другого мѣста ихъ службы—не позже, какъ по окончаніи двухлѣтняго періода со дня послѣдняго наружняго осмотра или полнаго освидѣтельствованія на прежнемъ мѣстѣ ихъ службы.

Если котелъ, переведенный въ инвентарь дороги, не снабженъ документомъ, удостовѣряющимъ время послѣдняго наружняго осмотра его (§ 18), то таковой осмотръ дѣлается передъ назначеніемъ котла въ службу.

§ 18. При наружнемъ осмотрѣ котла надлежитъ:

1) осмотрѣть не только всѣ видимыя части котла, но и тѣ его части, кои прикрыты общивкой, если имѣются признаки ихъ разстройства:

2) очистить, подчеканить и закрасить тѣ мѣста котла, вдоль наружнихъ его швовъ, гдѣ, вслѣдствіе пропариванія, образовались накипь, ржавчина или выѣдины;

3) исправить мѣста, дающія течь въ огневой и дымовой коробкахъ;

4) замѣнить новыми лопнувшія или разстроенныя связи и распорные болты;

5) провѣрить, не имѣется ли въ топкѣ выпучинъ и трещинъ, а равно перегорѣвшихъ головокъ на распорныхъ болтахъ и связяхъ;

6) осмотрѣть и привести въ порядокъ всю арматуру котла, регуляторный золотникъ и люки.

Послѣ наружняго осмотра котелъ подвергается промывкѣ (§ 15) съ повѣркою манометра и пружинъ предохранительныхъ клапановъ, а также со смѣною заливки легкоплавкихъ пробокъ; за симъ исправность его состоянія провѣряется подъ парами установленнаго рабочаго давленія.

О произведенномъ наружнемъ осмотрѣ котла составляется актъ по установленной Начальникомъ дороги формѣ. Актъ этотъ удостовѣряется подписью Начальника участка, депо или мастерскихъ и поступаетъ въ Управленіе службы подвижнаго состава и тяги, гдѣ и сохраняется въ качествѣ контрольнаго документа до того времени, когда будетъ произведено полное освидѣтельствованіе котла.

§ 19*). Котлы паровозные и вагонные подвергаются полному освидѣтельствованію наружнему и внутреннему въ слѣдующіе сроки:

1. Котлы, находящіеся въ работѣ,—въ сроки, устанавливаемые для каждой дороги Начальникомъ оной, съ соблюденіемъ слѣдующихъ условій:

а) паровозные котлы, находящіеся въ службѣ,—не рѣже одного раза въ шесть

---

*) Указанія этого § должны быть приводимы въ исполненіе съ 1 іюня 1901 г.

НТБ ДНУЗТ

лѣтъ и, во всякомъ случаѣ, не позже, какъ по совершеніи пробѣга котломъ пассажирскихъ паровозовъ 300 тыс. верстъ и товарныхъ 200 тыс. верстъ;

б) вагонные котлы—при каждомъ большомъ ремонтѣ вагоновъ и не рѣже, какъ въ 6 лѣтъ разъ.

2. Котлы, стоявшіе безъ работы въ теченіе шести лѣтъ и болѣе,—передъ назначеніемъ ихъ въ службу.

3. Котлы, получившіе такія поврежденія, которыя вызвали необходимость произвести смѣну въ котлѣ одного изъ нѣсколькихъ листовъ,—передъ назначеніемъ таковыхъ котловъ въ службу.

4. Котлы, переведенные въ инвентарь дороги съ другого мѣста ихъ службы—не позже, какъ по истеченіи сроковъ указанныхъ въ пп. *а* и *б* сего параграфа, считая таковые отъ послѣдняго полнаго освидѣтельствованія на прежнемъ мѣстѣ ихъ службы. Если бы не оказалось документовъ, удостовѣряющихъ время послѣдняго полнаго освидѣтельствованія (§ 20) сихъ котловъ, то таковое освидѣтельствованіе дѣлается передъ назначеніемъ котла въ службу.

При полномъ освидѣтельствованіи котла надлежитъ:

а) снять съ котла обшивку, снять всю его арматуру, вынуть всѣ дымогарныя трубки и открыть всѣ люки;

б) очистить весь котелъ отъ грязи и накипи, какъ снаружи, такъ и внутри;

в) привести въ исправленіе всѣ замѣченныя неисправности, руководствуясь изданными распоряженіями;

г) осмотрѣть и привести въ полную исправность всю арматуру котла;

д) повѣрить манометры котла нормальнымъ манометромъ;

е) повѣрить пружины предохранительныхъ клапановъ;

ж) поставить новыя легкоплавкія пробки со свѣжею ихъ заливкою и съ постановкою новаго клейма.

О произведенномъ полномъ освидѣтельствованіи котла составляется актъ по установленной Начальникомъ дороги формѣ.

Въ актѣ этомъ долженъ быть помѣщенъ эскизъ котла, съ указаніемъ поставленныхъ заплатъ и замѣненныхъ листовъ. Если были сдѣланы какія либо конструктивныя измѣненія, то они должны быть нанесены на эскизѣ, т. е. эскизъ долженъ изображать котелъ въ томъ устройствѣ и въ томъ положеніи, въ коихъ онъ выпущенъ былъ изъ мастерской послѣ осмотра и починки.

При эскизѣ помѣщается краткое поясненіе тѣхъ починокъ, кои не могли быть показаны на эскизѣ.

Актъ о полномъ освидѣтельствованіи удостовѣряется подписью Начальника участка тяги, или мастерскихъ, гдѣ такое освидѣтельствованіе производилось, а также лица, уполномоченнаго Начальникомъ дороги на освидѣтельствованіе котла, и поступаетъ въ Управленіе службы подвижного состава и тяги, гдѣ сохраняется во все время службы котла, до изъятія его изъ употребленія.

По окончаніи полнаго освидѣтельствованія котла, на немъ укрѣпляется близъ топочной дверцы металлическая пластинка съ клеймомъ, указывающимъ время полнаго освидѣтельствованія, допущенное рабочее давленіе пара, а на паровозныхъ котлахъ, сверхъ сего, № и серію паровоза.

Освидѣтельствованный котелъ, передъ назначеніемъ въ службу, подвергается гидравлическому испытанію (§ 21).

§ 21. Котлы паровозные и вагонные подвергаются гидравлическому испытанію въ слѣдующіе сроки:

1. Котлы, приведенные въ исправность при полномъ ихъ освидѣтельствованіи (§ 20), по окончаніи такового.

2) Котлы, ремонтированные наложеніемъ одной или нѣсколькихъ заплатъ площадью въ 1 кв. футъ и болѣе, передъ назначеніемъ ихъ въ службу.

Примѣчаніе къ пп. 1 и 2. Котлы съ вновь поставленными распорными болтами испытываются до расклепки концовъ сихъ болтовъ,

3. Вновь изготовленные котлы—при поступленіи ихъ съ завода на желѣзную дорогу.

Примѣчаніе. Паровые котлы, снабженные съ мѣста поступленія надлежащими удостовѣреніями объ ихъ испытаніи согласно § 22 сихъ правилъ, могутъ быть не подвергаемы требуемому симъ параграфомъ испытанію. Упомянутыя удостовѣренія сохраняютъ свою силу до слѣдующаго очереднаго испытанія котла, если при наружнемъ осмотрѣ котла не были обнаружены какія либо поврежденія, вліяющія на безопасность работы котла.

НТБ ДНУЗТ

Удостовѣренія объ испытаніи вновь изготовленныхъ паровыхъ котловъ должны быть подписаны:

а) на русскихъ заводахъ—подлежащими правительственными лицами;

б) на иностранныхъ заводахъ—русскими правительственными лицами, уполномоченными на то Министромъ Путей Сообщенія, или мѣстными (иностранными) подлежащими правительственными лицами, съ удостовѣреніемъ ихъ подписи русскимъ консуломъ.

§ 22. Гидравлическое испытаніе паровыхъ котловъ производится въ присутствіи Начальника участка тяги или мастерскихъ и лица, на то уполномоченнаго Начальникомъ дороги, причемъ пробное дѣйствительное давленіе воды (сверхъ одной атмосферы) назначается согласно нижеизложеннымъ указаніямъ:

а) при рабочемъ давленіи въ пять и менѣе атмосферъ пробное дѣйствительное давленіе воды должно быть вдвое болѣе рабочаго и, во всякомъ случаѣ, не менѣе трехъ атмосферъ;

б) при рабочемъ давленіи болѣе пяти атмосферъ пробное дѣйствительное даавленіе воды должно быть на пять атмосферъ болѣе рабочаго.

Указанное пробное гидравлическое давленіе воды должно быть поддерживаемо отъ 5 до 10 минутъ, въ теченіе какового времени котелъ долженъ подвергаться осмотру, съ цѣлью удостовѣренія въ его исправности. Появленіе мелкой пыли и слезинокъ у швовъ и заклепокъ, а также выпотинъ не считается неисправностью.

По окончаніи гидравлическаго испытанія, передъ назначеніемъ въ службу, котелъ промывается (§ 15), и исправность его состоянія провѣряется подъ парами установленнаго для службы рабочаго давленія.

О произведенномъ гидравлическомъ испытаніи составляется особый актъ установленной Начальникомъ дороги формѣ.

Глава IV. Помѣщеніе для котловъ.

§ 23. Помѣщенія для паровозовъ должны быть устроены по проектамъ, утвержденнымъ въ порядкѣ, установленномъ Министерствомъ Путей Сообщенія.

Помѣщенія для паровыхъ котловъ въ желѣзнодорожныхъ вагонахъ должны удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

а) всѣ части котла, требующія постояннаго надзора и ухода во время работы котла, должны быть доступны для осмотра;

б) помѣщенія должны быть устроены соотвѣтственно противопожарнымъ мѣрамъ, установленнымъ Министерствомъ Путей Сообщенія для вагоновъ ходящихъ въ поѣздахъ;

в) двери помѣщенія котловъ въ пассажирскихъ вагонахъ должны отворяться наружу относительно этихъ помѣщеній или быть задвижными.

Е. Данныя для изслѣдованія паровыхъ котловъ и машинъ съ цѣлью опредѣленія ихъ производительности.

(Составлены союзомъ Германскихъ инженеровъ и международнымъ для охраны паровыхъ котловъ, въ 1899 г.).

a. Общія опредѣленія.

1. Родъ изслѣдованій.

1. Производительность **паровыхъ котловъ** опредѣляется:

a) по количеству пара, получаемому въ часъ съ 1 qm поверхности нагрѣва;

b) по испарительной способности котла, т. е. по числу kg воды опредѣленной температуры, обращаемой въ паръ данной упругости однимъ kg топлива опредѣленнаго химическаго состава.

c) по коэффиценту полезнаго дѣйствія котла, т. е. по отношенію количества теплоты, переданной содержимому котла, къ количеству теплоты, заключенной въ горючемъ матеріалѣ,

d) изъ опредѣленія всѣхъ возможныхъ потерь теплоты.

Примѣчаніе. Для перегрѣвателей и подогрѣвателей, не представляющихъ составную часть котла, но получающихъ теплоту изъ одного и того же источ-

НТБ ДНУЗТ

ника, что и разсматриваемый котелъ, слѣдуетъ также опредѣлять производительность, однако отдѣльно отъ производительности котла.

2. Изслѣдованіями **паровыхъ машинъ** опредѣляется:

a) работа въ индикаторныхъ или дѣйствительныхъ лошадиныхъ силахъ;

b) механическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, т. е. отношеніе полезной работы, полученной при тормаженіи машины, къ работѣ, опредѣленной индикаторомъ;

c) расхода пара въ часъ на 1 лош. силу;

d) колебанія въ числѣ оборотовъ при перемѣнной нагрузкѣ.

Примѣчаніе. Если котлы или машины должны быть изслѣдованы не только по ихъ производительности, но и въ другихъ отношеніяхъ, то слѣдуетъ произвести особое изслѣдованіе для отдѣльныхъ частей ихъ. Раньше всего слѣдуетъ разсмотрѣть вопросъ о долговѣчности и безопасности въ работѣ. Въ паровыхъ машинахъ, кромѣ того, слѣдуетъ опредѣлять расходъ масла.

2. Общія условія, число и продолжительность изслѣдованій.

3) Для изслѣдованія парового котла или машины, находящихся въ дѣйствіи, для испытанія приборовъ и приспособленій, необходимо сдѣлать предварительное изслѣдованіе.

4) Каждое изслѣдованіе, которое признается точнымъ, должно быть повторено дважды, причемъ результаты наблюденій только тогда достовѣрны, если при изслѣдованіи не было никакихъ случайныхъ препятствій и если отклоненіе результатовъ отдѣльныхъ 2-хъ наблюденій не превышаетъ возможныхъ ошибокъ самаго наблюденія. За окончательный результатъ наблюденій принимается среднее значеніе результатовъ 2-хъ вышеупомянутыхъ близко сходящихся изслѣдованій.

5) Въ началѣ и концѣ каждаго изслѣдованія всѣ условія должны быть совершенно одинаковы; котелъ и машины должны находиться въ состояніи нормальной работы.

6) Всѣ паро- и водопроводныя трубы, не имѣющія ничего общаго съ изслѣдованіями, должны быть уединены отъ изслѣдуемыхъ котла или машины (по возможности ближе къ нимъ) посредствомъ глухихъ фланцевъ.

7) Продолжительность испытанія устанавливается въ зависимости отъ цѣли изслѣдованія, причемъ всѣ возможные дѣйствительные колебанія и перерывы въ ходѣ производства должны безъ измѣненія существовать и въ періодъ изслѣдованія.

При опредѣленіи расхода топлива продолжительность изслѣдованія должна быть, по крайней мѣрѣ, равна 10 часамъ, при опредѣленіи количества испаренной воды и израсходованнаго пара — не менѣе 6 до 8 часовъ.

Если количество полученнаго или израсходованнаго пара опредѣляется помощью поверхностнаго холодильника, то достаточно менѣе продолжительное изслѣдованіе, продолжительность котораго выбирается въ зависимости отъ колебаній въ работѣ.

Въ предыдущихъ данныхъ для продолжительности изслѣдованія принято, что не происходитъ никакого перерыва во время испытанія.

При опредѣленіи отношенія дѣйствительной и индикаторной работы машины, а равно и работы при ходѣ машины порожнемъ, продолжительность изслѣдованія не имѣетъ никакого значенія; также точно при снятіи діаграммы съ парового цилиндра при опредѣленіи работы парораспредѣленія.

8) При весьма важныхъ изслѣдованіяхъ, напр., опредѣленіи гарантированной работы, отъ которой зависятъ неустойка, штрафы или преміи, продолжительность опытовъ должна быть отмѣчаема и предварительно оговариваема.

9) Допускаемая степень отклоненія отъ гарантированной производительности должна быть оговорена до изслѣдованій (или при составленіи условій договора).

Если степень отклоненія заранѣе не оговорена, то гарантія считается выполненной, когда количество, опредѣленное испытаніемъ, менѣе благопріятно, чѣмъ требуемое по условію, не болѣе, чѣмъ на 5%.

Въ этихъ же границахъ долженъ находиться обусловленный расходъ топлива или пара и въ тѣхъ случаяхъ, когда при колебаніяхъ во время опыта нагрузка парового котла или паровой машины отклонялась отъ обусловленной нагрузки въ среднемъ за время всего опыта не болѣе, чѣмъ на $\pm$ 5%, и въ отдѣльные моменты не болѣе, чѣмъ на $\pm$ 10%.

НТБ ДНУЗТ

Примѣчаніе. Часто бываетъ невозможно, во время испытаній при пріемкѣ, заставить работать паровой котелъ или паровую машину съ тою же производительностью, къ которой относится обусловленная въ контрактѣ гарантія. Въ такихъ случаяхъ рекомендуется устанавливать въ контрактѣ количество приблизительнаго расхода (топлива, пара) для бо̀льшей или меньшей производительности.

10) Изслѣдованія, съ цѣлью опредѣленія гарантированной производительности, не должны никогда быть производимы непосредственно послѣ установки; заводу должно быть предоставлено время для предварительныхъ паслѣдованій и возможныхъ исправленій, условія и продолжительность которыхъ должны быть оговорены въ договорѣ.

Примѣчаніе. Всякое испытаніе, которое имѣетъ цѣлью опредѣленіе расхода топлива и средней производительности котла или опредѣленіе расхода пара и средней производительности машины, если оно производится во время работы съ обыкновенными перерывами и колебаніями, должно продолжаться при денной работѣ — день, при денной и ночной работѣ — день и почь; причемъ часъ въ началѣ и часъ въ концѣ испытанія исключаются (см. 10).

3. Единицы мѣръ и вѣса, употребляемыя при вычисленіяхъ.

11) Всѣ измѣренія теплоты (единицы теплоты, градусы температуры) относятся къ 100-градусному термометру Цельсія.

12) Если нѣтъ спеціальныхъ оговорокъ, то подъ давленіемъ пара разумѣютъ всегда избытокъ давленія надъ атмосернымъ.

13) Давленія меньшія атмосерняго измѣряются вакуумомъ; подъ этимъ разумѣютъ разность между опредѣляемымъ давленіемъ и давленіемъ атмосферы.

14) За единицу мѣры избытка давленія принимается давленіе 1 kg на 1 qcm или метрическая атмосфера.

Если важно знать абсолютную упругость пара, то необходимо каждый разъ посредствомъ барометра опредѣлять давленіе атмосферы и прибавлять его (предварительно переведя въ метрическія атмосферы) къ избытку давленія; давленіе вакуума соотвѣтственно должно быть вычтено.

15) Сила тяги дымовой трубы опредѣляется водянымъ столбомъ, раздѣленнымъ на mm; 1 mm = 0,0001 метрической атмосферы.

16) Подъ поверхностью нагрѣва котла разумѣютъ ту часть поверхности стѣнокъ, которая съ одной стороны омывается водой, а съ другой соприкасается съ горячими продуктами горѣнія; вычисляется поверхность, омываемая горячими газами.

17) Теплотворная способность угля должна быть отнесена къ сырому углю.

18) Паропроизводительность 1 kg угля (брутто, безъ вычета золы, влаги) должна быть отнесена къ водѣ температурою 0^0 и сухому насыщенному пару 100^0 (637 един. тепл.).

19) Давленіе и температуру пара, опредѣляемыя для паровой машины, должно измѣрять непосредственно передъ вступленіемъ во впускной вентиль паровой машины и въ выпускомъ каналѣ непосредственно послѣ выхода изъ парового цилиндра.

20) За единицу мѣры работы, доставляемой машиной, принимается лошадиная сила = 75 килограммометровъ въ секунду. Подъ числомъ лошадиныхъ силъ машины разумѣютъ обыкновенно число дѣйствительныхъ (эффективныхъ) силъ машины, т.-е. передаваемыхъ валомъ кривошипа и измѣряемыхъ тормаженіемъ машины. Въ тѣхъ случаяхъ, когда подразумѣвается число индикаторныхъ лошадин. силъ, это должно быть точно оговорено.

Слѣдуетъ избѣгать данныхъ, выраженныхъ въ номинальныхъ лошадиныхъ силахъ.

b. Веденіе изслѣдованій.

1. Испытаніе парового котла.

Испареніе воды.

21) Если производительность парового котла должна быть изслѣдована по его испарительной способности, то изслѣдованія должны быть произведены по указаніямъ 3 до 10.

22) Размѣры, конструкція и условія работы котла должны быть они-

НТБ ДНУЗТ

сапы по возможности подробнѣе и представлены чертежемъ, въ особенности же необходимы слѣд. данныя:

поверхность нагрѣва котла согласно 16;

поверхность нагрѣва подогрѣвателей питающей воды и перегрѣвателей;

объемъ водянаго и парового пространства котла до уровня воды, а также и объемъ подогрѣвателей питающей воды и пароперегрѣвателей;

поверхность испаренія воды, измѣренная на высотѣ горизонта воды;

полная поверхность рѣшетки и площадь ея прозоровъ, величина разныхъ плитъ спереди и сзади должна быть указана отдѣльно;

поперечное сѣченіе дымоходовъ въ наиболѣе важныхъ мѣстахъ;

поперечное сѣченіе послѣдняго канала при различныхъ положеніяхъ заслонки;

высота дымовой трубы (считая ее отъ поверхности рѣшетки), ея сѣченія: въ основаніи (наибольшее) и въ вершинѣ (наименьшее).

23) До изслѣдованія котелъ долженъ быть тщательно вычищенъ внутри, а также и снаружи, чтобы имѣть возможность убѣдиться въ плотности всѣхъ его соединеній; дымоходы должны быть также очищены, а швы кладки тщательно замазаны.

24) Послѣ этого котелъ долженъ работать нормально одинъ или нѣсколько дней (смотря по системѣ котла), чтобы придти въ состояніе нормальной работы.

25) Уровень воды и давленіе пара должны быть точно отмѣчены до начала изслѣдованій и въ продолженіе всего изслѣдованія должны колебаться по возможности меньше; давленіе пара измѣряется манометромъ и отмѣчается черезъ каждыя 15 минутъ.

Примѣчаніе. Въ случаѣ невозможности по какимъ-либо причинамъ достичь такого же давленія пара и такого же уровня воды, какъ въ началѣ опыта, необходимо оказавшуюся разницу принять въ разсчетъ, выразивъ ее въ единицахъ теплоты. Ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ разницу въ объемѣ воды до и послѣ опыта прибавлять или отнимать отъ количества питательной воды, а всегда опредѣлять, въ зависимости отъ давленія пара, общее количество единицъ теплоты до и послѣ опыта. Особеннаго вниманія требуютъ въ этомъ отношеніи водотрубные котлы, у которыхъ уровень воды сильно колеблется.

26) Питательная вода взвѣшивается непосредственно или обмѣряется въ тщательно калиброванныхъ сосудахъ съ поправкой на температуру. При точныхъ опытахъ допускается только первый способъ измѣренія.

Питаніе котла должно производиться правильно и по возможности безпрерывно. Непосредственно передъ началомъ опыта и передъ окончаніемъ его питаніе котла производить не слѣдуетъ.

Температура воды измѣряется въ резервуарѣ, изъ котораго производится питаніе котла, а при точныхъ опытахъ иногда и передъ вступленіемъ воды въ котелъ, и при каждомъ питаніи котла въ теченіе получаса. Питаніе котла инжекторами допускается въ томъ случаѣ, когда послѣдніе питаются паромъ изъ испытываемаго котла.

Если, одновременно съ изслѣдованіемъ работы парового котла, производится опредѣленіе расхода пара паровою машиною (питаемою изъ того же котла), то употребленіе паровыхъ насосовъ для питанія котла (если насосы приводятся въ дѣйствіе паромъ изъ испытываемаго котла или ихъ отработанный паръ соприкасается съ питательной водой) не допускается, потому что въ этому случаѣ является необходимымъ точное опредѣленіе расхода пара на приведеніе въ дѣйствіе питательнаго насоса.

Вся вода, вытекающая въ мѣстахъ неплотно поставленной къ котлу арматуры или при продуваніи, должна быть тщательно собираема.

27) Необходимо слѣдить за тѣмъ, чтобы въ началѣ изслѣдованія огонь въ топкѣ былъ по возможности ровный, а шлаки и зола (изъ зольника) тщательно удалены. Въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ подобное удаленіе шлаковъ и очистка зольника невозможны (топка Тенбринка и др.), оставшіеся въ топкѣ шлаки и зола должны быть до и послѣ опыта приведены къ одной и той же высотѣ. Въ такомъ же состояніи долженъ находиться огонь и въ концѣ опыта. Время, необходимое на растопку, и расходъ горючаго матеріала отмѣчаются особо, но въ разсчетъ не принимаются.

Расходъ топлива во время опыта опредѣляется взвѣшиваніемъ; топливо соотвѣтственно измельчается. Топливо кладется на рѣшетку по возможности равномѣрно.

28) Опыты, при которыхъ значительное количество воды механически увлекается вмѣстѣ съ паромъ изъ котла, неточны. Для опредѣленія количества воды, увлекаемой изъ котла вмѣстѣ съ паромъ, въ настоящее время точныхъ методовъ не имѣется.

НТБ ДНУЗТ

Топливо.

29) Проба топлива. Весьма важно правильно взять среднюю пробу топлива. Изъ каждой тачки, корзины и т. п. берется по 1 лопатѣ, тщательно перемѣшивается въ ящикѣ, и изъ него берется средняя проба. При этомъ поступаютъ слѣдующимъ образомъ: топливо раздробляется, смѣшивается, располагается въ видѣ квадрата и діагоналями его дѣлятъ на четыре части; собравъ двѣ изъ этихъ частей, противолежащія одна другой, смѣшиваютъ двѣ остальныя и дѣлятъ ихъ на 4 части и т. д., пока не останется топлива приблизительно около 5 kg; этотъ остатокъ употребляется для химическаго анализа.

Примѣчаніе. Если можно ожидать потери содержанія воды во время веденія опыта, то, кромѣ того, слѣдуетъ, во время опыта, наполнить пробами изслѣдуемаго топлива нѣсколько сосудовъ, герметически закрываемыхъ

30) Составъ топлива опредѣляется химическимъ анализомъ. Должно быть указано содержаніе углерода (C), водорода (H), кислорода (O), сѣры (S), золы (A) и воды (W) въ процентахъ вѣса топлива. Содержаніемъ азота (N) въ топливѣ можно пренебречь. Опредѣляется, кромѣ того, вліяніе жара на топливо путемъ коксованія:

31) Теплотворная способность топлива опредѣляется калориметрическимъ путемъ и дается въ единицахъ теплоты на 1 kg топлива, въ предположеніи сгоранія водорода (H) въ водяной паръ.

Продукты горѣнія.

32) Измѣреніе температуры. Температура продуктовъ горѣнія до 360° опредѣляется ртутнымъ термометромъ, наполненнымъ азотомъ, расположеннымъ по возможности ближе къ тому мѣсту, гдѣ газы выходятъ изъ котла, но во всякомъ случаѣ передъ заслонкой; термометръ долженъ быть установленъ тщательно въ дымоходѣ такъ, чтобы ртутный шарикъ находился въ срединѣ струи горячихъ газовъ. Показанія термометра отмѣчаются приблизительно черезъ каждыя 15 минутъ, по возможности до взятія нѣкоторой части объема газокъ для пробы (см. ниже). Температуры свыше 360° лучше всего опредѣлять калориметрическимъ путемъ.

Температура воздуха, вступающаго въ топку, опредѣляется вблизи ея, по термометръ, однако, можетъ быть защищенъ отъ дѣйствія лучеиспускательной теплоты колосниковой рѣшетки.

Изъ отдѣльныхъ показаній берется среднее и принимается въ основаніе вычисленія.

33) Изслѣдованіе продуктовъ горѣнія. Вблизи термометра, измѣряющаго температуру газовъ, вставляется въ дымоходъ стеклянная или фарфоровая трубка, нижнее отверстіе которой находится приблизительно въ срединѣ струи горячихъ газовъ; изъ этой трубки черезъ равные промежутки времени извлекаются горячіе газы, въ которыхъ опредѣляется содержаніе углекислоты (*k*). Полное изслѣдованіе горячихъ газовъ по отношенію къ углекислотѣ, кислороду, азоту и окиси углерода производится по мѣрѣ надобности. Для опредѣленія средней пробы, газы могутъ быть также извлекаемы посредствомъ всасывающаго аспиратора.

Если потеря вслѣдствіе неполнаго сгоранія газовъ должна быть выражена численно, то слѣдуетъ опредѣлить составъ газовъ точнымъ изслѣдованіемъ, потому что для этого употребительные пріемы техническаго анализа газовъ недостаточны.

Для опредѣленія, сколько воздуха поступаетъ въ дымовые ходы, можно брать пробы газовъ въ разныхъ мѣстахъ ихъ и изслѣдовать эти пробы по отношенію къ углекислотѣ и кислороду.

Для вычисленія потерь теплоты достаточно опредѣлять содержаніе углекислоты въ продуктахъ горѣнія, взятыхъ около термометра.

Примѣчаніе. Сильную неплотность швовъ кладки можно указать, если посыпать свѣжее сильно дымящее топливо на горящій уголь рѣшетки и закрыть заслонку, или наблюдая, притягивается ли пламя свѣчи, перемѣщаемой вдоль швовъ кладки котла.

2. Изслѣдованіе паровой машины.

34) Изслѣдованіе производительности паровой машины производится по указаніямъ, приведеннымъ въ 3 до 10.

НТБ ДНУЗТ

35) Всѣ данныя и соотношенія, необходимыя для подобныхъ изслѣдованій, должны быть составлены по нижеслѣдующей схемѣ:

Система машины, описаніе ея главныхъ частей и, если возможно, чертежи послѣднихъ.

Размѣры цилиндра и величина вреднаго пространства.

Ходъ поршня и другіе входящіе въ изслѣдованіе размѣры.

Нормальное число оборотовъ и допускаемыя въ немъ отклоненія и степень неравномѣрности.

Давленіе и температура пара, при которыхъ должна работать машина, и наибольшее давленіе, для котораго она построена.

Производительность, къ которой относится гарантированный расходъ пара; наибольшая производительность и соотвѣтствующія степени наполненія.

Гарантированный расходъ пара на индикаторную или дѣйствительную лошадиную силу.

Обусловленныя гарантіей температура и количество охлаждающей воды а равно и соотвѣтствующій вакуумъ.

Кромѣ того, надо опредѣлить длину паропроводныхъ и пароотводныхъ трубъ, приспособленія для выпуска воды, ширину паровыхъ каналовъ, размѣры воздушнаго насоса, равно какъ и условія дѣйствія парового котла.

36) Изслѣдованія паровой машины посредствомъ индикатора и тормаза, предназначенныя для опредѣленія относительнаго расхода пара, должны быть произведены при слѣдующихъ условіяхъ:

Изслѣдованія должны начинаться только при полномъ состояніи равновѣсія какъ машины, такъ и измѣрительныхъ приборовъ, въ отношеніи дѣйствующихъ силъ и температуръ.

Если изслѣдованія продолжаются въ теченіе всего рабочаго дня то первый и послѣдній часы должны быть исключены изъ времени наблюденія.

Давленіе пара, нагрузка машины и температура пароперегрѣвателя должны быть во все время изслѣдованій по возможности неизмѣнны; въ случаѣ необходимости, равномѣрность нагрузки достигается искусственнымъ путемъ (см. 9).

Во все время изслѣдованія машина должна дѣйствовать по возможности безпрерывно въ тѣхъ же условіяхъ (относительно смазки и пр.), въ какихъ она находится обыкновенно.

Число оборотовъ машины опредѣляется счетчиками и отмѣчается каждый часъ.

Черезъ равные промежутки времени (10 до 20 минутъ) должны быть отмѣчаемы уровень воды въ котлѣ, давленіе пара въ котлѣ, давленіе и, въ случаѣ перегрѣтаго пара, температура въ паропроводѣ непосредственно передъ машиной или въ золотниковой коробкѣ, давленіе въ промежуточномъ резервуарѣ (ресиверѣ) и въ конденсаторѣ, кромѣ того, температура впрыскиваемой или охлаждающей воды, а также температура вытекающей конденсаціонной воды.

Нѣсколько разъ слѣдуетъ отмѣчать показаніе барометра и, равнымъ образомъ, въ случаѣ примѣненія градирни, температуру и влажность воздуха.

37) Мѣрою полезной производительности машины является разность между индикаторной производительностью при нѣкоторой нагрузкѣ (N_i) и производительностью при ходѣ порожнемъ (N_l); мѣрой коэффиціента полезнаго дѣйствія является отношеніе этой разности къ индикаторной производительности $\left(\frac{N_i - N_l}{N_i}\right)$.

Примѣчаніе. Точное опредѣленіе дѣйствительной полезной производительности возможно только посредствомъ тормаза; это опредѣленіе для большихъ машинъ затруднительно и не безопасно, поэтому примѣняется только въ исключительныхъ случаяхъ.

Если съ паровой машиной непосредственно соединена динамо-машина, полезная производительность паровой машины можетъ быть опредѣлена по электрической производительности динамо-машины, когда коэффиціентъ полезнаго дѣйствія якоря динамо-машины при имѣющихся температурахъ и нагрузкахъ точно извѣстенъ. Инструменты, которые служатъ для электрическихъ измѣреній, должны быть калиброваны.

38) Если индикаторная производительность машины должна быть опредѣлена въ зависимости отъ расхода пара, то, кромѣ вышеприведенныхъ въ 3 до 10 указаній, должны быть соблюдены еще и слѣдующія условія:

НТБ ДНУЗТ

Индикаторы должны располагаться по возможности непосредственно на цилиндрѣ безъ длинныхъ и крутоизгибающихся соединительныхъ трубокъ, съ каждой стороны цилиндра располагается по одному индикатору. Для этой цѣли на обоихъ концахъ цилиндра должны быть отверстія съ нарѣзкой въ 1″ (25,4 mm) по Витворту.

Индикаторы и ихъ пружины должны быть испытаны до изслѣдованія непосредственной нагрузкой или ртутнымъ манометромъ при температурѣ, соотвѣтствующей средней упругости пара во время изслѣдованій. Эти испытанія должны быть повторяемы, если изслѣдованія производятся въ теченіе болѣе продолжительнаго времени; если при подобныхъ испытаніяхъ получаются несогласія въ показаніяхъ, то слѣдуетъ принимать всегда среднее значеніе; испытаніе (вывѣрку) пружинъ всего лучше производить ежедневно.

Скала давленій опредѣляется по нагрузкѣ, скала вакуума по разрѣженію. Скалы пружинъ для весьма слабыхъ вакуумовъ опредѣляются въ зависимости отъ даннаго стоянія барометра и всегда должны приводиться къ одной и той же горизонтальной прямой.

Во время изслѣдованія слѣдуетъ снимать діаграммы съ обѣихъ сторонъ цилиндра по возможности одновременно, черезъ каждыя 10—20 минутъ, въ зависимости отъ степени равномѣрности движенія. На діаграммахъ должны быть отмѣчены нумеръ по порядку и время снятія діаграммы.

Каждая діаграмма должна быть снята, по крайней мѣрѣ, 2 раза, и линіи обѣихъ діаграммъ должны сходиться по возможности ближе. На діаграммахъ не должно быть замѣтно вліяніе несовершенства индикатора; легкая волнистая кривая, происходящая отъ несовершенства инструмента, не должна измѣнять характера діаграммы.

Опредѣленіе площади діаграммы производится съ помощью полярнаго планиметра или другимъ путемъ; для провѣрки площадь опредѣляется 2 или нѣсколько разъ.

Діаметръ парового цилиндра (въ возможно горячемъ состояніи) и ходъ поршня должны быть измѣрены непосредственно, діаметръ поршневого стержня долженъ приниматься въ разсчетъ.

39) Расходъ пара опредѣляется посредствомъ обмѣра или взвѣшиванія воды, питающей котелъ; см. № 26. При поверхностныхъ холодильникахъ расходъ пара паровой машиной можетъ быть опредѣленъ по количеству и температурѣ конденсированнаго пара.

Опредѣленіе расхода пара по діаграммамъ даетъ неточные результаты.

Вода, конденсирующаяся въ паропроводѣ, должна быть собрана до вступленія въ машину или перегрѣватель; количество этой воды должно быть вычтено изъ количества воды, питающей котелъ.

Вода, конденсирующаяся въ самой машинѣ (въ ресиверѣ, на поверхности и т. д.), относится къ расходу пара машиной, и безъ тщательнаго взвѣшиванія и записыванія не можетъ быть употребляема для питанія котла во время испытанія.

Примѣчаніе. Приспособленія, посредствомъ которыхъ собирается конденсаціонная вода (змѣевики и т. п.), должны быть такъ устроены, чтобы потеря этой воды вслѣдствіе парообразованія была невозможна; конденсаціонная вода должна быть охлаждена, по крайней мѣрѣ, до 40^0.

40) Плотность поршней, паровыхъ рубашекъ, цилиндровъ, клапановъ и т. д. провѣряется не посредствомъ индикатора, а особыми изслѣдованіями, слѣд. образомъ: въ нагрѣтой машинѣ заставляютъ дѣйствовать паръ на одну сторону поршня, клапана и т. д. и въ то же время наблюдаютъ за другой (открытой) стороной этихъ частей; маховикъ при этомъ долженъ быть укрѣпленъ. Давленіе пара при этихъ изслѣдованіяхъ должно быть нормальное, и соединеніе считается плотнымъ, если паръ, проходя черезъ поршень, клапанъ и т. д., является въ видѣ легкаго тумана или капель; въ противномъ случаѣ, соединеніе неплотно и должно быть замѣнено другимъ.

c. Прибавленіе.

При примѣненіи полученныхъ результатовъ изслѣдованія для опредѣленія потерь теплоты и работы надо пользоваться слѣдующими замѣчаніями.

1. Опредѣленіе потерь теплоты въ паровомъ котлѣ.

a) Потеря теплоты, происходящая вслѣдствіе того, что продукты горѣнія оставляютъ котелъ съ температурой T, бо́льшей, чѣмъ температура наружняго воз-

НТБ ДНУЗТ

духа t, вычисляется по количеству ихъ составныхъ частей, по ихъ удѣльной теплотѣ и разности $T - t$.

Количество продуктовъ горѣнія на 1 kg сгорѣвшаго топлива опредѣляется по составу топлива и по содержанію углекислоты въ продуктахъ горѣнія слѣдующимъ образомъ:

Если C содержаніе углерода въ топливѣ и k содержаніе углекислоты въ продуктахъ горѣнія, то 1 kg топлива даетъ $\frac{C}{0{,}536\,k}$ cbm продуктовъ горѣнія безъ водяныхъ паровъ при 0^0 и давленіи 760 mm. [Большія буквы обозначаютъ проценты по вѣсу для топлива, малыя буквы — проценты по объему для продуктовъ горѣнія].

Вѣсъ образовавшагося при горѣніи водяного пара $= \frac{9\,H + W}{100}$, гдѣ H обозначаетъ процентное содержаніе водорода и W — процентное содержаніе воды въ топливѣ.

Примѣчаніе. Объемъ водяного пара при 0^0 и давленіи 760 mm составляетъ:

$$\frac{9\,H + W}{0{,}804\,.\,100}.$$

Общій объемъ продуктовъ горѣнія, полученныхъ изъ 1 kg топлива:

$$\frac{C}{0{,}536\,k} + \frac{9\,H + W}{0{,}804\,.\,100} = R \text{ cbm}$$

при 0^0 и давленіи 760 mm.

Если принять среднюю удѣльную теплоту для 1 cbm продуктовъ горѣнія $= 0{,}32$ и удѣльную теплоту для 1 kg водяного пара $= 0{,}48$, то потеря теплоты продуктами горѣнія на 1 kg топлива:

$$V = \left(0{,}32\,\frac{C}{0{,}536\,k} + 0{,}48\,\frac{9\,H + W}{100}\right)(T - t).$$

Примѣчаніе. Количество воздуха, необходимое для сгоранія 1 kg топлива, опредѣляется слѣд. образомъ:

1 kg топлива съ содержаніемъ C углерода, H водорода, S сѣры и O кислорода требуетъ:

$$\left(\frac{8}{3}C + 8\,H + S - O\right)\frac{1}{23} = L \text{ kg воздуха или } \frac{L}{1{,}29} = L_1 \text{ cbm воздуха.}$$

Если по анализу продукты горѣнія содержатъ k процентовъ (по объему) углекислоты, o процентовъ кислорода и n процентовъ азота, то отношеніе употребленнаго количества воздуха къ теоретически необходимому ($v : 1$), такъ наз. коэффиціентъ избытка воздуха:

$$\frac{21}{21 - 79\,\frac{o}{n}}.$$

b) Потеря теплоты вслѣдствіе несгорѣвшихъ остатковъ въ топкѣ (шлакъ и зола) опредѣляется слѣд. образомъ. Послѣ изслѣдованія опредѣляется вѣсъ сухихъ остатковъ въ топкѣ и составъ несгорѣвшихъ частицъ. „Горючій“ остатокъ вводится въ вычисленіе какъ углеродъ съ 8100 сд. теплоты на 1 kg.

Потерей теплоты, происходящей отъ того, что зола и шлаки удаляются изъ топки въ горячемъ состояніи, обыкновенно пренебрегаютъ.

c) Потерей теплоты отъ сажи при спокойной топкѣ можно пренебречь. Если же ее требуется опредѣлить, то по извѣстному способу опредѣляется содержаніе сажи въ продуктахъ горѣнія и относится къ общему количеству этихъ продуктовъ.

d) Балансъ теплоты. Опредѣленныя выше отдѣльно потери теплоты, а также количество теплоты, переданное водѣ въ паровомъ котлѣ, слѣдуетъ выразить въ процентахъ теплотворной способности, опредѣленной калориметрическимъ путемъ. Разность между суммой и 100 представляетъ потерю вслѣдствіе лучеиспусканія и отъ трубопровода, а также вслѣдствіе неполнаго сгоранія газовъ и сажи.

НТБ ДНУЗТ

2. Опредѣленіе потерь работы паровой машины.

Опредѣленіе потерь работы, а вмѣстѣ съ тѣмъ масштаба для качества паровой машины можно производить слѣд. образомъ. Пусть:

p_1 давленіе въ паропроводѣ непосредственно передъ впускнымъ вентилемъ машины въ kg/qcm (абсол.),

T_1 соотвѣтствующая температура въ случаѣ перегрѣтаго пара,

x_1 соотвѣтствующее удѣльное количество пара, въ случаѣ насыщеннаго пара, въ kg,

v_1 соотвѣтствующій удѣльный объемъ въ cbm,

p_0 давленіе въ выпускномъ каналѣ непосредственно за цилиндромъ низкаго давленія въ kg/qcm (абсол.),

$$\varepsilon = \frac{\text{вредное пространство} + \text{объемъ цилиндра низкаго давленія}}{\text{вредное пространство} + \text{объемъ наполненія цилиндра высок. давленія}} = \text{общая}$$

степень расширенія для машины (гдѣ объемъ наполненія отнесенъ, помощью закона равнобокой гиперболы, къ давленію p_1).

a) Насыщенный паръ.

Уравненіе для адіабатическаго расширенія : $pv^{\mu} = \text{постоян.}$, гдѣ

$$\mu = 1{,}035 + 0{,}1\, x_1 \text{ (см. стр. 294).}$$

Индикаторная производительность N_i^0 въ лош. силахъ, которую могла бы дать машина изъ 1 kg пара въ теченіе часа при имѣющейся степени расширенія, давленіи при впускѣ p_1 и выпускѣ p_0, если бы не происходило потерь работы вслѣдствіе вреднаго пространства, передачи теплоты въ стѣнкѣ и паденія давленія вслѣдствіе подпора пара:

$$N_i^0 = \frac{p_1 v_1}{27}\left\{\frac{\mu}{\mu-1} - \frac{1}{\mu-1}\,\frac{1}{\varepsilon^{\mu}-1} - \varepsilon\,\frac{p_0}{p_1}\right\},$$

и для $x_1 = 1$ (въ началѣ сухой насыщенный паръ):

$$N_i^0 = \frac{p_1 v_1}{27}\left\{8{,}41 - \frac{7{,}41}{\varepsilon^{0{,}135}} - \varepsilon\,\frac{p_0}{p_1}\right\}$$

Входящее сюда v_1 опредѣляется по табл. стр. 286 до 288.

b) Перегрѣтый паръ.

v_1 опредѣляется изъ уравненія:

$$p_1 v_1 = R T_1 - C p_1^{\,n},$$

гдѣ (см. стр. 277)

$$R = 0{,}00509, \qquad C = 0{,}193, \qquad n = {}^1/_4.$$

Уравненіе для адіабатическаго расширенія, пока паръ перегрѣтъ:

$$pv^k = \text{постоян., при } k = 1{,}333;$$

для насыщеннаго пара, какъ прежде, $pv^{\mu} = \text{пост.}$, при $\mu = 1{,}135$. Давленіе и объемъ въ томъ состояніи, когда паръ — сухой насыщенный, связаны уравненіемъ:

$$pv^{\nu} = D, \text{ гдѣ } \nu = 1{,}0646 \text{ и } D = 1{,}762.$$

Затѣмъ по v_1 опредѣляется объемъ v_g, при которомъ паръ будетъ сухой насыщенный, изъ уравненія:

$$v_g = \frac{p_1^{\frac{1}{k-\nu}}\, v_1^{\frac{k}{k-\nu}}}{D^{\frac{1}{k-\nu}}} = \frac{p_1^{3{,}72}\, v_1^{4{,}97}}{8{,}23}.$$

Затѣмъ получаются степени расширенія $\varepsilon_1 = \frac{v_g}{v_1}$ и $\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}$.

Наконецъ, индикаторная производительность машины, **не имѣющей потерь** (идеальной (см. стр. 781).

$$N_i^0 = \frac{p_1 v_1}{27}\left\{\frac{k}{k-1} + \frac{k-\mu}{(k-1)(\mu-1)}\,\frac{1}{\varepsilon_1^{k-1}} - \frac{1}{\mu-1}\,\frac{1}{\varepsilon_1^{k-1}\,\varepsilon_2^{\mu-1}} - \varepsilon\,\frac{p_0}{p_1}\right\}$$

$$= \frac{p_1 v_1}{27}\left\{4 + 4{,}4\,\frac{1}{\varepsilon_1^{0{,}333}} - 7{,}41\,\frac{1}{\varepsilon_1^{0{,}333}\,\varepsilon_2^{0{,}135}} - \varepsilon\,\frac{p_0}{p_1}\right\}.$$

НТБ ДНУЗТ

Если D_i^0 обозначаетъ расходъ пара въ часъ такой машины въ kg на 1 индик. силу, то

$$D_i^0 = \frac{1}{N_i^0}.$$

Если D_i опредѣленный опытомъ, дѣйствительный расходъ пара въ часъ въ kg на индик. лош. силу и $N_i = \frac{1}{D_i}$ дѣйствительная производительность 1 kg пара въ теченіе одного часа, то потеря работы на kg пара $N_v = N_i^0 - N_i$ или по отношенію къ работѣ идеальной машины работающей безъ потерь:

$$\eta_v = \frac{N_i^0 - N_i}{N_i^0}.$$

$$\eta_g = \frac{N_i}{N_i^0} = \frac{D_i^0}{D_i}.$$

Если, наконецъ, η_t^0 обозначаетъ термическій коэффицентъ дѣйствія идеальной машины и η_t — дѣйствительной машины, то:

$$\eta_t = \eta_t^0 \eta_v \qquad \eta_\theta = \frac{\eta_t}{\eta_t^0}.$$

Примѣчаніе. Для сухого насыщеннаго пара можно положить:

$$\eta_t^0 = \frac{1}{D_i^0} = N_i^0 \qquad \eta_t = \frac{1}{D_i} = N_i.$$

V. ГАЗОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ.

Газовые двигатели, отъ $^1/_4$ до 1000 лошадиныхъ силъ, одно-, двухъ- и четырехцилиндровые (послѣдніе два типа также какъ и тендэмъ-машины), горизонтальные и вертикальные, весьма распространены; они примѣняются для различныхъ промышленныхъ цѣлей, въ особенности же для полученія электрическаго свѣта въ любомъ мѣстѣ сѣти газовыхъ трубъ, въ городахъ. Динамомашина имѣетъ непосредственное соединеніе съ валомъ газоваго двигателя и называется газодинамо. Большія машины строятся горизонтальными, а малыя—вертикальными. Моторы въ $^1/_4$ до 300 силъ одноцилиндровые; большіе—двухъ или четырехцилиндровые.

Расходъ **каменноугольнаго газа** на 1 дѣйствительную лошадиную силу въ часъ находится въ зависимости отъ величины двигателей и химическаго состава газа и колеблется въ предѣлахъ 0,4 до 0,9 cbm.

Гдѣ нѣтъ газовыхъ заводовъ, необходимый газъ производится въ газовыхъ **генераторахъ**.

Генераторный силовой газъ получается пропусканіемъ (продуваніемъ) перегрѣтаго водяного пара и атмосфернаго воздуха черезъ

НТБ ДНУЗТ

горящій уголь или коксъ, расходъ топлива при 4 или болѣе лош. силахъ около 0,7 до 1 kg антрацита на 1 лош. силу въ часъ или 0,8 до 1,2 kg кокса на 1 лош. силу въ часъ *).

1 cbm соловаго газа, полученнаго изъ англійскаго антрацита, содержитъ въ себѣ 1340 ед. тепла; а изъ кокса — 1100 до 1200 ед. тепла 1 kg англ. антрацита даетъ около 4,8 cbm газа. Такимъ образомъ, при способѣ Довсопа утилизируется до 80% тепла, содержащагося въ топливѣ.

Водородный газъ (получается пропусканіемъ водяного пара черезъ до-бѣла раскаленный уголь); расходъ 1,5 до 2,0 cbm на лош. силу въ часъ. Генераторъ для водороднаго газа Дельвика даетъ 2 cbm газа на 1 kg кокса (со включеніемъ топлива на парообразованіе).

Доменный газъ. Вмѣсто того, чтобы сжигать доменные газы въ паровыхъ котлахъ, въ новѣйшее время примѣняютъ ихъ для приведенія въ движеніе большихъ газовыхъ двигателей. На 1 лош. силу требуется около 4 cbm доменныхъ газовъ; 1 cbm доменныхъ газовъ содержитъ около 900 ед. теплоты **).

Масляный газъ получается изъ газовыхъ маслъ уд. вѣса 0,88 до 0,9. Расходъ 0,4 до 0,5 cbm на лош. силу въ часъ, въ моторахъ отъ $^1/_2$ до 30 лош. силъ.

Приведенныя данныя расхода газа относятся до полной нагрузки двигателя. При ходѣ порожнемъ расходъ составляетъ для мастерскихъ $^1/_4$ до $^1/_6$, а для электрическаго освѣщенія $^1/_3$ до $^1/_4$ приведенныхъ цифръ.

Діаметръ газопроводныхъ трубъ для каменноугольнаго газа при длинѣ 30 m и потерѣ напора 1 mm водяного столба:

Діаметръ трубы ..... mm	26	33	40	50	65	80
Производительн. машины: лош. силы	2	4	6	16	30	60

См. также во II части, производство свѣтильнаго газа.

Для устраненія мелькапія сосѣднихъ газовыхъ рожковъ, въ газопроводную трубу, по возможности ближе къ двигателю, помѣщается резиновый мѣшокъ съ регуляторомъ. **Для охлажденія** газоваго цилиндра до 40—60° требуется около 30—40 литр. проточной воды на 1 лош. силу въ часъ; охлаждающіе резервуары и ребристые приборы разсчитываются по количеству теплоты, которое должно быть ими отведено.

Взрываніе газа производится магнитными индукторами, фарфоровыми (никкелевыми или платиновыми) накаливающимися трубочками или при помощи особыхъ золотниковъ. Газъ давитъ большею частью съ одной стороны поршня.

---

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1887, стр. 1007 и слѣд.; 1895, стр. 226, 1050 и 1524; 1898, стр. 702.

**) Подробно см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 328; 1899, стр. 448 и 483; кромѣ того, Stahl und Eisen 1898, стр. 247 и 495.

НТБ ДНУЗТ

Распредѣленіе газа достигается золотниками сбоку или на концѣ цилиндра, или въ послѣднее время посредствомъ клапановъ. Большинство моторовъ работаетъ по системѣ Н. Отто, въ 4 такта; т.-е. при первомъ ходѣ впередъ смѣсь газа и воздуха всасывается (періодъ всасыванія), при обратномъ ходѣ эта смѣсь сжимается (періодъ сжатія) и въ мертвой точкѣ взрываетъ, происходитъ расширеніе смѣси, отъ дѣйствія котораго поршень получаетъ поступательное движеніе (періодъ расширенія); при второмъ обратномъ ходѣ отработавшіе газы выталкиваются черезъ выпускной клапанъ наружу (періодъ опорожненія). Слѣдовательно при четырехъ полныхъ ходахъ поршня (= двумъ оборотамъ махового колеса) имѣется только одинъ рабочій періодъ, въ остальные три періода маховое колесо даетъ работу, необходимую для опорожненія, всасыванія и сжатія газа. — Новая двухтактная система указана Эшельгейзеромъ.

Регулированіе производится центробѣжными регуляторами, а также регуляторами съ качающимся маятникомъ, которые дѣйствуютъ на притокъ газа или взрываніе смѣси.

Шатунъ кривошипа соединяется непосредственно съ поршнемъ. Поршневые стержни, кулаки и направляющія встрѣчаются рѣдко. Поршень устраивается значительной длины, передняя часть замѣняетъ кулакъ (крейцкопфъ), а въ задней части помѣщаются уплотняющія кольца. Цилиндръ отливается изъ твердаго чугуна равномѣрнаго сложенія. — У машинъ двухцилиндровыхъ, съ расположеніемъ цилиндровъ другъ возлѣ друга, оба кривошипа имѣютъ одно общее направленіе (а не подъ угломъ 180°); въ этомъ случаѣ при каждомъ ходѣ впередъ происходитъ взрывъ газа, и, слѣд., ходъ машины дѣлается возможно равномѣрнымъ и спокойнымъ.

Число оборотовъ, въ зависимости отъ величины двигателя и его производительности, между 300 и 120 въ минуту. Двигатели небольшіе пускаются въ ходъ вращеніемъ маховика отъ руки, при большихъ двигателяхъ пользуются для этой цѣли сжатымъ воздухомъ, который при помощи особаго насоса накачивается въ спеціальный резервуаръ или давленіемъ газовой смѣси, которая отъ руки взрывается въ особомъ колпакѣ.

Преимущества газовыхъ двигателей: нѣтъ опасности взрыва, не требуется парового котла и дымовой трубы, можетъ быть установленъ въ какомъ-угодно этажѣ безъ особаго разрѣшенія, занимаетъ мало мѣста, простой и легкій уходъ, во всякое время можетъ быть пущенъ въ ходъ, почему легко примѣнимъ и для временнаго дѣйствія. При помощи газовыхъ двигателей можно пользоваться механическою силой въ различныхъ и наиболѣе удаленныхъ мѣстахъ завода.

НТБ ДНУЗТ

Газовые двигатели завода Дейцъ.

1. Вертикальные двигатели, одноцилиндровые, модель D,

съ золотниковымъ распредѣленіемъ, газъ взрывается пламенемъ при помощи золотника; или съ клапаннымъ распредѣленіемъ, взрывъ при помощи накаленной трубки.

Производительность въ лош. силахъ.	0,5	1	2	3	4	5	6	8
Длина двигателя . m	0,800	1,050	1,150	1,250	1,400	1,450	1,550	1,700
Ширина „ „	0,730	0,850	0,930	1,020	1,140	1,230	1,300	1,410
Общ. высота „ . „	1,150	1,370	1,555	1,715	1,900	2,100	2,170	2,400
Число оборот. въ мин.	240	230	210	210	200	200	180	180

2. Горизонтальные одноцилиндровые двигатели, модель A.

Производительность въ лош. силахъ.	0,5	1	2	3	4	6	8	12	20	30	35
Длина двигателя . m	1,890	2,200	2,520	2,740	2,920	3,370	3,470	3,850	4,620	4,690	4,690
Ширина „ . . „	0,800	0,900	0,990	1,100	1,190	1,400	1,400	1,835	1,920	2,100	2,130
Общ. высота „ . „	1,500	1,580	1,650	1,700	1,730	2,000	2,100	2,100	2,000	2,000	2,000
Число оборот. въ мин.	180	180	180	180	160	160	160	140	140	140	140

3. Горизонт. двухцилиндр. двигатели, мод. F (до 300 лош. силъ).

Производительность въ лош. силахъ.	4	6	8	12	16	20	30	40	60	80	100
Длина двигателя . . m	2,220	2,500	2,800	3,010	3,310	3,570	3,950	4,100	4,790	5,200	5,200
Ширина „ . „	1,420	1,630	1,750	1,940	2,060	2,290	2,460	2,830	3,100	3,500	3,500
Общ. высота „ . . „	1,600	1,600	1,650	1,700	1,800	1,850	2,000	2,050	2,200	2,300	2,300
Число оборот. въ мин.	220	220	200	200	180	170	150	150	140	140	140

Перемѣною впускного клапана и приспособленія для взрыванія газовый двигатель легко превратить въ керосиновый или бензиновый. Вагоны съ газомоторами см. ч. II.

Для **двигателей керосиновыхъ***) требуется особый газовикъ (газообразователь), въ которомъ керосинъ до поступленія въ цилиндръ превращается въ паръ. Нагрѣваніе цилиндра, производящаго взрываніе, происходитъ вмѣстѣ съ нагрѣваніемъ газовика; послѣдній нагрѣвается отработавшими газами взрывающаго аппарата. Передъ пусканіемъ въ ходъ двигатель нагрѣвается въ теченіе 10 до 20 минутъ. 1 литръ керосина при сгораніи въ воздухѣ развиваетъ до 8000 ед. тепла, 1 cbm каменноугольнаго газа— около 5200 ед. тепла, такъ что 1 литръ керосина эквивалентенъ 1,5 cbm свѣтильнаго каменноугольнаго газа. Взрываніе газа,

---

*) См. G. Lieckfeld, Die Petroleum-und Benzinmotoren; München und Leipzig 1894; W. Hartmann, Leistungsversuche mit Petroleummotoren, Zeithchr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 342 и слѣд.; R. Schöttler, Die Entwicklung der Petroleummaschine, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 549, F. Dopp, Viertakt-Petroleummotoren, Zeitschr d. V. d. Ing. 1899, стр. 750.

НТБ ДНУЗТ

распредѣленіе и регулированіе происходитъ у керосиновыхъ и газовыхъ двигателей одинаково.

Керосиновые двигатели строятся размѣрами отъ $^1/_2$ до 20 лош. силъ и весьма удобны для сельскохозяйственныхъ цѣлей. Такъ, напр., 15-сильный керосиновый локомобиль, приводящій въ дѣйствіе молотилку, расходуетъ въ день 100 kg керосина и 200 kg охлаждающей воды, тогда какъ паровой локомобиль такой же силы расходуетъ въ 4 раза больше топлива, и вѣсъ воды въ 12 разъ большій. Керосиновые двигатели примѣняются также для лодокъ, причемъ перемѣна хода производится не машиной, а помощью особой муфты или автоматически отъ винта лодки. Частая чистка двигателей обязательна.

Расходъ керосина въ часъ на 1 лош. силу для небольшихъ двигателей 0,7 литра и болѣе, а для большихъ 0,4 литра и менѣе. Уд. вѣсъ керосина 0,79 до 0,82.

Бензиновые двигатели, въ виду большой летучести бензина, не требуютъ газовика и не загрязняются такъ быстро, какъ двигатели керосиновые. Въ пожарномъ отношеніи безопасны, если бензиновый резервуаръ, вполнѣ закрытый, помѣщается на значительной высотѣ, бензинъ подводится къ двигателю по узкой трубѣ и смѣшивается съ воздухомъ въ надлежащей пропорціи въ самой машинѣ; взрывъ производится раскаленной трубочкой или лучше—электрической искрой.

По отношенію къ пусканію въ ходъ и работѣ, бензиновые двигатели такъ же удобны и безопасны, какъ и газовые двигатели. При хорошемъ распредѣлительномъ механизмѣ (бр. Кертингъ) эти моторы съ удобствомъ примѣняются для электрическаго освѣщенія.—Двигатели строятся отъ $^1/_2$ до 30 силъ. Расходъ бензина 0,4 до 0,5 kg въ часъ на 1 лош. силу. Уд. вѣсъ бензина 0,68 до 0,7.

Цѣны газовыхъ и бензиновыхъ двигателей нѣсколько выше цѣнъ употребительныхъ двигателей газовыхъ.

НТБ
ДНУЗТ

ВОСЬМОЙ ОТДѢЛЪ.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРІАЛЫ.

I. ОБЩІЯ ДАННЫЯ.

А. Химическіе элементы и соединенія.

Названіе.	Химическая формула.	Вѣсъ атома или частицы.	Въ 100 вѣсовыхъ частяхъ соединенія содержится по вѣсу:
Азотъ . .	N	14,01	—
Амміакъ	NH_3	17,01	82,36 N
Хлористый аммоній (нашатырь) . . .	NH_4Cl	53,38	31,86 NH_3
Азотная кислота.	HNO_3	62,89	22,28 N
Алюминій.	Al	27,04	—
Окись алюминія (глиноземъ)	Al_2O_3	101,96	53,04 Al
Хлористый алюминій .	Al_2Cl_6	266,3	20,30 Al
Гидратъ окиси алюминія	$Al_2(OH)_6$	155,84	34,64 Al
Каліевые квасцы .	$Al_2(SO_4)_3+K_2SO_4+24H_2O$	946,46	5,71 Al
Барій	Ba	136,9	—
Окись барія (баритъ) . .	BaO	152,86	89,55 Ba
Перекись барія . . .	BaO_2	168,82	90,54 Ba O
Сѣрнокне. барій (тяжел. шпатъ)	$BaSO_4$	232,72	65,64 Ba O
Углекислый барій. .	$BaCO_3$	196,75	77,69 Ba O
Бериллъ	Be	9,08	—
Боръ.	B	10,9	—
Борная кислота .	B_2O_3	69,68	31,29 B
Бромъ	Br	79,76	—
Бромистое серебро .	AgBr	187,42	42,56 Br
Висмутъ . . .	Bi	207,5	—
Окись висмута (висмутовая охра).	Bi_2O_3	462,88	89,65 Bi
Сѣрнистый висмутъ (висмутовый блескъ) .	Bi_2S_3	510,94	81,22 Bi
Водородъ .	H	1	—
Вода. .	H_2O	17,96	88,86 O; 11,14 H

НТБ ДНУЗТ

Названіе.	Химическая формула.	Вѣсъ атома или частицы.	Въ 100 вѣсовыхъ частяхъ соединенія содержится по вѣсу:
Вольфрамъ	Wo	183,6	—
Желѣзо.	Fe	55,88	—
Окисъ желѣза (желѣзный блескъ)	Fe_2O_3	159,64	70,01 Fe
Желѣзный купоросъ .	$FeSO_4+7H_2O$	277,52	25,88 FeO
Золото.	Au	196,2	—
Іодъ	I	126,54	
Іодистое серебро .	Ag I	234,2	54,03 I
Кадмій .	Cd	111,7	—
Калій	K	39,03	—
Ѣдкій калій (гидратъ окиси калія)	KOH	55,99	83,96 K_2O
Хлористый калій . .	KCl	74,40	52,46 K
Сѣрнокислый калій . . .	K_2SO_4	173,88	54,07 K_2O
Азотнокислый „ (селитра).	KNO_3	100,92	46,58 K_2O
Углекислый „ (поташъ).	K_2CO_3	137,91	68,17 K_2O
Двухромокислый калій.	$K_2Cr_2O_7$	294,68	31,84 K_2O
Ціанистый калій. .	KCN	65,01	60,03 K
Кальцій	Ca	39,91	—
Окись кальція (известь обожженкая)	CaO	55,87	71,13 Ca
Гидратъ окиси кальція (гашен. известь)	$Ca(HO)_2$	73,83	75,67 CaO
Углекислый кальцій (известковый шпатъ) . . .	$CaCO_3$	99,76	56,00 CaO
Сѣрнокислый кальцій (ангидридъ)	$CaSO_4$	135,73	41,16 CaO
Кальцій карбидъ .	CaC_2	63,85	62,51 Ca
Кислородъ .	O	15,96	—
Кремній (силиций).	Si	28	—
Кремневая кислота (окись кремнія, кварцъ) .	SiO_2	59,92	46,73 Si
Кобальтъ.	Co	58,6	—
Литій	Li	7,01	—
Магній.	Mg	23,94	—
Окись магнія (магнезія) . .	MgO	39,90	60,00 Mg
Сѣрнокислый магній (горькая соль) .	$MgSO_4+7H_2O$	245,48	16,25 MgO
Марганецъ	Mn	54,8	—
Перекись марганца (марганцовая руда, пиролюзитъ) .	MnO_2	86,72	63,19 Mn
Сѣрнистый марганецъ (марг. обманка). . . .	MnS	86,78	63,14 Mn

НТБ ДНУЗТ

На	Химическая формула.	Вѣсъ атома или частицы.	Въ 100 вѣсовыхъ частяхъ соединенія содержится по вѣсу:
Мѣдь красная.	Cu	63,18	—
Окись мѣди . .	CuO	79,14	79,83 Cu
Сѣрнистая мѣдь	CuS	95,16	66,39 Cu
Мѣдный купоросъ.	$CuSO_4+5\,H_2O$	248,80	31,80 CuO
Мышьякъ.	As	74,9	—
Мышьяковая кислота (окись мышьяка)	As_2O_3	197,68	75,27 As
Сѣрнистый мышьякъ (аурипигментъ). . .	As_2S_3	245,74	60,95 As
Натрій	Na	23	—
Ѣдкій натрій (гидратъ окиси натрія)	NaOH	39,96	77,52 Na_2O
Сѣрнокислый натрій (глауборова соль)	Na_2SO_4	141,80	43,68 Na_2O
Углекислый натрій (сода) . .	Na_2CO_3	105,85	58,53 Na_2O
Борнокислый натрій (бура). .	$Na_2B_4O_7+10\,H_2O$	380,92	16,26 Na_2O
Азотнокислый натрій (Чилійская селитра).	$NaNO_3$	84,89	36,49 Na_2O
Хлористый натрій (пов. соль).	NaCl	58,36	39,39 Na
Никкель . . .	Ni	58,60	—
Окись никкеля .	NiO	74,56	78,59 Ni
Олово.	Sn	117,35	—
Оловянная кислота (окись олова, олов. камень). .	SnO_2	149,27	78,62 Sn
Платина. .	Pt	194,43	—
Хлороплатинатъ	K_2PtCl_6	484,71	40,11 Pt
Ртуть . .	Hg	199,8	—
Окись ртути . . .	HgO	215,76	92,60 Hg
Сѣрнистая ртуть (киноварь) .	HgS	231,78	86,20 Hg
Хлористая ртуть (каломель) .	HgCl	235,17	84,96 Hg
Полухлористая ртуть (сулема). . .	$HgCl_2$	270,54	73,85 Hg
Свинецъ. . .	Pb	206,39	—
Окись свинца . . .	PbO	222,36	92,82 Pb
Саинцовый сурикъ . . .	Pb_3O_4	683,04	90,65 Pb
Сѣрнистый свинецъ (свинцовый блескъ) . . .	PbS	238,38	86,58 Pb
Сѣрнокислый свинецъ .	$PbSO_4$	302,22	73,57 PbO
Хлористый „	$PbCl_2$	277,14	74,47 Pb
Серебро	Ag	107,66	—
Стронцій	Sr	87,3	—
Сѣрнокислый стронцій .	$SrSO_4$	183,12	56,39 SrO
Углекислый „ .	$SrCO_3$	147,15	70,17 SrO

НТБ ДНУЗТ

II	Химическая формула.	Вѣсъ атома или частицы.	Въ 100 вѣсовыхъ частяхъ соединенія содержится по вѣсу:
Сурьма (антимоній). .	Sb	119,96	—
Трехсѣрнистая сурьма .	Sb_2S_3	335,14	71,38 Sb
Пятисѣрнистая „ .	Sb_2S_5	399,10	59,93 Sb
Сѣра. . . .	S	31,98	—
Сѣрная кислота . .	H_2SO_4	97,82	32,69 S
Сѣрнистый водородъ . .	H_2S	33,98	94,11 S
Углеродъ (см. также II топливо) . . .	C	11,97	—
Окись углерода.	CO	27,93	42,86 C
Углекислота.	CO_2	43,89	27,27 C
Ацетиленъ .	C_2H_2	25,94	92,29 C
Фосфоръ . .	P	30,96	—
Фосфорнокислая известь	$Ca_3P_2O_8$	309,33	45,82 P_2O_5
Фторъ	Fl	19,06	— .
Фтористый кальцій (плавиковый шпатъ) .	$CaFl_2$	78,03	48,85 Fl
Хлоръ.	Cl	35,37	—
Хлористое серебро . .	AgCl	143,03	24,73 Cl
Хлористый водородъ (соляная кислота) . .	HCl	36,37	97,25 Cl
Хромъ . . .	Cr	52,45	—
Окись хрома .	Cr_2O_3	152,78	68,66 Cr
Цинкъ	Zn	64,88	—
Окись цинка (красн. цинк. руда) . .	ZnO	80,84	80,26 Zn
Цинковый купоросъ.	$ZnSO_4+7H_2O$	286,42	28,22 ZnO
Углекислый цинкъ .	$ZnCO_3$	124,73	64,82 ZnO
Сѣрнистый цинкъ (цинковая обманка) . .	ZnS	96,86	66,98 Zn

B. Удѣльные вѣса.

Отношеніе σ вѣса твердаго или жидкаго тѣла къ вѣсу (въ томъ же мѣстѣ) равновеликаго объема химически чистой воды при 4° C наз. **удѣльнымъ вѣсомъ тѣла**.

Отношеніе σ' вѣса газа (или пара) къ вѣсу (въ томъ же мѣстѣ) равновеликаго объема атмосфернаго воздуха, состоящаго изъ 78,67 объемовъ азота и 21,33 объема кислорода (или 76,42 вѣс. част. азота и 23,58 вѣс. частей кислорода), при 0° C и давленіи 760 mm ртутнаго столба, наз. **удѣльнымъ вѣсомъ газа (или пара)**.

Въ виду того, что отношеніе составныхъ частей воздуха непостоянно, правильнѣе относить удѣльный вѣсъ газовъ (паровъ) къ вѣсу химически чистаго водорода = 1. Числа, приведенныя на стр. 978, должны быть для этой цѣли помножены на 14,43.

Если V (и соотв. V') объемъ тѣла (и соотв. газа) въ литр.,
G („ G') вѣсъ „ („ „) „ kg,
$G' = V\sigma$ и соотв. $G' = 0{,}001\,293\ V'\sigma'$;
1 литръ тѣла вѣситъ σ kg,
1 cbm „ „ 1000 σ kg = σ тоннъ (t),
1 литръ газа „ 0,001 203 σ' kg = 1,293 σ' грамм.,
1 cbm „ „ 1,293 σ' kg,

Удѣльный вѣсъ **земли** (по Кепигу, Кригаръ-Менцелю и Рихарцу, опредѣленный по способу Жолли) = 5,505 и общій вѣсъ земли около 5960 триллiоновъ тоннъ.

Приводимыя ниже величины σ и σ' представляютъ среднія и соотв наибольшія значенія.

НТБ ДНУЗТ

а. Удѣльные вѣса твердыхъ тѣлъ.

Вода (при 4°) = 1.

Агатъ . .	2,5 — 2,8	Гипсъ обожженный . .	1,81
Азбестъ	2,1 — 2,8	„ сухой, литой. .	0,97
Азбестов. картонъ.	1,2	„ просѣянный	1,25
Алебастръ .	2,3 — 2,8	Глауберова соль.	1,4 — 1,5
Алюминій хим. чист.	2,6	Глина . .	1,8 — 2,6
„ проков.	2,75	„ свѣжевырытая .	1,67— 2,85
„ литой.	2,56	„ сухая .	1,52
Алюмин. бронза.	7,7	Глинистый сланецъ	2,76— 2,88
Алмазъ. . . .	3,5 — 3,6	Гнейсъ	2,4 — 2,7
Антимоній (см. сурьма).	6,7	Горная смола (асф.) .	1,1 — 1,5
Амальгама (натурал.).	13,7 — 14,1	Горный хруст. чист.	2,6
Антрацитъ .	1,4 — 1,7	Горькая соль крист.	1,7 — 1,8
Апатитъ .	3,16— 3,22	„ безвод.	2,6
Аргентанъ .	8,4 — 8,7	Гранатъ .	3,4 — 4,3
Аррагонитъ. . . .	3,0	Гравій сухой .	1,8
Аспидъ, сланецъ. .	2,65— 2,70	„ сырой	2,0
Асфальтъ. .	1,1 — 1,5	Гранитъ .	2,51— 3,05
Аурипигментъ.	3,4 — 3,5	Графитъ . . .	1,9 — 2,3
Бабитъ (бѣлый) .	7,1	Грюнштейнъ	2,9 — 3,0
Базальтъ . .	2,7 — 3,2	Гуммигутъ .	1,20
Барій (хлорист. крист.)	3,7	Гуттаперча . .	0,96— 0,99
Бетонъ. .	1,8 — 2,45	Дельта-металлъ . .	8,6
Болюсъ (печатн. земля)	2,2 — 2,5	Дерево листв. сух. въ среднемъ. .	0,66
Борная кислота .	2,9 — 3,0	Дерево листв. насыщ. водой .	1,11
Борное стекло. .	2,6	Дерево хвойное въ среднемъ . . .	0,45
Боръ.	2,68	Деревья хвойн. насыщ. водой . .	0,84
Брикеты угольные.	1,25		
Бронза (при 79 до 14% содержанія олова)	7,4 — 8,9		
„ фосфористая .	8,8		
Бумага .	0,70— 1,15		
„ хлопчат. сухая.	1,47— 1,50		
Бура.	1,7 — 1,8		
Бурый желѣзнякъ.	3,4 — 3,95		
Бурый уголь .	1,2 — 1,5		
Висмутъ самор. .	9,78		
„ литой .	9,82		
„ жидкій	10,055		
Вольфрамъ .	17,5		
Воскъ. .	0,95—0,98		
Галмей .	4,1 — 4,5		

Различныя породы деревьевъ.	Сухія.	Свѣжесрубл.
Акація.	0,58—0,85	0,75—1,00
Бакаутовое дерево .	1,17—1,39	—
Береза	0,51—0,77	0,80—1,09
Буксовое дерево (самшитъ) . .	0,91—1,16	1,20—1,26
Букъ бѣлый . . .	0,62—0,82	0,92—1,25
„ красный . .	0,66—0,83	0,85—1,12
Вишневое дерево. .	0,76—0,84	1,05—1,18
Вязъ	0,62	0,62
Грушевое дерево. .	0,61—0,73	0,96—1,07
Гикори (американск).	0,60—0,90	—
Дубъ	0,69—1,03	0,93—1,28
Ель.	0,37—0,75	0,77—1,23

НТБ ДНУЗТ

Ель благородная. .	0,48	—
Ива.	0,49—0,59	0,79
Каменный дубъ .	0,71—1,07	—
Кедръ. . .	0,57	—
Кленъ.	0,53—0,81	0,83—1,05
Конскій каштанъ. .	0,58	—
Красное дерево (Mahagoni) . . .	0,56—1,06	—
Липа	0,32—0,59	0,58—0,87
Лиственница. .	0,47—0,56	0,81
Ольха.	0,55	0,90
Орѣховое дерево. .	0,60—0,81	0,91—0,92
Пихта. . . .	0,35—0,60	0,40—1,07
Питчъ-пейнъ. . . .	0,83—0,85	—
Пробковое дерево .	0,24	—
Слива (дерево). .	0,68—0,90	0,87—1,17
Сосна. .	0,31—0,76	0,38—1,08
Тополь . .	0,39—0,59	0,61—1,07
Тростникъ. .	0,49—0,59	0,79
Ульмъ. . . .	0,56—0,82	0,78—1,18
Черное дерево . .	1,26	—
Яблоня . .	0,66—0,84	0,95—1,26
Ясень. .	0,57—0,94	0,70—1,14

Древесный уголь:	
хвойн. деревьевъ .	0,28— 0,44
дуба . . .	0,57
Доломитъ.	2,9
Желтая мѣдь (вальцованная). .	8,52— 8,62
литая. . .	8,4 — 8,7
тянутая. . .	8,43— 8,73
Желѣзо (химич. чистое)	7,79
„ сварочное . .	7,80
„ въ проволокѣ .	7,60— 7,75
„ литое. . . .	7,85
Желѣзн. купоросъ .	1,8 — 1,98
„ шпатъ . .	3,7 — 3,9
Желѣзнякъ красный	4,5 — 4,9
Жерновъ (кварцъ).	1,25— 1,60
Жиры . . .	0,92— 0,94
Земля свѣж. глинистая, плотно утрамбованная	2,0
Земля сухая .	1,6 — 1,9
„ садов. свѣж. .	2,05
сухая .	2,63
„ „ тощая	1,34
Золото самородное .	19,33
„ литое .	19,25
„ прокованное .	19,30—19,35
Известь обожженная .	2,3 — 3,2
„ гашеная .	1,3 — 1,4

Известковый растворъ сухой .	1,65
Известковый растворъ свѣжій . .	1,78
Известковый растворъ въ среднемъ .	1,7
Известковый шпатъ	2,6 — 2,8
Известнякъ . .	2,46— 2,84
Іодъ . .	4,95
Кадмій . . .	8,60
Кали ѣдкій (сухой) .	2,1
Калій	0,865
Каліевая селитра .	1,95— 2,08
Каліевые квасцы .	1,7
Кальцій. . . .	1,58
„ карбидъ.	2,26
Каменная соль. . .	2,28— 2,41
Каменный уголь (въ кускахъ) .	1,2 — 1,5
Канифоль . .	1,07
Каолинъ . .	2,2
Картофель.	1,06— 1,13
Каучукъ (сырой) .	0,92— 0,96
Кварцъ.	2,5 — 2,8
Киноварь чистая.	8,12
Кирпичъ обыкновен.	1,4 — 1,55
„ клинкеръ. .	1,60— 2,00
Кирпичная кладка:	
сплошная свѣжая . .	1,57— 1,63
„ сухая .	1,42— 1,46
Клей . .	1,27
Кобальтъ . .	8,51
„ порошкооб. .	до 9,5
Кобальтов. блескъ	6,0 — 6,1
Кожа смазанная . .	1,02
„ сухая . .	0,86
Колокольн. металлъ	8,81
Корундъ . .	3,9 — 4,0
Кость (быка) .	1,7 — 2,5
„ слоновая . .	1,83— 1,92
Крахмалъ въ кускѣ .	1,53
Кремень. .	2,6— 2,8
Кремневая кислота:	
кристаллическая. . .	2,6
аморфная. . .	2,2
Кровяная соль желт.	1,83

НТБ ДНУЗТ

Лава базальтовая .	2,8 — 3,0
„ трахитовая.	2,0 — 2,7
Ледъ .	0,88— 0,92
Ленъ просуш. на возд.	1,5
„ въ волокнѣ.	1,5
Линолеумъ	1,15— 1,30
Магнезія .	3,20
Магнезитъ	3,0
Магнитный желѣзнякъ . . .	4,9 — 5,2
Магнитный колчеданъ .	4,54— 4,64
Магній .	1,74
Малахитъ.	3,7 — 4,1
Марганецъ . .	7,15–8,03
Марганцовая руда:	
красная .	3,46
черная . .	3,9 — 4,1
Масло коровье	0,94— 0,95
Мельничный камень (кварцъ)	1,25— 1,6
Мелафиръ. . .	2,6
Мергель землистый	2,3
„ твердый	2,5
Морская пѣнка . .	0,99 –1,28
Мостовая деревян..	0,69— 0,72
Мраморъ обыкновен.	2,52— 2,85
„ каррарскій	2,72
Мука насыпная	0,4 — 0,5
„ прессованная .	0,7 — 0,8
Мѣдный блескъ .	5,5 — 5,8
колчеданъ	4,1 — 4,3
„ купор. крист.	2,2 — 2,3
Мѣдь красная литая .	8,8
„ проков. и прокатанная	8,9 — 9,0
проволочи.	8,8 — 9,0
жидкая	8,22
электролитич..	8,9 — 8,95
желтая прок. *)	8,52— 8,62
„ литая *)	8,4 — 8,7
„ тянут. *)	8,43— 8,73
Мѣлъ. .	1,8 — 2,6
Мышьякъ. . .	5,7 — 5,8
Мышьяков. кислота или бѣл. мышьякъ	3,69— 3,72
Натрій . . .	0,978
Натръ ѣдкій .	
съ 22,2% H_2O	2,0
Наждакъ . . .	4,0
Натріевая селитра.	2,26
Нафталинъ	1,15
Нашатырь .	1,5 — 1,6
Нейзильберъ.	8,4 — 8,7
Никкель .	8,9 — 9,2
Овесъ насыпной. .	0,43
Олово проков. или кат.	7,3 — 7,5
„ литое .	7,2
„ жидкое	7,025
Олово-камень	6,4 — 7,0
Опалъ	2,2
Охра.	3,5
Парафинъ.	0,87— 0,91
Пемза натур.	0,37— 0,9
„ вѣнск.	2,2 — 2,5
Песокъ мелкоз. сухой	1,40 — 1,65
„ сырой	1,90— 2,05
„ круппоз. сухой	1,4 — 1,5
Песчаникъ . .	2,2 — 2,5
„ искусств.	2,03
Пиролюзитъ. . .	3,7 — 4,6
Платина кованная.	21,3— 21,5
„ литая. .	21,15
Плавиковый шпатъ	3,1 — 3,2
Поваренная соль .	2,15— 2,17
Порфиръ . . .	2,6 — 2,9
Поташъ (углекисл. калій) . .	2,26
Полевые камни .	2,50
Полевой шпатъ . .	2,53— 2,58
Порохъ огнестрѣл.:	
сыпучій .	0,9
прессованный	1,75
Пробка.	0,24
Пробк. камень бѣлый.	0,25
„ черный.	0,56
Пушечный металлъ	8,44
Пшеница насыпная .	0,7 — 0,8
Резина (каучукъ) сыр.	0,92— 0,96
„ арабская. .	1,31— 1,45
Резиновыя издѣлія въ среднемъ.	1,45

*) Въ зависимости отъ содержанія цинка.

НТБ ДНУЗТ

Роговая обманка.	3,0
Рожь насыпная	0,65— 0,8
Сало .	0,9 — 0,97
Сахаръ.	1,61
Свинецъ .	11,25—11,37
„ жидкій. .	10,37
Свинц. глетъ (иск.)	9,3 — 9,4
„ „ (нат.) .	7,83— 7,98
Свинцовый блескъ	7,3 — 7,6
Свинцовыя бѣлила	6,7
Свиицовый сахаръ.	2,4
Селитра чилійская .	2,26
Серебро литое . .	10,42—10,53
„ прокован.	10,50—10,6
„ жидкое	9,51
Серпентинъ.	2,4 — 2,7
Сіенитъ. .	2,6 — 2,8
Слоновая кость .	1,83— 1,92
Слюда	2,65— 3,20
Смарагдъ (зеленый)	2,68 —2,73
Смола древесная. .	1,07— 1,1
Снѣгъ въ среднемъ	0,125
Сода кристал. . .	1,45
„ кальцинир.	2,5
Спермацетъ.	0,88— 0,94
Сталь цементная	7,25— 7,80
„ литая *) и сварив.	7,86
Стекло бутылочное.	2,6
зеркальное. .	2,45— 2,72
оконное. .	2,4 — 2,6
флинтгласъ . .	3,15— 3,90
хрустальное	2,9 — 3,0
„ зеленое. . .	2,64
Строительные камни въ среднемъ .	2,5
Стронцій . . .	2,5
Стронціанитъ . .	3,7
Стѣны на известковомъ растворѣ:	
Кладка:	
свѣжая бутовая.	2,46
„ гранит..	2,6
„ известк. .	2,5
„ кирпичн.	1,55— 1,70
„ пустот. кирп.	0,95
Сурикъ свинцовый.	8,6 — 9,1
Сурьма.	6,7
Сурьмяной блескъ.	4,6 — 4,7

Сѣра самородная .	2,07
„ аморфная .	2,03
„ кристаллическ. .	1,96— 2,07
Сѣрный колчед. (пирит.)	4,9 — 5,2
Талькъ. . . .	2,7
Топазъ. . .	3,51— 3,57
Торфъ сухой . . .	0,51
„ землистый .	0,64
„ смоляной. .	0,84
Торф. мусоръ (прес.).	0,214
Трассъ молотый .	0,95
Трахитъ	2,6 — 2,8
Турмалинъ . .	2,94— 3,24
Туффъ въ кускахъ. . .	1,3
„ въ кирпичахъ .	0,8 — 0,9
Тяжелый шпатъ. .	4,5
Уголь прессованный (брикетъ). .	1,25
Умбра . .	2,2
Фарфоръ китайскій . .	2,4 — 2,5
„ берлинскій. .	2,29
Фенолъ (при 0°) .	1,08— 1,09
Фосфорист. бронза.	8,8
Фосфоръ бѣлый.	1,82
„ красный.	2,18
„ кристаллич.	2,34
Хромов. желчь .	6,0
„ кали двойн.	2,7
Целестинъ . . .	3,9
Цементъ въ порош.	1,15— 1,7
„ въ порош. уплотн.	1,85
„ затвердѣлый.	2,7 — 3,0
Цинкъ литой. . .	6,86
„ прокатанный	7,13— 7,20
„ жидкій . . .	6,48
Цинковая обманка.	3,9 — 4,2
Цинков. купоросъ .	2,04
„ шпатъ (Галмей)	4,1 — 4,5
Чугунъ бѣлый	7,0 — 7,8
„ сѣрый	6,7 — 7,6
„ жидкій. .	6,9
Шамоттовые камни	1,85
Шерсть овечья, просушен. на воздухѣ. .	1,32
Шлаки дом. печей .	2,5 — 3,0
Янтарь. . .	1,0 — 1,1
Ячмень насыпной .	0,69

*) При содержанія C 0,09 | 0,20 | 0,37 | 0,51 | 0,81 | 0,97%
σ = 7,8705 | 7,8609 | 7,8433 | 7,8398 | 7,8248 | 7,8155

НТБ ДНУЗТ

b. Удѣльные вѣса жидкихъ тѣлъ.

Названіе жидкости.	Удѣльный вѣсъ.	При град. С.	Названіе жидкости.	Удѣльный вѣсъ.	При град. С.
Азотная кислота			Минеральныя смазочныя масла .	0,9—0,93	20°
съ 25% HNO_3	1,15	15°	Молоко. . . .	1,03	15°
„ 40% „	1,25	15°	Мѣдный купоросъ съ		
„ 91% „	1,50	15°	15% $CuSO_4+5H_2O$	1,10	15°
Алкоголь (безвод.)	0,79	15°	„ 28%	1,15	15°
Альдегидъ.	0,80	0°	Натровая щелочь		
Амилалкоголь . .	0,81	20°	съ 13% NaOH	1,15	15°
Апилинъ . . .	1,04	0°	„ 22%	1,25	15°
Анисовое масло . .	1,00	16°	„ 66%	1,70	15°
Ацетонъ .	0,79	20°	Нефтяной эфиръ. .	0,67	15°
Бензинъ	0,68—0,70	15°	Олеиновая кислота.	0,90	15°
Бензолъ. .	0,90	0°	Оливковое масло		
Бромъ . . .	3,19	0°	(прованск. масло)	0,92	15°
Бѣлокъ яичный . .	1,04	15°	Пальмовое масло .	0,91	15°
Валерьянов. масло	0,97	16°	Пиво .	1,02—1,04	—
Вино (рейнское)	0,99—1,00	—	Рапсовое масло сыр.	0,92	15°
Вода (дестиллиров.)	1,000	4°	„ „ очищ.	0,91	15°
„ (морская).	1,02—1,03	15°	Растворъ поваренной соли насыщенный. .	1,21	17°
Ворвань . . .	0,92—0,93	15°	Ртуть. . . .	13,5956	0°
Глицеринъ безводный.	1,26	0°	Рыбій жиръ. . .	0,945	15°
Деготь каменоугол.	1,20	—	Смоляное масло .	0,96	15°
Деревянное масло	0,92	—	Соляная кислота съ		
Древесный спиртъ.	0,80	0°	10% HCl	1,05	15°
Каліевая щелочь:			„ 40% „	1,20	15°
12% KOH	1,10	15°	Сосн. масло сырое.	0,85—0,86	15°
31%	1,30	15°	„ очищен. .	0,91	15°
„ 63% „	1,70	15°	Сурѣпное масло сыр.	0,92	15°
Камфорное масло	0,91	—	„ очищен. . .	0,91	15°
Касторовое „ .	0,97	15°	Сѣроуглеродъ. .	1,29	15°
Карболов. кисл.	0,95—0,97	15°	Сѣрная кислота съ		
Керосинъ. . .	0,79—0,82	15°	7,5% H_2SO_4	1,05	15°
Копытный жиръ. .	0,916	15°	27%	1,20	15°
Кокосовое масло. .	0,93	15°	50%	1,40	15°
Креозот. масло	1,04—1,10	15°	„ 87% „	1,80	15°
Лавендуловое масло	0,88	16°	„ дымящаяся.	1,89	15°
Лимонное „	0,84	16°	Сѣрнистая кислота		
Льняное „	0,94	15°	сгущенная .	1,49	—20°
Маковое „	0,92	15°	Сѣрный эфиръ. . .	0,715	0°
Масляная (сливочн. масла) кислота. .	0,96	15°			
Метилалкоголь .	0,81	4°			

НТБ ДНУЗТ

Названіе жидкости.	Удѣльный вѣсъ.	При град. С.	Названіе жидкости.	Удѣльный вѣсъ.	При град. С.
Терпентинное масло	0,87	16^0	Хлороформъ. . .	1,48	18^0
Тресковый жиръ. .	0,94	15^0	Цинковый купоросъ		
Фотогенъ . . .	0,78—0,85	15^0	съ 17% $ZnSO_4+7H_2O$	1,10	15^0
Хлористый натрій			„ 55% „	1,40	15^0
съ 14% NaCl .	1,10	15^0	Эфиръ этиловый. .	0,74	0^0
26% .	1,20	15^0	Янтарное масло .	0,80	15^0

При помощи табл. V_t для **воды** стр. 316 вычисленіемъ $1 : V_t$ находимъ уд. вѣсъ воды при различныхъ температурахъ.

Ареометры. Если σ_l и σ_s удѣльные вѣса жидкостей, которыя легче и тяжеле воды, и n—число градусовъ по ареометру:

Baumé (при $12{,}5^0$ темпер.) . то $\sigma_l = \frac{145.88}{145{,}88+n}$ и $\sigma_s = \frac{145{,}88}{145{,}88-n}$;

Beck'a („ $12{,}5^0$) . . $\sigma_l = \frac{170}{170+n}$ $\sigma_s = \frac{170}{170-n}$;

Brix'a („ $15{,}6^0$) . $\sigma_l = \frac{400}{400+n}$ $\sigma_s = \frac{400}{400-n}$

Удѣльные вѣса и составныя части смѣси воднаго алкоголя (по Брикеу).

Удѣльный вѣсъ . . .	0,999	0,993	0,987	0,981	0,976	0,971	0,966	0,959	0,952	0,914
100 объемовъ содержатъ алкоголя объемовъ.	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
100 объемовъ содержатъ воды объемовъ .	99,06	95,31	90,71	86,19	81,71	77,23	72,71	68,11	63,41	58,59
Удѣльный вѣсъ . . .	0,934	0,924	0,913	0,902	0,890	0,877	0,864	0,850	0,834	0,816
100 объемовъ содержатъ алкоголя объемовъ. . . .	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
100 объемовъ содержатъ воды объемовъ .	53,70	48,72	43,66	38,56	33,38	28,14	22,82	17,42	11,88	6,15

Примѣчаніе: Приведенныя данныя относятся до температуры $15^5/_9{}^0$.

Если объемъ алкоголя раздѣлить на соотвѣтствующій удѣльный вѣсъ и помножить на 0,7946, то получимъ соотвѣтств. вѣсов. части алкоголя (въ процентахъ).

c. Удѣльные вѣса газовъ и паровъ

при температурѣ 0^0 и давленіи 760 mm ртутнаго столба (стр. 973).
Удѣльный вѣсъ сухого атмосфернаго воздуха = 1.

Ацетиленъ .	0,91	Пары сѣры . .	6,617
Амміакъ .	0,592	воды .	0,6233
Азотъ .	0,9714	ртути	6,94
Болотный газъ	0,559	„ эфира . .	2,586
Водородъ	0,06927	Плавиковая кислота	2,37
Кислородъ	1,1056	Свѣтильный газъ.	0,34—0,45
Окись углерода.	0,9673	Солянокислый газъ.	1,25
Пары воды .	0,6233	Сѣрнистая кислота.	2,250
„ алкоголя.	1,601	Сѣроводородъ .	1,175

НТБ ДНУЗТ

Сѣроуглеродъ.	2,644	Хлоръ.	2,423
Углеводороды (дающіе масла). .	0,974	Хлористый водородъ	1,2612
Углекислота .	1,5291	Этиленъ (C_2H_4). . .	0,974

Удѣльный вѣсъ с у х о г о воздуха, по Реньо, при 0^0 и стоянія барометра 760 mm относительно дестиллиров. воды при 4^0 C = 0,001 293 187 ∾ 1 : 773. (См. стр. 276 и стр. 719).

Вѣса 1 cbm газа или пара въ kg. см. стр. 277.

Вѣсъ 1 cbm **продуктовъ горѣнія** (дымовыхъ газовъ) средняго состава равенъ около 1,25—0,0027 *t* въ kg, если *t* температура въ градусахъ. Но, въ виду того, что составъ горючихъ газовъ является сильно перемѣннымъ въ зависимости отъ топлива и большаго или меньшаго избытка воздуха, рекомендуется вѣсъ ихъ опредѣлять на основаніи анализа (см. стр. 277 и 324).

С. Вѣса сыпучихъ тѣлъ.

1 cbm вѣситъ въ kg:

(Для полученія вѣса 1 куб. саж. въ пудахъ необходимо цифры таблицы умножить на 0,61).

Базальтъ . .	3200	Хвойный лѣсъ въ полѣньяхъ .	330
Бетонъ съ кирпичи. щебнемъ.	1800	Песокъ, глина, земля сухая.	1600
„ „ известняк. „	2000	„ „ „ сырая.	2000
„ „ гранитнымъ „ .	2200	Поварен. соль (Na Cl) крупная.	745
Бурый уголь въ кускахъ .	650—780	„ „ „ мелкая .	785
Цементъ портланд. въ порошкѣ	1450	Камен. соль (Na Cl) измельчен..	1015
„ романск. „	1300—1900	Глина, гравій сухой. . .	1800
Чилійская силитра насыпи. .	1000	„ „ сырой. . .	2000
Сосновыя дрова въ полѣньяхъ	320	Трассъ измельченный. .	950
Буковыя „ „ „	400	Известнякъ (бутъ) . . .	2000
Дубовыя „ „ „	420	Картофель	650—700
Жирная известь обожжен. и въ порошкѣ.	500	Навозъ и гуано	750—950
Песокъ формовоч. насыпной .	1200	Свекла	570—650
„ „ утрамбов. .	1650	Снѣгъ свѣжій	80—190
Гранитъ	2700	„ сырой	200—800
Уголь древесн. мягкаго дер..	150	Трава.	350
„ „ твердаго „	220	Торфъ сухой	325—410
Известняки и песчаники .	2000	„ сырой . . .	550—650
Уголь каменный	700—860	Кирпичъ обыкновенный	1375—1500
Коксъ газовый. . .	360—470	„ клинкеръ .	1600—1800
Растворъ известковый (известь и песокъ)	1700—1800	Яблоки . . .	300
		Груши и сливы .	350

НТБ ДНУЗТ

1 вагонъ подъемной силой 600 пудовъ нагружается объемомъ въ cbm.

Бурый желѣзнякъ	3,0—3,5	Коксъ газовый . .	21,3—27,8
Бурый уголь, сухой и въ кускахъ .	12,8—15,4	Глина свѣже вырытая . . .	6,0
Буковое дерево, въ полѣньяхъ	25,0	Растворъ (известь и песокъ)	5,6—5,9
Дубовое „	23,8	Хвойный лѣсъ въ полѣньяхъ .	30,3
Сосновое „ „	31,3	Прессован. уголь (брикеты)	9,0—10,0
Рѣчной гравій сухой	3,7—4,3	Свекла . . .	15,4—17,5
„ „ сырой	3,5—4,0	Шлаки и коксовая зола .	16,7
„ песокъ сырой	5,7	Сѣрный колчеданъ.	3,0
Формовочн. песокъ насыпной	8,3	Желѣзный шпатъ. .	3,0—3,3
„ „ трамбован.	6,1	Каменная соль (Na Cl) молотая	9,8
Древесный уголь изъ мягкаго дерева . .	66,7	Смола каменноугольная	8,3
		Глина сухая	5,6
изъ твердаго дерева .	45,5	„ сырая .	5,0
Известь . . .	4,0—5,5	Торфъ сухой . .	24,4—30,8
Известняковый бутъ . .	5,0	„ сырой	15,4—18,2
Картофель . . .	13,7—14,3	Трассъ молотый .	10,5
Уголь каменный .	11,6—13,9	Березовый лѣсъ въ полѣньяхъ	29,4
		Кирпичъ обыкновенный .	6,7—7,3
		„ клинкеръ	5,6—6,3

44 куб. фут. (англ.) **каменнаго угля** вѣсятъ 1000 kg, слѣд., 100 куб. фут. (англ.) камен. угля вѣсятъ около 2270 kg или 1 cbm около 803 kg. По Стивенсу и Дерингу, въ 1 cbm объема судна помѣщается 896 kg каменнаго угля.

НТБ ДНУЗТ

II. МЕТАЛЛЫ.

Общія данныя.

a. Вѣсъ 1000 m проволоки въ kg.

(Для полученія вѣса 1 версты проволоки въ пудахъ необходимо цифры таблицы умножить на 0,065).

Удѣльный вѣсъ желѣза 7,65 *), стали 7,956 *), красной мѣди 9,00 **), желтой мѣди 8,687 **).

Толщина. mm	Желѣзо. kg	Сталь. kg	Красная мѣдь. kg	Желтая мѣдь. kg	Толщина. mm	Желѣ: kg	Сталь. kg	Красная мѣдь. kg	Желтая мѣдь. kg
0,14	0,118	0,122	0,139	0,134	1,4	11,78	12,25	13,86	13,37
0,16	0,154	0,160	0,181	0,175	1,6	15,38	16,00	18,10	17,46
0,18	0,195	0,202	0,229	0,221	1,8	19,47	20,25	22,90	22,11
0,20	0,240	0,250	0,283	0,273	2,0	24,03	25,00	28,28	27,29
0,22	0,291	0,302	0,342	0,330	2,2	29,08	30,24	34,21	33,03
0,24	0,346	0,360	0,407	0,393	2,5	37,55	39,05	44,18	42,65
0,26	0,406	0,422	0,478	0,461	2,8	47,10	48,99	55,42	53,47
0,28	0,471	0,490	0,554	0,535	3,1	57,74	60,05	67,93	65,55
0,31	0,577	0,600	0,679	0,656	3,4	69,46	72,23	81,71	78,85
0,34	0,695	0,722	0,817	0,789	3,8	86,76	90,02	102,1	98,52
0,37	0,823	0,855	0,968	0,934	4,2	105,99	10,23	124,7	120,3
0,40	0,961	1,000	1,131	1,092	4,6	127,14	132,22	149,6	144,4
0,45	1,217	1,265	1,431	1,382	5,0	150,21	156,22	176,7	170,6
0,50	1,502	1,562	1,767	1,706	5,5	181,75	189,02	213,8	206,4
0,55	1,817	1,890	2,138	2,064	6,0	216,30	224,95	254,5	245,6
0,60	2,163	2,249	2,545	2,456	6,5	253,85	264,01	298,6	288,3
0,70	2,944	3,062	3,464	3,343	7,0	294,41	306,19	346,4	334,3
0,80	3,845	3,999	4,524	4,367	7,6	347,04	360,92	408,3	394,1
0,90	4,867	5,061	5,726	5,526	8,2	404,00	420,16	475,3	458,8
1,00	6,008	6,249	7,069	6,823	8,8	465,28	483,89	547,4	528,4
1,10	7,270	7,561	8,553	8,256	9,4	530,89	552,13	624,6	602,9
1,20	8,652	8,998	10,18	9,825	10,0	600,83	624,86	706,9	682,3
1,30	10,154	10,560	11,95	11,53					

Свинцовую пров. см. стр. 1040. **Бронзовую** пров. см. стр. 1042

*) По даннымъ Фельтенъ и Гильомъ (Мюльгеймъ).

**) По даннымъ К. Гекманнъ для неотожженной проволоки. Для отожженной проволоки эти цифры разнятся весьма мало.

НТБ ДНУЗТ

b. Таблица вѣса различныхъ металлическихъ листовъ.

Вѣсъ 1 qm въ kg.

Для полученія вѣса 1 кв. фута въ фунт. помножить цифры таблицы на 0,227,
„ „ „ 1 кв. саж. въ пудахъ „ „ „ „ 0,277,
„ „ „ 1 кв. арш. въ фунт. „ „ „ „ 1,234.

Толщина. mm	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.	Литая сталь и прокатанная сталь.	Чугунъ.	Красная мѣдь.	Желтая мѣдь.	Бронза.	Цинкъ.	Свинецъ.
1	**7,8**	**7,85**	**7,86**	**7,25**	**8,9**	**8,55**	**8,6**	**7,2**	**11,37**
2	15,6	15,70	15,72	14,50	17,8	17,10	17,2	14,4	22,74
3	23,4	23,55	23,58	21,75	26,7	25,65	25,8	21,6	34,11
4	31,2	31,40	31,44	29,00	35,6	34,20	34,4	28,8	45,48
5	39,0	39,25	39,30	36,25	44,5	42,75	43,0	36,0	56,85
6	46,8	47,10	47,16	43,50	53,4	51,30	51,6	43,2	68,22
7	54,6	54,95	55,02	50,75	62,3	59,85	60,2	50,4	79,59
8	62,4	62,80	62,88	58,00	71,2	68,40	68,8	57,6	90,96
9	70,2	70,65	70,74	65,25	80,1	76,95	77,4	64,8	102,33
10	78,0	78,50	78,60	72,50	89,0	85,50	86,0	72,0	113,70
11	85,8	86,35	86,46	79,75	97,9	94,05	94,6	79,2	125,07
12	93,6	94,20	94,32	87,00	106,8	102,60	103,2	86,4	136,44
13	101,4	102,05	102,18	94,25	115,7	111,15	111,8	93,6	147,81
14	109,2	109,90	110,04	101,50	124,6	119,70	120,4	100,8	159,18
15	117,0	117,75	117,90	108,75	133,5	128,25	129,0	108,0	170,55
16	124,8	125,60	125,76	116,00	142,4	136,80	137,6	115,2	181,92
17	132,6	133,45	133,62	123,25	151,3	145,35	146,2	122,4	193,29
18	140,4	141,30	141,48	130,50	160,2	153,90	154,8	129,6	204,66
19	148,2	149,15	149,43	137,75	169,1	162,45	163,4	136,8	216,03
20	156,0	157,00	157,20	145,00	178,0	171,00	172,0	144,0	227,40
21	163,8	164,85	165,06	152,25	186,9	179,55	180,6	151,2	238,77
22	171,6	172,70	172,92	159,50	195,8	188,10	189,2	158,4	250,14
23	179,4	180,55	180,78	166,75	204,7	196,65	197,8	165,6	261,51
24	187,2	188,40	188,64	174,00	213,6	205,20	206,4	172,8	272,88
25	195,0	196,25	196,50	181,25	222,5	213,75	215,0	180,0	284,25
26	202,8	204,10	204,36	188,50	231,4	222,30	223,6	187,2	295,62
27	210,6	211,95	212,22	195,75	240,3	230,85	232,2	194,4	306,99
28	218,4	219,80	220,08	203,00	249,2	239,40	240,8	201,6	318,36
29	226,2	227,65	227,94	210,25	258,1	247,95	249,4	208,8	329,73
30	234,0	235,50	235,80	217,50	267,0	256,50	258,0	216,0	341,10

Удѣльные вѣса вышеприведенныхъ металловъ относительно:

Чугуна	1,076	1,083	1,084	**1**	1,228	1,179	1,186	0,993	1,568
Сварочн. желѣза.	**1**	1,006	1,008	0,929	1,141	1,096	1,103	0,923	1,458

НТБ ДНУЗТ

c. Калибры для тонкихъ листовъ и проволоки.

№ калибра.	Германскій миллиметренный проволочный калибръ. mm	Германскій листовой калибръ. mm	Диллингскій листовой калибръ. mm	Вестфальскій проволочный калибръ. mm	Англійскій листовой и проволочный калибръ. mm	Французскій листовой и проволочный калибръ. mm
0000				11,531		22
000				10,795		22 1/2
00				9,652		23
0		.		8,636	.	24
1	.	5,50	5,50	0,6 7,620	0,6	25
2	0,2	5,00	5,00	0,7 7,213	0,7	26
2/2	0,22			.	.	27
2/4	0,24					28
2/6	0,26					29
2/8	0,28	.	.	.	.	30
3	.	4,50	4,50	. 6,579	0,8	31
3/1	0,31					32
3/4	0,34					33
3/7	0,37	.	.	. .	.	34
4	0,40	4,25	4,25	0,8 6,045	0,9	35
4/5	0,45	.	.	. .	.	36
5	0,50	4,00	4,00	0,9 5,588	1,0	37
5/5	0,55	.	.	. .	.	38
6	0,60	3,75	3,50	1,0 5,154	1,1	39
7	0,70	3,50	3,25	1,1 4,572	1,2	40
8	0,80	3,25	3,00	1,2 4,191	1,3	42
9	0,90	3,00	2,75	1,3 3,759	1,4	44
10	1,0	2,75	2,50	1,4 3,404	1,5	46
11	1,1	2,50	2,25	1,6 3,048	1,6	48
12	1,2	2,25	2,00	. 2,769	1,8	50
13	1,3	2,00	1,85	1,8 2,413	2,0	55
14	1,4	1,75	1,70	2,0 2,108	2,2	60
15	.	1,50	1,55	2,2 1,829	2,4	65
16	1,6	1,375	1,40	2,5 1,651	2,7	70
17	.	1,250	1,25	2,8 1,473	3,0	75
18	1,8	1,125	1,10	3,1 1,245	3,4	80
19		1,000	1,00	3,4 1,067	3,9	85
20	2,0	0,875	0,90	3,8 0,889	4,4	90
21		0,750	0,80	4,2 0,813	4,9	95
21 1/2		0,680	0,70			100

№ калибра.	Германскій миллиметревный проволочный калибръ. mm	Германскій листовой калибръ. mm	Диллингскій листовой калибръ. mm	Вестфальскій проволочный калибръ. mm	Англійскій листовой и проволочный калибръ. mm	Французскій листовой и проволочный калибръ. mm
	2,2	0,625	0,60	4,6	0,711	5,4
	.		0,50	.	.	.
		0,562	0,40	5,5	0,635	5,9
	.	0,500	0,30	6,0	0,559	6,4
	2,5	0,438		7,0	0,508	7,0
		0,375		7,6	0,457	7,6
	.	0,300		8,8	0,406	8,2
	2,8			9,4	0,356	8,8
	.			10,0	0,330	9,4
	.				0,305	10,0
	3,1				0,254	
					0,229	
					0,203	
	3,4				0,178	
					0,127	
					0,102	
	3,7					
	3,8					
	3,9					
	4,0					
	4,2					
	4,4					
	4,6					
	4,8					
	5,0					
	5,5					
	6,0					
	6,5					
	7,0					
	7,5					
	8,0					
	8,5					
	9,0					
	9,5					
	10,0					

Французскій листовой и проволочный калибръ.

№	mm
P- 0.	0,50
P. 1.	0,46
P. 2.	0,42
P. 3.	0,37
P. 4.	0,34
P. 5.	0,30
P. 6.	0,28
P. 7.	0,27
P. 8.	0,25
P. 9.	0,23
P. 10.	0,22
P. 11.	0,20
P. 12	0,18
P. 13.	0,17
P. 14.	0,16
P. 15.	0,15

Англійскій калибръ примѣняется въ Англіи, сѣверной Германіи, Россіи для листовъ, проволоки и шиннаго желѣза; въ южной Германіи—для шиннаго желѣза. По **Диллингскому калибру** работаютъ заводы въ Dillingen и Hayange. **Французскій калибръ** (Jauge de Paris) общеупотребительный во Франціи для проволоки, проволочныхъ гвоздей, въ Германіи для проволочныхъ гвоздей, а въ южной Германіи большею частью также для проволоки.

НТБ ДНУЗТ

A. Желѣзо.

(См. II часть, XIII отдѣлъ, желѣзодѣлательное производство).

a. Подраздѣленіе и свойства.

Числовыя данныя относительно упругости и прочности желѣза см. стр. 334 и слѣд. Цвѣта каленія желѣза см. стр. 313. Удѣльный вѣсъ стр. 975 и слѣд. Химически чистое желѣзо не имѣетъ техническаго примѣненія. По способу выдѣлки, назначенію и содержанію углерода различаютъ:

1. **Доменный чугунъ**, легкоплавокъ, не ковокъ. Продуктъ производства доменной печи (древесно-угольный и коксовый доменный чугунъ), содержаніе углерода 2,3 до 6%. Сѣрый доменный чугунъ употребляется для чугуно-литейнаго производства, при 1200 до 1300° очень жидкоплавокъ, расширяется при охлажденіи, хорошо заполняетъ формы и вслѣдствіе своей мягкости легко обрабатывается напильникомъ и зубиломъ; С частью связанъ химически, отчасти въ видѣ графита. Бѣлый доменный чугунъ употребляется для пудлинговыхъ, бессемеровыхъ, томасовскихъ и мартеновскихъ процессовъ; при 1100 до 1200° густоплавокъ и въ изломѣ кристалличенъ, хрупокъ и твердъ. С связанъ химически. Съ 10 до 20% Mn даетъ зеркальный чугунъ, а съ 25 до 70% Mn—ферромарганецъ. Половинчатый чугунъ составляется изъ сѣраго и бѣлаго доменнаго чугуна.

Для обыкновенныхъ сортовъ чугуна $K_z = 1200$ до 1500 kg/qcm. Гдѣ требуется особая прочность въ отливкахъ, можно составить чугунъ съ $K_z = 1750$ до 2060 kg/qcm. Составъ розличныхъ сортовъ чугуна см. ч. II, отдѣлъ XIII.

2. **Литейный чугунъ** переплавляется въ вагранкахъ, пламенныхъ и тигельныхъ печахъ изъ сѣраго (мягкаго) или половинчатаго (твердаго) доменнаго чугуна для отливокъ въ глиняныя и песчаныя формы, а будучи отливаемъ въ желѣзныя формы даетъ твердый чугунъ. Прибавленіемъ стального лома получается стальная отливка въ формы. При продолжительномъ нагрѣваніи съ рудами, богатыми содержаніемъ кислорода, получается ковкій чугунъ.

Для брусковъ твердаго чугуна по опытамъ Грузонъ K_b=3700 до 4400, а K_z=2200 до 2800 kg/qcm *). Стальныя отливки Круппа (средней мягкости) для машинныхъ частей (зубчатыхъ полосъ, рельсовъ и т. п.) K_z= 500 kg/qcm и удлиненіе φ=20%.

3. **Сварочное желѣзо** сваривается и куется, весьма мало закаливается, получается изъ доменнаго чугуна, пудлингованіемъ въ открытыхъ горнахъ или пламенныхъ печахъ, въ видѣ тѣстообразной массы. Содержаніе С—0,5 до 0,1%, температура плавленія 1500 до 1600°. Волокнистое сварочное желѣзо отличается небольшимъ содержаніемъ С, въ изломѣ матово сѣраго цвѣта, волокнисто. Мелко-зернистое желѣзо содержитъ большее количество углерода; изломъ—свѣтло-сѣрый, мелко-зернистый. Закаленное или цементированное сварочное желѣзо получается при долгомъ накаливаніи вмѣстѣ съ тѣлами, богатыми содержаніемъ углерода; закалка у наружныхъ слоевъ.

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, стр. 730.

НТБ ДНУЗТ

Сварочное желѣзо изготовляется въ видѣ листовъ, проволоки (протянутой и прокатанной), полосового и фасоннаго желѣза.

Измѣненіе сопротивленія при увеличеніи температуры принимается (полагая временное сопротивленіе разрыву при 20° равнымъ 100):

Температура . . .	20	100	200	300	400	500	600	700	800°
Врем. сопротивл. разрыву $K_z =$	100	104	112	116	96	76	42	25	15.

4. **Литое желѣзо** куется, плохо сваривается, не закаливается. Получается въ жидкомъ видѣ въ формѣ болванокъ, какъ бессемеровое, томасовское или мартеновское литое желѣзо. Содержаніе углерода 0,25 до 0,05%, температура плавленія 1350 до 1450°. Изломъ свѣтло-сѣрый, равномѣрно-мелко-зернистый. Сопротивленіе обыкновенно больше сопротивленія сварочнаго желѣза. Употребляется для отливокъ въ формы, большею частью идетъ въ дѣло какъ сварочное желѣзо. О вліяніи температуры на прочность литого желѣза см. стр. 335.

5. **Сваривающаяся сталь** закаливается, куется и сваривается (также и со сварочнымъ желѣзомъ), получается въ видѣ тѣста изъ доменнаго чугуна, богатаго содержаніемъ марганца, при помощи пудлингованія, изъ сварочнаго желѣза посредствомъ продолжительнаго его нагрѣванія съ тѣлами, богатыми содержаніемъ С—какъ цементная сталь (пузырчатая сталь). Посредствомъ проварки пакетовъ изъ доменнаго чугуна и сварочнаго желѣза получается раффинированная сталь. Содержаніе углерода 1,6 до 0,5%, температура плавленія 1300 до 1400°. При быстромъ охлажденіи въ изломѣ мелко-зерниста, тверда и хрупка; при новомъ нагрѣваніи сталь съ увеличеніемъ температуры снова пріобрѣтаетъ бывшую до закалки тягучесть и мягкость, причемъ получаются слѣдующіе цвѣта отпуска:

Нагрѣваніе до 220° блѣдно-желтый, 232° соломенно-желтый, 243° золотисто-желтый, 250° пурпуровый, 266° фіолетовый, 278° темно-пурпуровый, 293° свѣтло-синій, 316° темно-синій. (У сварочнаго желѣза эти цвѣта получаются при болѣе высокихъ температурахъ, у чугуна еще позже).

Сваривающаяся сталь употребляется для листовъ и проволоки, равно и для осталиванія желѣзныхъ инструментовъ.

6. **Литая сталь** ковка, плохо сваривается, закаливается. Получается въ жидкомъ состояніи въ формѣ болванокъ, какъ тигельная, бессемеровая, томасовская или мартеновская сталь. Содержаніе углерода 1,5 до 0,25%, температура плавленія 1300 до 1400°. Изломъ матово-сѣрый, равномѣрно-мелко-зернистый. Прочнѣе остальныхъ сортовъ желѣза. Для лучшихъ инструментовъ только тигельная или вольфрамовая сталь. Граница между литымъ желѣзомъ и сталью при временномъ сопротивленіи разрыву $K_z = 5000$ kg/qcm.

Желѣзо съ содержаніемъ углерода 1,6 до 2,3% для техническихъ цѣлей не примѣняется.

Примѣси, дѣлающія желѣзо нечистымъ.

Силицій (кремній) 0,05 до 0,4% дѣлаетъ ковкое желѣзо ломкимъ при всякой температурѣ и уменьшаетъ его способность свариваться.

НТБ ДНУЗТ

Фосфоръ дѣлаетъ доменный чугунъ жидкимъ и болѣе твердымъ, сварочное желѣзо—холодно-ломкимъ и увеличиваетъ его способность свариваться; прочность отъ присутствія фосфора уменьшается.

Чугунъ съ содержаніемъ фосфора въ 0,5 до 1,5% и свыше долженъ идти въ дѣло для литья лишь смѣшаннымъ съ лучшими сортами. Императорскій оружейный заводъ въ Шпандау разрѣшаетъ для отливокъ содержаніе фосфора въ 1%; для лучшихъ отливокъ этотъ предѣлъ считается нормальнымъ.

Сѣра (и красная мѣдь) уменьшаетъ сопротивленіе доменнаго чугуна и способность свариванія сварочнаго желѣза, дѣлая его красно-ломкимъ; чугунъ дѣлается тугоплавкимъ.

Марганецъ возвышаетъ температуру плавленія доменнаго чугуна (почему цѣлесообразно употреблять его для пудлинговаго процесса) и увеличиваетъ твердость доменнаго чугуна и желѣза. Получается бѣлый (зеркальный) чугунъ.

b. Издѣлія изъ желѣза въ торговлѣ.

1. **Чугунныя колонны.** Раціонально отливать вертикально. Наименьшая толщина стѣнокъ $\delta = 10$ mm, наибольшая не свыше 35 mm, большею частью $\delta \geqq 0{,}1\ D$; гдѣ средній наружній діаметръ $D = 80$ до 400 mm. Наибольшая длина для обыкновенныхъ построекъ не свыше 6 до 7 m (см. таб. стр. 348, 349 и 368).

При сквозныхъ составныхъ колоннахъ (длиною не болѣе 20 m) мѣста соединенія отдѣльныхъ колоннъ должны быть обточены и центрированы при помощи прилитыхъ къ колоннамъ колецъ. Сѣченіе составной колонны увеличивается сверху книзу, см. стр. 348; сѣченіе колонны, имѣющей большую нагрузку, но меньшую высоту, чѣмъ стоящая надъ ней колонна, ни въ какомъ случаѣ не должно быть меньше сѣченія послѣдней. Для помѣщенія потолочныхъ балокъ или фермъ должны быть прилиты боковыя консоли и балки соединены между собою сквозными накладками. Слѣдуетъ избѣгать часто примѣняемаго жесткаго болтового соединенія балокъ съ верхней плитой и соотв. съ консолями, чтобы колонна не участвовала въ небольшихъ движеніяхъ (сотрясеніяхъ и т. д.) балокъ Рекомендуется дѣлать на верхней плитѣ и консоляхъ небольшія направляющія ребра и соединять потолочныя балки между собой посредствомъ сквозныхъ накладокъ (или, по обстоятельствамъ, посредствомъ не оченъ тяжелаго квадрантнаго желѣза); это соединеніе не представляетъ значительнаго препятствія движенію балокъ. При большой нагрузкѣ колонны, для которой основаніе получается 800 mm въ квадратѣ, слѣдуетъ отливать отдѣльную фундаментную плиту.

Колонны въ помѣщеніяхъ, гдѣ происходитъ движеніе людей, дѣлаются діаметромъ $>$ 150 mm и толщиною стѣнокъ $>$ 15 mm. При разсчетѣ необходимо принимать самую невыгодную нагрузку (1 сторона нагружена вполнѣ, а сосѣдняя сторона не нагружена). Расположеніе потолочныхъ балокъ должно быть такое, чтобы передача усилія происходила на колонну по возможности центрально.

2. **Чугунныя трубы,** см. стр. 563 и слѣд. и стр. 1028.

3. **Подферменныя опорныя плиты** для двутавровыхъ балокъ изготовляются изъ чугуна, толщиною 20 до 30 mm, и изъ желѣза толщ. 10 до 15 mm. Площадь, передающая давленіе на кладку, зависитъ отъ величины передаваемаго усилія и допускаемой на каменную кладку нагрузки. Плиты подливаются цементомъ.

4. **Трубы изъ желѣза.** См стр. 572 и слѣд. и 1031.

5. **Трубы Манесмана** прокатываются безъ шва изъ мартеновой или тигельной стали $\sigma_p = 4100$, $K_z = 6200$ kg/qcm, $\varphi = 17$ до 23% *). Германско-Австрійское общество манесмановскихъ трубъ

*) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, стр. 1360.

НТБ ДНУЗТ

(см. стр. 574) изготовляетъ: паровозныя дымогарныя трубы, трубы для котловъ съ уменьшающеюся толщиной стѣнокъ, раструбныя и фланцевыя трубы (для замѣны чугунныхъ) въ газо-, водо- и керосинопроводахъ для низкаго давленія и высокаго давленія отъ 50 до 1000 атм., телеграфные столбы, ружейные стволы, трубы для орудій, сосуды для углекислоты, экипажныя дышла, ваги, полированныя калиброванныя трубы, стальныя трубы для трубчатыхъ инструментовъ разнаго рода.

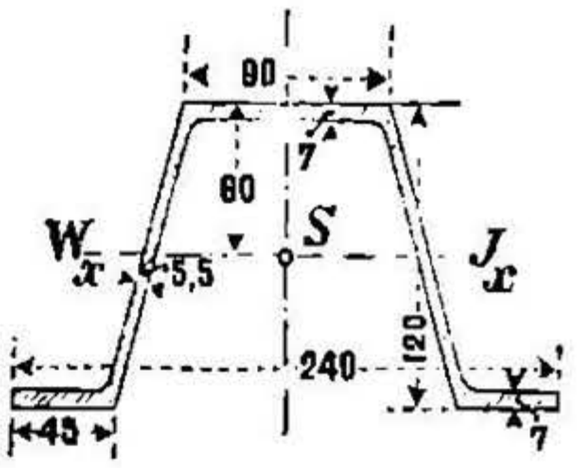
6. **Полосовое желѣзо** (круглое, квадратное, плоское и т. п.) прокатывается или проковывается изъ сварочнаго желѣза въ полосахъ длиною 3 до 6 m, рѣже изъ литого желѣза (хуже сваривается). Желѣзо это дѣлится на сорта въ зависимости отъ качества матеріала. Плоское желѣзо прямоугольнаго сѣченія шириною 10 до 180 mm прокатывается въ калиброванныхъ вальцахъ. При ширинѣ до 600 mm и толщинѣ 5 m и болѣе (лучше всего 10 до 20 mm) желѣзо наз. универсальнымъ. При ширинѣ свыше 600 mm листы выходитъ дешевле. Тонкое полосовое желѣзо, толщиною 5,5 mm ($^1/_4$″) и шириною до 250 mm (10″), продается пакетами (не въ полосахъ) и наз. шиннымъ желѣзомъ. Табл. вѣса полосового желѣза см. стр 990 до 993.

7. **Фасонное желѣзо.** Угловое желѣзо (равнобокое и неравнобокое), тавровое, двутавровое, зетовое, корытное, колонное (квадрантное), желѣзо Зоре (настильное), бимсовое, углобимсы, тавробимсы, поручневое, шестигранное, полукруглое, овальное и т. д. Обыкновенно для этихъ сортовъ употребляютъ волокнистое желѣзо; въ послѣднее время стали употреблять для этой цѣли преимущественно **литое желѣзо.**

На стр. 995 и слѣд. приведены **нормальныя нѣмецкія профили** фасоннаго желѣза, а также тѣ размѣры и профили, которые установлены по **Русскому нормальному метрическому сортаменту 1900 года.**

Длина балокъ 4 до 8 m, для двутавровыхъ балокъ 4 до 10 m; по особому заказу—12 до 16 m, а для двутавровыхъ балокъ 14 до 18 m, можетъ мѣняться на 5 cm, при заказѣ балокъ строго опредѣленной длины допускается разница въ ± 1 cm, при срѣзанныхъ шарошкой торцахъ ± 0,5 cm.

Черт. 819.



Въ нѣкоторыхъ случаяхъ весьма удобно пользоваться профилемъ черт. 819 (Burbacher Hütte въ Саарбрюкенѣ). Площ. 25,1 qcm. Вѣсъ 19,7 kg/m, $J_x = 541$ cm^4, $W_x = 90$ cem.

8. **Проволока** изготовляется изъ сварочнаго и литого желѣза, также изъ литой стали, прокатывается и протягивается; сѣченіе круглое и діаметръ его опредѣляется по калибрамъ (см. стр. 984). Вѣсъ проволоки см. стр. 982. Если сѣченіе проволоки не круглое, а овальное, квадратное, многоугольное и т. п., то проволока наз. профилированной. Временное сопротивленіе разрыву см. стр. 339.

1000 m **телеграфной проволоки** вѣсятъ:
оцинкованной толщиной 6 mm — 215 kg, 5 mm — 150 kg, толщиной 4 mm — 100 kg, 3 mm — 55 kg, 2 mm — 24 kg, 1,7 mm — 18 kg (вязательная).

НТБ ДНУЗТ

Таблица вѣса листового и кровельнаго желѣза.

Вѣсъ qm въ kg (см. стр. 984).

Толщина. mm	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.	Сталь.	Толщина. mm	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.	Сталь.	Толщина. mm	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.	Сталь.
0,30	2,34	2,36	2,36	0,90	7,02	7,07	7,07	2,00	15,6	15,7	15,7
0,375	2,93	2,94	2,95	1,00	7,80	7,85	7,86	2,25	17,6	17,7	17,7
0,40	3,12	3,14	3,14	1,10	8,58	8,64	8,65	2,50	19,5	19,6	19,7
0,438	3,42	3,44	3,44	1,125	8,78	8,83	8,84	2,75	21,5	21,6	21,6
0,50	3,90	3,93	3,93	1,25	9,75	9,81	9,83	3,00	23,4	23,6	23,6
0,562	4,38	4,41	4,42	1,30	10,1	10,2	10,2	3,25	25,4	25,5	25,5
0,60	4,68	4,71	4,72	1,375	10,7	10,8	10,8	3,50	27,3	27,5	27,5
0,625	4,88	4,91	4,91	1,40	10,9	11,0	11,0	3,75	29,3	29,4	29,5
0,68	5,30	5,34	5,34	1,50	11,7	11,8	11,8	4,00	31,2	31,4	31,4
0,70	5,46	5,50	5,50	1,55	12,1	12,2	12,2	4,25	33,2	33,4	33,4
0,75	5,85	5,89	5,90	1,70	13,3	13,3	13,4	4,50	35,1	35,3	35,4
0,80	6,24	6,28	6,29	1,75	13,7	13,7	13,8	5,00	39,0	39,3	39,3
0,875	6,83	6,87	6,88	1,85	14,4	14,5	14,5	5,50	42,9	43,2	43,2

Для получ. вѣса 1 кв. фут. въ рус. фунт. умножить циф. таб. на 0,227
„ „ „ 1 кв. арш. „ „ „ „ „ „ 1,234
„ „ „ 1 кв. саж. „ „ „ „ „ „ 11,106

9. **Кровельное желѣзо** въ Россіи имѣетъ нормальные размѣры 1 арш. на 2 арш. и различается по числу фунтовъ въ одномъ листѣ, которое мѣняется отъ 6 до 14. Число листовъ 2 арш. × 1 арш. въ одной начкѣ въ 5 пудовъ опредѣляется по нижеслѣдующей таблицѣ.

Желѣзо глянцевое.						Кровельное желѣзо.	
№ 1.		№ 2.		№ 3.		Вѣсъ листа въ фунтахъ.	Число листовъ въ 5 пудахъ (пачкѣ).
Листовъ въ пачкѣ.	Вѣсъ листа въ фунт.	Листовъ въ пачкѣ.	Вѣсъ листа въ фунт.	Листовъ въ пачкѣ.	Вѣсъ листа въ фунт.		
13	15 1/2	16	12 1/2	14	14	6 и 7	38 и 33
15	13	18	11	15	13	8	25
16	12 1/2	19	10 1/2	16	12 1/2	9 и 9 1/2	22 — 21
17	12	21	10	17	12	10 — 10 1/2	20 — 19
18	11	22	9 1/8	18	11	11	18
19	10 1/2	23	9	19	10 1/2	12 — 13	16 — 15
20	10	24	8 1/2	20	10	14	14
21	9 1/2	25	8 1/4	21	9 1/8		
22	9	26	8	22	9		
23	8 1/2	27	7 1/2	23	8 1/2		
24	8 1/4	28	7 3/8	24	8 1/4		
25	8	30	7 1/8				
26	7 1/2						
27	7 3/8						

Примѣчаніе. Листовое кровельное желѣзо всѣхъ сортовъ укупоривается въ 5-пудовыя пачки.

НТБ ДНУЗТ

Таблица вѣса

Вѣсъ 1 пог. m

1 cbm прокатнаго (сварочнаго)

Толщина въ mm.	Ширина въ mm.										
	10	12	14	15	16	18	20	22	24	25	26
1	0,078	0,094	0,109	0,117	0,125	0,140	0,156	0,172	0,187	0,195	0,203
2	0,156	0,187	0,218	0,234	0,250	0,281	0,312	0,343	0,374	0,390	0,406
3	0,234	0,281	0,328	0,351	0,374	0,421	0,468	0,515	0,562	0,585	0 608
4	0,312	0,374	0,437	0,468	0,499	0,562	0,624	0,686	0,749	0,780	0,811
5	0,390	0,468	0,546	0,585	0,624	0,702	0,780	0,858	0,936	0,975	1,014
6	0,468	0,562	0,655	0,702	0,749	0,842	0,936	1,030	1,123	1,170	1,217
7	0,546	0,655	0,764	0,819	0,874	0,983	1,092	1,201	1,310	1,365	1,420
8	0,624	0,749	0,874	0,936	0,998	1,123	1,248	1,373	1,498	1,560	1,622
9	0,702	0,842	0,983	1,053	1,123	1,264	1,404	1,544	1,685	1,755	1,825
10	0,780	0,936	1,092	1,170	1,248	1,104	1,560	1,716	1,872	1,950	2,028
11	0,858	1,030	1,201	1,287	1,373	1,544	1,716	1,888	2,059	2,145	2,231
12	0,936	1,123	1,310	1,404	1,498	1,685	1,872	2,059	2,246	2,340	2,434
13	1,014	1,217	1,420	1,521	1,622	1,825	2,028	2,231	2,434	2,535	2,636
14	1,092	1,310	1,529	1,638	1,747	1,966	2,184	2,402	2,621	2,730	2,839
15	1,170	1,404	1,638	1,755	1,872	2,106	2,340	2,574	2,808	2,925	3,042
16	1,248	1,498	1,747	1,872	1,997	2,246	2,496	2,746	2,995	3,120	3,245
17	1,326	1,591	1,856	1,989	2,122	2,387	2,652	2,917	3,182	3,315	3,448
18	1,404	1,685	1,966	2,100	2,246	2,527	2,808	3,089	3,370	3,510	3,650
19	1,482	1,778	2,075	2,223	2,371	2,668	2,964	3,260	3,557	3,705	3,853
20	1,560	1,872	2,184	2,340	2,496	2,808	3,120	3,432	3,741	3,900	4,056
21	1,638	1,966	2,293	2,457	2,621	2,948	3,276	3,604	3,931	4,095	4,259
22	1,716	2,059	2,402	2,574	2,746	3,089	3,432	3,775	4,118	4,290	4,462
23	1,794	2,153	2,512	2,691	2,870	3,229	3,588	3,947	4,306	4,485	4,664
24	1,972	2,246	2,621	2,808	2,995	3,370	3,744	4,118	4,493	4,680	4,867
25	1,950	2,340	2,730	2,925	3,120	3,510	3,900	4,290	4,680	4,875	5,070
26	2,028	2,134	2,839	3,042	3,245	3,650	4,056	4,462	4,867	5,070	5,273
27	2,106	2,527	2,948	3,159	3,370	3,791	4,212	4,633	5,054	5,165	5,476
28	2,184	2,621	3,058	3,276	3,494	3,931	4,368	4,805	5,242	5,360	5,678
29	2,262	2,714	3,167	3,393	3,619	4,072	4,524	4,976	5,420	5,555	5,881
30	2,340	2,808	3,276	3,510	3,744	4,212	4,680	5,148	5,616	5,850	6,084
31	2,418	2,902	3,385	3,627	3,869	4,352	4,836	5,320	5,803	6,045	6,287
32	2,496	2,995	3,494	3,744	3,994	4,493	4,992	5,491	5,990	6,230	6,490
33	2,574	3,089	3,604	3,861	4,118	4,633	5,148	5,663	6,178	6,435	6,692
34	2,652	3,182	3,713	3,978	4,243	4,774	5,304	5,834	6,365	6,630	6,895
35	2,730	3,276	3,822	4,095	4,368	4,914	5,460	6,006	6,552	6,825	7,098
36	2,808	3,370	3,931	4,212	4,493	5,054	5,616	6,178	6,739	7,020	7,300
37	2,886	3,463	4,040	4,329	4,618	5,195	5,772	6,349	6,926	7,215	7,504
38	2,964	3,557	4,150	4,446	4,742	5,335	5,928	6,521	7,114	7,410	7,706
39	3,042	3,650	4,259	4,563	4,867	5,476	6,084	6,692	7,301	7,605	7,909
40	3,120	3,744	4,368	4,680	4,992	5,616	6,240	6,864	7,488	7,800	8,112
41	3,198	3,838	4,477	4,797	5,117	5,756	6,396	7,036	7,675	7,995	8,315
42	3,276	3,931	4,586	4,914	5,242	5,897	6,552	7,207	7,862	8,190	8,518
43	3,354	4,025	4,714	5,031	5,366	6,037	6,708	7,379	8,050	8,385	8,720
44	3,432	4,118	4,805	5,148	5,491	6,178	6,864	7,550	8,237	8,580	8,923
45	3,510	4,212	4,914	5,265	5,616	6,318	7,020	7,722	8,424	8,775	9,126

НТБ ДНУЗТ

полосового желѣза.

въ kg.

желѣза вѣситъ 7800 kg.

Ширина въ mm:											Толщина въ mm.
28	30	32	34	35	36	38	40	42	44	45	
0,218	0,234	0,250	0,265	0,273	0,281	0,296	0,312	0,328	0,343	0,351	1
0,437	0,468	0,499	0,530	0,546	0,562	0,593	0,624	0,655	0,686	0,702	2
0,655	0,702	0,749	0,796	0,819	0,842	0,889	0,936	0,983	1,030	1,053	3
0,874	0,936	0,998	1,061	1,092	1,123	1,186	1,248	1,310	1,373	1,404	4
1,092	1,170	1,248	1,326	1,365	1,404	1,482	1,560	1,638	1,716	1,755	5
1,310	1,404	1,498	1,591	1,638	1,685	1,778	1,872	1,966	2,059	2,106	6
1,529	1,638	1,747	1,856	1,911	1,966	2,075	2,184	2,293	2,402	2,457	7
1,747	1,872	1,997	2,122	2,184	2,246	2,371	2,496	2,621	2,746	2,808	8
1,966	2,106	2,246	2,387	2,457	2,527	2,668	2,808	2,949	3,089	3,159	9
2,184	2,340	2,496	2,652	2,730	2,808	2,964	3,120	3,276	3,432	3,510	10
2,402	2,574	2,746	2,917	3,003	3,089	3,260	3,432	3,604	3,775	3,861	11
2,621	2,808	2,995	3,182	3,276	3,370	3,557	3,744	3,931	4,118	4,212	12
2,839	3,042	3,245	3,448	3,549	3,650	3,853	4,056	4,259	4,462	4,563	13
3,058	3,276	3,494	3,713	3,822	3,931	4,150	4,368	4,586	4,805	4,914	14
3,276	3,510	3,744	3,978	4,095	4,212	4,446	4,680	4,914	5,148	5,265	15
3,494	3,744	3,985	4,243	4,368	4,493	4,742	4,992	5,242	5,491	5,616	16
3,713	3,978	4,243	4,508	4,641	4,774	5,039	5,304	5,569	5,834	5,967	17
3,931	4,212	4,493	4,774	4,914	5,054	5,335	5,616	5,897	6,178	6,318	18
4,150	4,446	4,742	5,039	5,187	5,335	5,632	5,928	6,224	6,521	6,669	19
4,368	4,680	4,992	5,304	5,460	5,616	5,928	6,240	6,552	6,864	7,020	20
4,586	4,914	5,242	5,569	5,733	5,897	6,224	6,552	6,880	7,207	7,371	21
4,805	5,148	5,491	5,834	6,006	6,178	6,521	6,864	7,207	7,550	7,722	22
5,023	5,382	5,741	6,100	6,279	6,458	6,817	7,176	7,535	7,894	8,073	23
5,242	5,616	5,990	6,365	6,552	6,739	7,114	7,488	7,862	8,237	8,424	24
5,460	5,850	6,240	6,630	6,825	7,020	7,410	7,800	8,190	8,580	8,775	25
5,678	6,084	6,481	6,895	7,098	7,301	7,886	8,112	8,518	8,923	9,126	26
5,897	6,318	6,739	7,160	7,371	7,582	8,003	8,424	8,845	9,266	9,477	27
6,115	6,552	6,989	7,426	7,644	7,862	8,299	8,736	9,173	9,610	9,828	28
6,334	6,786	7,238	7,691	7,917	8,143	8,596	9,048	9,500	9,953	10,18	29
6,552	7,020	7,488	7,956	8,190	8,424	8,892	9,360	9,828	10,30	10,53	30
6,770	7,254	7,738	8,221	8,463	8,705	9,188	9,672	10,15	10,64	10,88	31
6,989	7,488	7,987	8,486	8,736	8,986	9,485	9,984	10,48	10,98	11,23	32
7,207	7,722	8,237	8,752	9,009	9,266	9,781	10,30	10,81	11,32	11,59	33
7,426	7,956	8,486	9,017	9,282	9,547	10,08	10,61	11,14	11,67	11,93	34
7,644	8,190	8,736	9,282	9,555	9,828	10,37	10,92	11,47	12,01	12,28	35
7,862	8,424	8,977	9,547	9,828	10,11	10,85	11,23	11,79	12,35	12,64	36
8,081	8,658	9,235	9,812	10,10	10,39	10,97	11,54	12,12	12,70	12,99	37
8,299	8,892	9,485	10,08	10,37	10,67	11,26	11,86	12,45	13,01	13,34	38
8,518	9,126	9,734	10,34	10,65	10,95	11,56	12,17	12,78	13,38	13,69	39
8,736	9,360	9,984	10,61	10,92	11,23	11,86	12,48	13,10	13,73	14,04	40
8,954	9,594	10,23	10,87	11,19	11,51	12,15	12,79	13,43	14,07	14,39	41
9,173	9,828	10,48	11,14	11,47	11,79	12,45	13,10	13,76	14,41	14,74	42
9,391	10,06	10,73	11,40	11,74	12,07	12,74	13,42	14,09	14,76	15,09	43
9,610	10,30	10,98	11,67	12,01	12,35	13,04	13,73	14,41	15,10	15,44	44
9,828	10,53	11,23	11,93	12,28	12,64	13,34	14,04	14,74	15,44	15,79	45

НТБ ДНУЗТ

Толщина въ mm.	Ширина въ mm:										
	46	48	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1	0,359	0,374	0,390	0,429	0,468	0,507	0,546	0,585	0,624	0,663	0,702
2	0,718	0,749	0,780	0,858	0,936	1,014	1,092	1,170	1,248	1,326	1,404
3	1,076	1,123	1,170	1,287	1,404	1,521	1,638	1,755	1,872	1,989	2,106
4	1,435	1,498	1,560	1,716	1,872	2,028	2,184	2,340	2,496	2,052	2,808
	1,794	1,872	1,950	2,145	2,340	2,535	2,730	2,925	3,120	3,315	3,510
6	2,153	2,246	2,340	2,574	2,808	3,042	3,276	3,510	3,744	3,978	4,212
7	2,512	2,621	2,730	3,003	3,276	3,549	3,822	4,095	4,368	4,641	4,914
8	2,870	2,995	3,120	3,432	3,744	4,056	4,368	4,680	4,992	5,304	5,616
9	3,229	3,370	3,510	3,861	4,212	4,563	4,914	5,265	5,616	5,967	6,318
10	3,588	3,744	3,900	4,290	4,680	5,070	5,460	5,850	6,240	6,630	7,020
11	3,947	4,118	4,290	4,710	5,148	5,577	6,006	6,435	6,864	7,293	7,722
12	4,306	4,493	4,680	5,148	5,616	6,084	6,552	7,020	7,488	7,956	8,424
13	4,664	4,867	5,070	5,577	6,084	6,591	7,098	7,605	8,112	8,619	9,126
14	5,023	5,242	5,460	6,006	6,552	7,098	7,644	8,190	8,736	9,282	9,828
15	5,382	5,616	5,850	6,435	7,020	7,605	8,190	8,775	9,360	9,945	10,53
16	5,741	5,990	6,240	6,864	7,488	8,112	8,736	9,360	9,984	11,61	11,23
17	6,100	6,365	6,630	7,293	7,956	8,619	9,282	9,945	10,61	11,27	11,93
18	6,458	6,739	7,020	7,722	8,424	9,126	9,828	10,53	11,23	11,93	12,64
19	6,817	7,114	7,410	8,131	9,092	9,633	10,37	11,11	11,86	12,60	13,34
20	7,176	7,488	7,800	8,580	9,360	10,14	10,92	11,70	12,48	13,26	14,04
21	7,535	7,862	8,190	9,009	9,828	10,65	11,47	12,28	13,10	13,92	14,72
22	7,894	8,237	8,580	9,438	10,30	11,15	12,01	12,87	13,73	14,59	15,44
23	8,252	8,611	8,970	9,867	10,76	11,66	12,56	13,45	14,35	15,25	16,15
24	8,611	8,986	9,360	10,30	11,23	12,17	13,10	14,04	14,98	15,91	17,85
25	8,970	9,360	9,750	10,72	11,70	12,67	13,65	14,62	15,60	16,57	17,55
26	9,329	9,734	10,14	11,15	12,17	13,18	14,20	15,21	16,22	17,24	18,25
27	9,688	10,11	10,53	11,58	12,64	13,69	14,74	15,79	16,85	17,90	18,95
28	10,05	10,48	10,92	12,01	13,10	14,20	15,29	16,38	17,47	18,56	19,66
29	10,40	10,86	11,31	12,42	13,77	14,70	15,83	16,96	18,10	19,23	20,36
30	10,76	11,23	11,70	12,87	14,04	15,21	16,38	17,55	18,72	19,89	21,06
31	11,12	11,61	12,09	13,30	14,51	15,72	16,93	18,13	19,34	20,55	21,76
32	11,48	11,98	12,48	13,73	14,98	16,22	17,47	18,72	19,97	21,22	22,46
33	11,84	12,35	12,87	14,16	15,44	16,73	18,02	19,30	20,59	21,88	23,17
34	12,20	12,73	13,26	14,59	15,91	17,24	18,56	19,89	21,22	22,54	23,87
35	12,56	13,10	13,65	15,01	16,38	17,74	19,11	20,47	21,84	23,20	24,57
36	12,92	13,48	14,04	15,44	16,85	18,25	19,66	21,06	22,46	23,87	25,27
37	13,27	13,85	14,43	15,87	17,32	18,76	20,20	21,64	23,09	24,53	25,97
38	13,63	14,23	14,82	16,30	17,78	19,27	20,75	22,23	23,71	25,19	26,68
39	13,99	14,60	15,21	16,71	18,45	19,77	21,29	22,81	24,34	25,86	27 38
40	14,35	14,98	15,60	17,16	18,72	20,28	21,84	23,40	24,96	26,52	28,08
41	14,71	15,35	15,99	17,59	19,19	20,79	22,39	23,98	25,58	27,18	28,78
42	15,07	15,72	16,38	18,02	19,66	21,29	22,93	24,57	26,21	27,85	29,48
43	15,43	16,10	16,77	18,45	20,12	21,80	23,48	25,15	26,83	28,51	30,19
44	15,79	16,47	17,16	18,88	20,59	22,31	24,02	25,74	27,46	29,17	30,89
45	16,15	16,85	17,55	19,30	21,06	22,81	24,57	26,32	28,08	29,83	31,59

НТБ ДНУЗТ

Ширина въ mm.											Толщина въ mm.
95	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	
0,741	0,780	0,858	0,936	1,014	1,092	1,170	1,248	1,326	1,404	1,482	1
1,482	1,560	1,716	1,872	2,028	2,184	2,340	2,496	2,652	2,808	2,964	2
2,223	2,340	2,574	2,808	3,042	3,276	3,510	3,744	3,978	4,212	4,446	3
2,964	3,120	3,432	3,744	4,056	4,368	4,680	4,992	5,304	5,616	5,928	4
3,705	3,900	4,290	4,680	5,070	5,460	5,850	6,240	6,630	7,020	7,410	5
4,446	4,680	5,148	5,616	6,084	6,552	7,020	7,488	7,956	8,424	8,892	6
5,187	5,460	6,006	6,552	7,098	7,644	8,190	8,736	9,282	9,828	10,37	7
5,928	6,240	6,864	7,488	8,112	8,736	9,360	9,984	10,61	11,23	11,86	8
6,669	7,020	7,722	8,424	9,126	9,828	10,53	11,23	11,93	12,64	13,34	9
7,410	7,800	8,580	9,360	10,14	10,92	11,70	12,48	13,26	14,04	14,82	10
8,151	8,580	9,438	10,30	11,15	12,01	12,87	13,73	14,59	15,44	16,30	11
8,892	9,360	10,30	11,23	12,17	13,10	14,04	14,98	15,91	16,85	17,78	12
9,633	10,14	11,15	12,17	13,18	14,20	15,21	16,22	17,24	18,25	19,27	13
10,37	10,92	12,01	13,10	14,20	15,29	16,38	17,47	18,56	19,66	20,75	14
11,11	11,70	12,87	14,04	15,21	16,38	17,55	18,72	19,89	21,06	22,23	15
11,86	12,48	13,73	14,98	16,22	17,47	18,72	19,97	21,22	22,46	23,71	16
12,60	13,26	14,59	15,91	17,24	18,56	19,89	21,22	22,54	23,87	25,19	17
13,34	14,04	15,44	16,85	18,25	19,66	21,06	22,46	23,87	25,27	26,68	18
14,08	14,82	16,30	17,78	19,27	20,75	22,23	23,71	25,19	26,68	28,16	19
14,82	15,60	17,16	18,72	20,28	21,84	23,40	24 96	26,52	28,c8	29,64	20
15,56	16,38	18,02	19,66	21,29	22,93	24,57	26,21	27,85	29,48	31,12	21
16,30	17,16	18,88	20,59	22,31	24,02	25,74	27,46	29,17	30,89	32,60	22
17,04	17,94	19,73	21,53	23,32	25,14	26,91	28,70	30,50	32,29	34,09	23
17,78	18,72	20,59	22,46	24,34	26,21	28,08	29,95	31,82	33,70	35,57	24
18,52	19,50	21,45	23,40	25,35	27,30	29,25	31,20	33,15	35,10	37,05	25
19,27	20,28	22,31	24,34	26,36	28,39	30,42	32,45	34,48	36,50	38,53	26
20,01	21,06	23,17	25,27	27,38	29,48	31,59	33,70	35,80	37,91	40,01	27
20,75	21,84	24,02	26,21	28,39	30,58	32,76	34,94	37,13	39,31	41,50	28
21,49	22,62	24,88	27,14	29,41	31,67	33,93	36,19	38,45	40,72	42,98	29
22,23	23,40	25,74	28,08	30,42	32,76	35,10	37,44	39,78	42,12	44,46	30
22,97	24,18	26,60	29,02	31,43	33,85	36,27	38,69	41,11	43,52	45,94	31
23,71	24,96	27,46	29,95	32,45	34,94	37,44	39,94	42,43	44,93	47,42	32
24,45	25,74	28,31	30,89	33,46	36,04	38,61	41,18	43,76	46,33	48,91	33
25,19	26,52	29,17	31,82	34,48	37,13	39,78	42,43	45,08	47,74	50,39	34
25,93	27,30	30,03	32,76	35,49	38,22	40,95	43,68	46,41	49,14	51,87	35
26,68	28,08	30,89	33,70	36,50	39,31	42,12	44 93	47,74	50,54	53,35	36
27,41	28,86	31,75	34,63	37,52	40,40	43,29	46,18	49,06	51,95	54,83	37
28,16	29,64	32,60	35,57	38,53	41,50	44,46	47,42	50,39	53,35	56,32	38
28,90	30,42	33,46	36,50	39,55	42,59	45,63	48,67	51,71	54,76	57,80	39
29,64	31,20	34,32	37,44	40,56	43,68	46,80	49,92	53,04	56,16	59,28	40
30,38	31,98	35,18	38,38	41,57	44,77	47,91	51,17	54,37	57,56	60,71	41
31,12	32,76	36,04	39,31	42,59	45,86	49,14	52,42	55,69	58,97	62,24	42
31,86	33,54	36,89	40,25	43,60	46,96	50,31	53,66	57,02	60,37	63,73	43
32,60	34,32	37,75	41,18	44,62	48,05	51,48	54,91	58,34	61,78	65,21	44
33,34	35,10	38,61	42,12	45,63	49,14	52,65	56,16	59,67	63,18	66,69	45

НТБ ДНУЗТ

Таблица вѣса квадратнаго, шестиграннаго и круглаго желѣза.

1 cbm сварочнаго желѣза вѣситъ 7800 kg.

Толщина. mm	Вѣсъ одного пог. метра въ kg. Квадратное.	Шестигранное.	Круглое.	Толщина. mm	Вѣсъ одного пог. метра въ kg. Квадратное.	Шестигранное.	Круглое.	Толщина. mm	Вѣсъ одного пог. метра въ kg. Квадратное.	Шестигранное.	Круглое.
5	0,195	0,169	0,153	50	19,500	16,888	15,315	180	252,720	218,862	198,486
6	0,281	0,243	0,221	52	21,091	18,266	16,565	185	266,955	231,190	209,666
7	0,382	0,331	0,300	54	22,745	19,698	17,864	190	281,580	243,856	221,152
8	0,499	0,432	0,392	56	24,461	21,184	19,211	195	296,595	256,859	232,945
9	0,632	0,547	0,496	58	26,239	22,724	20,608	200	312,000	270,200	245,044
10	0,780	0,676	0,613	60	28,080	24,318	22,054	205	327,795	283,879	257,450
11	0,944	0,817	0,741	62	29,983	25,966	23,549	210	343,980	297,896	270,161
12	1,123	0,973	0,882	64	31,949	27,668	25,093	215	360,555	312,250	283,179
13	1,318	1,142	1,035	66	33,977	29,425	26,685	220	377,520	326,942	296,504
14	1,529	1,324	1,201	68	36,067	31,235	28,327	225	394,875	341,972	310,134
15	1,755	1,520	1,378	70	38,220	33,100	30,018	230	412,620	357,340	324,071
16	1,997	1,729	1,568	72	40,435	35,018	31,758	235	430,755	373,045	338,314
17	2,254	1,952	1,770	74	42,713	36,990	33,547	240	449,280	389,088	352,864
18	2,527	2,189	1,985	76	45,053	39,017	35,384	245	468,195	405,469	367,720
19	2,816	2,439	2,212	78	47,455	41,097	37,271	250	487,500	422,188	382,882
20	3,120	2,702	2,450	80	49,920	43,232	39,207	255	507,195	439,244	398,350
21	3,440	2,979	2,702	85	56,355	48,805	44,261	260	527,280	456,638	414,125
22	3,775	3,269	2,965	90	63,180	54,716	49,621	265	547,755	474,370	430,206
23	4,126	3,573	3,241	95	70,395	60,964	55,288	270	568,620	492,440	446,593
24	4,493	3,891	3,529	100	78,000	67,550	61,261	275	589,875	510,847	463,287
25	4,875	4,222	3,829	105	85,995	74,474	67,540	280	611,520	529,592	480,287
26	5,273	4,566	4,141	110	94,380	81,736	74,126	285	633,555	548,675	497,593
27	5,686	4,924	4,466	115	103,155	89,335	81,018	290	655,980	568,096	515,206
28	6,115	5,296	4,803	120	112,320	97,272	88,216	295	678,795	587,854	533,124
29	6,560	5,681	5,152	125	121,875	105,547	95,720	300	702,000	607,950	551,350
30	7,020	6,080	5,513	130	131,820	114,160	103,531	305	725,595	628,384	569,881
32	7,987	6,917	6,273	135	142,155	123,110	111,648	310	749,580	649,156	588,719
34	9,017	7,809	7,082	140	152,880	132,398	120,072	315	773,955	670,265	607,863
36	10,109	8,754	7,939	145	163,995	142,024	128,801	320	798,720	691,712	627,313
38	11,263	9,754	8,846	150	175,500	151,988	137,837	325	823,875	713,497	647,070
40	12,480	10,808	9,802	155	187,395	162,289	147,180	330	849,420	735,620	667,133
42	13,759	11,916	10,806	160	199,680	172,928	156,828	335	875,355	758,080	687,502
44	15,101	13,078	11,860	165	212,355	183,905	166,783	340	901,680	780,878	708,178
46	16,505	14,294	12,953	170	225,420	195,220	177,044	345	928,395	804,014	729,160
48	17 971	15,564	14,115	175	238,875	206,872	187,612	350	955,500	827,488	750,448

Примѣчаніе. Толщина квадратнаго и шестиграннаго желѣза соотвѣтствуетъ діаметру в п и с а н н а г о круга. Вѣсъ шестиграннаго желѣза составляетъ 0,827 тож. $^5/_6$) вѣса круглаго желѣзо, имѣющаго діаметръ, равный діаметру о п и с а н н а г о круга. Для **литого желѣза** (уд. вѣс. 7,85) вышеуказанныя данныя слѣдуетъ помножить на 1,0064. — Соотвѣтствующіе коэффиціѣнты для другихъ металловъ указаны въ нижней строкѣ стр. 983

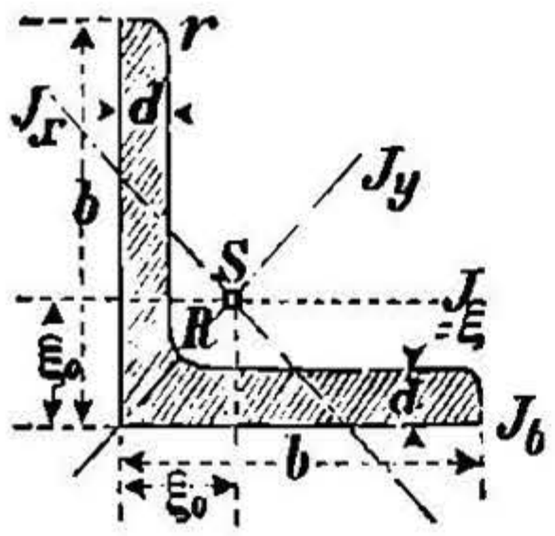
НТБ ДНУЗТ

Нормальныя профили фасоннаго желѣза.

Указанные на стр. 995 до 907 вѣса относятся до сварочнаго желѣза (удѣльный вѣсъ = 7,8); для литого желѣза (уд. вѣс. = 7,85) цифры вѣса необходимо умножить на 1,0064.

Вѣсъ 1 пог. фута въ русск. фунтахъ наход. помнож. на 0,744
1 саж. „ 5,206
1 „ арш. „ „ 1,735

Черт. 820.



1a. Равнобокое угловое желѣзо

по нѣмецкому нормальному сортаменту.

Нормальная длина = 4 до 8 m.
Наибольшая длина = 12 m.
Закругленіе внутри $R = 0{,}5\ (d_{min} + d_{max})$.
Закругленіе полокъ $r = 0{,}5\ R$.
Разст. цен. тяж. $\xi_0 \sim {}^1/_4\ b + 0{,}367\ d$.
Имѣются профили, у которыхъ толщина полокъ на 1 mm больше при той же ширинѣ полки.

№ профиля.	Ширина b. mm	Толщин. d. mm	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ пог. m. kg	Разстояніе центра тяжести η_0 mm	Моменты инерціи. J_b cm⁴	J_ξ cm⁴	$J_y = \max.$ cm⁴	$J_x = \min.$ cm⁴
1½	15	3	0,82	0,64	4,8	0,33	0,15	0,24	0,06
		4	1,05	0,82	5,1	0,46	0,18	0,29	0,08
2	20	3	1,12	0,87	6,0	0,78	0,38	0,62	0,15
		4	1,45	1,13	6,4	1,07	0,48	0,77	0,19
2½	25	3	1,42	1,11	7,3	1,53	0,79	1,27	0,31
		4	1,85	1,44	7,6	2,08	1,00	1,61	0,40
3	30	4	2,27	1,77	8,9	3,5	1,80	2,85	0,76
		6	3,27	2,55	9,6	5,5	2,48	3,91	1,06
3½	35	4	2,67	2,08	10,0	5,6	2,96	4,68	1,24
		6	3,87	3,02	10,8	8,6	4,13	6,50	1,77
4	40	4	3,08	2,40	11,2	8,3	4,47	7,09	1,86
		6	4,48	3,49	12,0	12,8	6,35	9,98	2,67
		8	5,80	4,52	12,8	17,4	7,90	12,4	3,38
4½	45	5	4,30	3,36	12,8	14,9	7,85	12,4	3,25
		7	5,86	4,57	13,6	21,2	10,4	16,4	4,39
		9	7,34	5,73	14,4	27,8	12,6	19,8	5,40
5	50	5	4,80	3,75	14,0	20,4	11,0	17,4	4,59
		7	6,56	5,12	14,9	29,0	14,5	23,1	6,02
		9	8,24	6,43	15,6	38,0	17,9	28,1	7,67
5½	55	6	6,31	4,92	15,6	32,8	17,3	27,4	7,24
		8	8,23	6,42	16,4	44,2	22,1	34,8	9,35
		10	10,07	7,85	17,2	56,0	26,3	41,4	11,27
6	60	6	6,91	5,39	16,9	42,5	22,7	36,1	9,43
		8	9,03	7,04	17,7	57,5	29,2	46,1	12,1
		10	11,07	8,63	18,5	72,8	34,8	55,1	14,6

НТБ ДНУЗТ

№ профили.	Ширина b. mm	Толщина d. mm	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ пог. m. kg	Разстояніе центра тяжести ξ_0 mm	Моментъ инерціи. J_b cm⁴	J_ξ cm⁴	$J_y = \max.$ cm⁴	$J_x = \min.$ cm⁴
6½	65	7	8,7	6,8	18,5	63	33,4	53,0	13,8
		9	11,0	8,6	19,3	82	41,3	65,4	17,2
		11	13,2	10,3	20,0	101	48,7	76,8	20,7
7	70	7	9,4	7,3	19,7	79	42,3	67,1	17,6
		9	11,9	9,3	20,5	102	52,5	83,1	22,0
		11	14,3	11,1	21,3	126	62,0	97,6	26,0
7½	75	8	11,5	8,9	21,3	111	59,0	93,3	24,4
		10	14,1	11,0	22,1	140	71,0	113	29,8
		12	16,7	13,0	22,9	170	82,5	130	34,7
8	80	8	12,3	9,6	22,6	135	72,0	115	29,6
		10	15,1	11,8	23,4	170	87,5	139	35,9
		12	17,9	13,9	24,1	206	102	161	43,0
9	90	9	15,5	12,1	25,4	216	116	184	47,8
		11	18,7	14,6	26,2	266	138	218	57,1
		13	21,8	17,0	27,0	317	158	250	65,9
10	100	10	19,2	14,9	28,2	329	177	280	73,3
		12	22,7	17,7	29,0	398	207	328	86,2
		14	26,2	20,4	29,8	468	235	372	98,3
11	110	10	21,2	16,5	30,7	438	239	379	98,6
		12	25,1	19,6	31,5	529	280	444	116
		14	29,0	22,6	32,1	621	319	505	133
12	120	11	25,4	19,8	33,6	626	340	541	140
		13	29,7	23,2	34,4	745	393	625	162
		15	33,9	26,5	35,1	864	445	705	186
13	130	12	30,0	23,4	36,4	869	472	750	194
		14	34,7	27,0	37,2	1020	540	857	223
		16	39,3	30,6	38,0	1171	604	959	251
14	140	13	35,0	27,3	39,2	1175	638	1014	262
		15	40,0	31,2	40,0	1363	723	1148	298
		17	45,0	35,1	40,8	1554	805	1276	334
15	150	14	40,3	31,4	42	1559	845	1343	347
		16	45,7	35,7	43	1790	949	1507	391
		18	51,0	39,9	44	2023	1052	1665	438
16	160	15	46,1	35,9	45	2027	1099	1745	453
		17	51,8	40,4	46	2308	1225	1945	506
		19	57,5	44,9	47	2590	1348	2137	558

НТБ ДНУЗТ

1b. Равнобокое угловое желѣзо

по Русскому метрическому нормальному сортаменту (см. черт. 820).

$R = 0{,}5\,(d_{\min} + d_{\max})$; $r = 0{,}5\,R$.

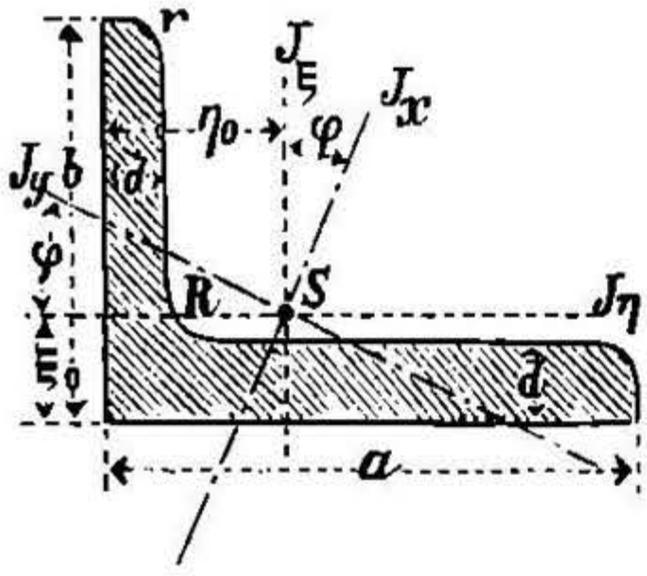
№№ проф.	Ширина b. mm	Толщ. d. mm	Ближайшій переводъ размѣровъ въ дюймы. b	Ближайшій переводъ размѣровъ въ дюймы. d	Площ. проф. ω cm²	Вѣсъ погон. метра. g kg	Разст. центра тяж. ξ_0 cm	Моменты инерціи. J_b cm⁴	J_ξ cm⁴	J_y cm⁴	J_x cm⁴
1½	15	3	19/32	1/8	0,82	0,64	0,47	0,338	0,1528	0,2397	0,0659
		4		5/32	1,05	0,82	0,51	0,465	0,1897	0,2921	0,0873
2	20	3	25/32	1/8	1,12	0,88	0,60	0,793	0,392	0,6185	0,1651
		4		5/32	1,45	1,14	0,64	1,08	0,492	0,771	0,2124
2½	25	3	1	1/8	1,43	1,12	0,72	1,535	0,798	1,262	0,3333
		4		5/32	1,86	1,46	0,76	2,084	1,012	1,597	0,4273
		5		3/16	2,27	1,78	0,80	2,646	1,206	1,888	0,5241
3	30	3	1 3/16	1/8	1,73	1,36	0,84	2,654	1,424	2,26	0,590
		4		5/32	2,26	1,77	0,88	3,59	1,824	2,884	0,764
		5		3/16	2,77	2,17	0,92	4,54	2,183	3,44	0,925
3½	35	4	1 3/8	5/32	2,67	2,10	1,00	5,64	2,954	4,68	1,227
		5		3/16	3,28	2,57	1,04	7,13	3,564	5,64	1,493
		6		1/4	3,87	3,04	1,08	8,65	4,13	6,50	1,754
4	40	4	1 19/32	5/32	3,08	2,42	1,12	8,33	4,47	7,09	1,859
		5		3/16	3,79	2,97	1,16	10,54	5,43	8,59	2,263
		6		1/4	4,48	3,52	1,20	12,78	6,31	9,98	2,654
		7		9/32	5,15	4,04	1,24	15,06	7,14	11,24	3,040
		8		5/16	5,80	4,55	1,28	17,37	7,91	12,4	3,434
4½	45	5	1 25/32	3/16	4,30	3,37	1,28	14,95	7,87	12,48	3,27
		6		1/4	5,09	4,00	1,32	18,11	9,19	14,55	3,84
		7		9/32	5,86	4,60	1,36	21,31	10,43	16,47	4,39
		8		5/16	6,61	5,19	1,40	24,56	11,60	18,25	4,95
5	50	5	2	3/16	4,80	3,77	1,40	20,43	10,96	17,38	4,55
		6		1/4	5,69	4,47	1,44	24,74	12,85	20,34	5,35
		7		9/32	6,56	5,15	1,48	29,10	14,62	23,10	6,13
		8		5/16	7,41	5,82	1,52	33,50	16,28	25,70	6,87
		9		23/64	8,24	6,47	1,56	37,96	17,86	28,10	7,63
5½	55	6	2 3/16	1/4	6,31	4,95	1,56	32,7	17,3	27,4	7,19
		7		9/32	7,28	5,71	1,60	38,46	19,73	31,2	8,22
		8		5/16	8,23	6,46	1,64	44,3	22,04	34,8	9,24
		9		23/64	9,16	7,19	1,68	50,2	24,24	38,2	10,25
		10		25/64	10,07	7,90	1,72	56,1	26,3	41,4	11,26
6	60	6	2 3/8	1/4	6,91	5,42	1,69	42,5	22,84	36,15	9,53
		7		9/32	7,98	6,26	1,73	49,9	26,05	41,3	10,82
		8		5/16	9,03	7,09	1,77	57,4	29,16	46,15	12,16
		9		23/64	10,06	7,90	1,81	65,0	32,1	50,7	13,5
		10		25/64	11,07	8,69	1,85	72,6	34,9	55,1	14,8

НТБ ДНУЗТ

№№ проф.	Ширина b. mm	Толщ. d. mm	Ближайшій переводъ размѣровъ въ дюймы. b	Ближайшій переводъ размѣровъ въ дюймы. d	Площ. проф. ω cm²	Вѣсъ погон. метра. g kg	Разст. центра тяж. z_0 cm	Моменты инерціи. J_b cm⁴	Моменты инерціи. J_ξ cm⁴	Моменты инерціи. J_y cm⁴	Моменты инерціи. J_x cm⁴
		6		1/4	7,51	5,89	1,81	54,0	29,36	46,6	12,14
		7		9/32	8,68	6,81	1,85	63,4	33,6	53,3	13,9
6 1/2	65	8	2 9/16	5/16	9,83	7,72	1,89	72,9	37,66	59,7	15,63
		9		23/64	10,96	8,60	1,93	82,5	41,5	65,7	17,34
		10		25/64	12,07	9,47	1,97	92,1	45,2	71,5	19,03
		7		9/32	9,39	7,37	1,97	79,0	42,4	67,3	17,53
		8		5/16	10,64	8,35	2,02	90,8	47,6	75,5	19,7
7	70	9	2 3/4	23/64	11,87	9,32	2,06	102,7	52,6	83,3	21,9
		10		25/64	13,08	10,27	2,09	114,7	57,3	90,7	24,0
		8		5/16	11,47	9,00	2,13	110,9	58,9	93,3	24,4
		9		23/64	12,80	10,05	2,17	125,5	65,1	103,2	27,1
7 1/2	75	10	2 31/32	25/64	14,11	11,08	2,21	140,2	71,2	112,7	29,7
		11		7/16	15,40	12,09	2,25	155,0	77,0	121,7	32,3
		12		15/32	16,67	13,09	2,29	170,0	82,6	130,3	34,86
		8		5/16	12,27	9,63	2,25	134,6	72,5	114,6	30,4
		9		23/64	13,70	10,75	2,30	152,2	79,8	126,9	32,65
8	80	10	3 5/32	25/64	15,11	11,86	2,34	170,0	87,2	138,6	35,8
		11		7/16	16,50	12,95	2,37	187,8	95,1	149,9	40,3
		12		15/32	17,87	14,03	2,41	205,8	102,0	160,7	43,26
		9		23/04	15,52	12,18	2,54	215,9	115,7	183,8	47,7
		10		25/64	17,13	13,45	2,58	241,0	127,0	201,3	52,5
9	90	11	3 9/16	7/16	18,72	14,69	2,62	266,0	137,6	218,0	57,1
		12		15/32	20,29	15,93	2,66	291,5	148,0	234,4	61,4
		13		1/2	21,84	17,14	2,70	317,0	157,8	250,0	65,5
		9		23/64	17,36	13,63	2,78	294,5	160,3	255	65,7
		10		25/64	19,17	15,05	2,82	328,7	176,3	280	72,7
		11		7/16	20,96	16,45	2,86	363,0	191,6	304	79,3
10	100	12	3 15/16	15/32	22,73	17,84	2,90	397,6	206,4	327	85,7
		13		1/2	24,48	19,22	2,94	432	220,7	349,6	91,8
		14		9/16	26,21	20,57	2,98	467	234,5	371	97,6
		15		19/32	27,92	21,92	3,02	502	247,7	392	103,1
		16		5/8	29,61	23,24	3,05	538	262	412,5	112,0
		10		25/64	23,18	18,20	3,31	567	313,5	497	130
		12		15/33	27,54	21,62	3,40	685	367	584	150,4
12	120	14	4 23/32	9/16	31,82	24,98	3,48	804	419	666	172
		16		5/8	36,02	28,28	3,55	924	470	743	197,3
		12		15/32	32,37	25,41	3,89	1086	596	947	245
14	140	14	5 1/2	9/16	37,45	29,40	3,97	1273	683	1084	281,3
		16		5/8	42,45	33,32	4,05	1462	765	1215	315,8

НТБ ДНУЗТ

Черт. 821.



2a. Неравнобокое угловое желѣзо по нѣмецкому нормальному сортаменту.

Нормальная длина = 4 до 8 m.
Наибольшая длина = 12 m.
Закругленіе внутренняго угла $R = 0{,}5\ (d_{min} + d_{max})$
Закругленіе полокъ $r = 0{,}5\ R$.

Промежуточныя профили, у которыхъ толщина полокъ на 1 mm больше, можно имѣть по заказу.

i (въ mm) представляетъ то разстоян е въ свѣту между двумя неравнобокими угольниками ⌊⌊, при которомъ оба главные момента инерціи между собой равны (=2 J_ξ).

№ профил.	Размѣръ въ mm. b	a	d	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ пог. m. kg	Разстояніе. центра тяжести ξ_0 mm	η_0 mm	tg φ	Моменты инерціи. J_ξ cm⁴	J_η cm⁴	$J_x = max$ cm⁴	$J_y = min$ cm⁴	mm
Соотношеніе ширины полокъ 2 : 3.													
2/3	20	30	3	1,42	1,11	4,9	9,9	0,4216	1,25	0,45	1,42	0,28	5,2
			4	1,85	1,44	5,4	10,3	0,4214	1,60	0,55	1,82	0,33	4,3
3/4 1/2	30	45	4	2,87	2,24	7,4	14,8	0,4334	5,77	2,05	6,63	1,19	8,0
			5	3,53	2,75	7,8	15,2	0,4288	6,99	2,46	8,01	1,44	7,1
4/6	40	60	5	4,79	3,74	9,7	19,5	0,4319	17,3	6,20	19,8	3,66	11,0
			7	6,55	5,11	10,5	20,4	0,4275	22,8	8,10	26,3	4,63	9,0
5/7 1/2	50	75	7	8,33	6,50	12,4	24,7	0,4304	46,3	16,4	53,1	9,58	13,1
			9	10,5	8,20	13,2	25,6	0,4272	57,2	20,1	65,4	11,9	11,2
6 1/2/10	65	100	9	14,2	11,0	15,9	33,1	0,4101	140	46,6	160	26,8	19,5
			11	17,1	13,3	16,7	34,0	0,4074	167	55,3	189	32,9	17,7
8/12	80	120	10	19,1	14,9	19,5	39,2	0,4348	276	97,9	317	56,8	22,1
			12	22,7	17,7	20,2	40,0	0,4304	323	115	370	67,5	20,1
10/15	100	150	12	28,7	22,4	24,2	48,9	0,4361	649	232	747	134	27,8
			14	33,2	25,9	25,0	49,7	0,4339	744	263	854	153	26,1
Соотношеніе ширины полокъ 1 : 2.													
2/4	20	40	3	1,72	1,34	4,4	14,3	0,2575	2,81	0,46	2,96	0,31	14,6
			4	2,25	1,76	4,8	14,7	0,2528	3,58	0,60	3,78	0,40	13,4
3/6	30	60	5	4,29	3,35	6,8	21,5	0,2544	15,6	2,61	16,5	1,71	21,2
			7	5,85	4,56	7,6	22,4	0,2479	20,6	3,42	21,8	2,28	19,1
4/8	4	80	6	6,89	5,37	8,8	28,5	0,2568	44,9	7,66	47,6	4,99	28,9
			8	9,01	7,03	9,6	29,4	0,2518	57,5	9,70	60,8	6,41	26,9
5/10	50	100	8	11,5	8,93	11,	35,0	0,2565	116	19,0	123	12,8	35,5
			10	14,1	11,0	12,0	36,7	0,2658	141	23,5	150	14,6	33,7
6 1/2/13	65	130	10	18,6	14,5	14,5	46,5	0,2569	320	54,4	339	35,4	46,6
			12	22,1	17,2	15,3	47,5	0,2549	374	62,8	395	41,3	44,4
8/16	80	16	12	27,5	21,5	17,7	57,2	0,2586	719	122	762	79,4	57,8
			14	31,8	24,8	18,5	58,1	0,2679	822	139	875	86,0	55,7
10/20	100	200	14	40,3	31,4	21,8	71,2	0,2608	1654	282	1754	182	73,1
			16	45,7	35,6	22,6	72,0	0,2586	1863	315	1973	205	71,2

НТБ ДНУЗТ

2b. Неравнобокое угловое желѣзо

по Русскому метрическому нормальному сортаменту (см. черт. 821).

$R = 0{,}5 \quad (d_{\min} + d_{\max})$; $\quad r = 0{,}5\ R.$

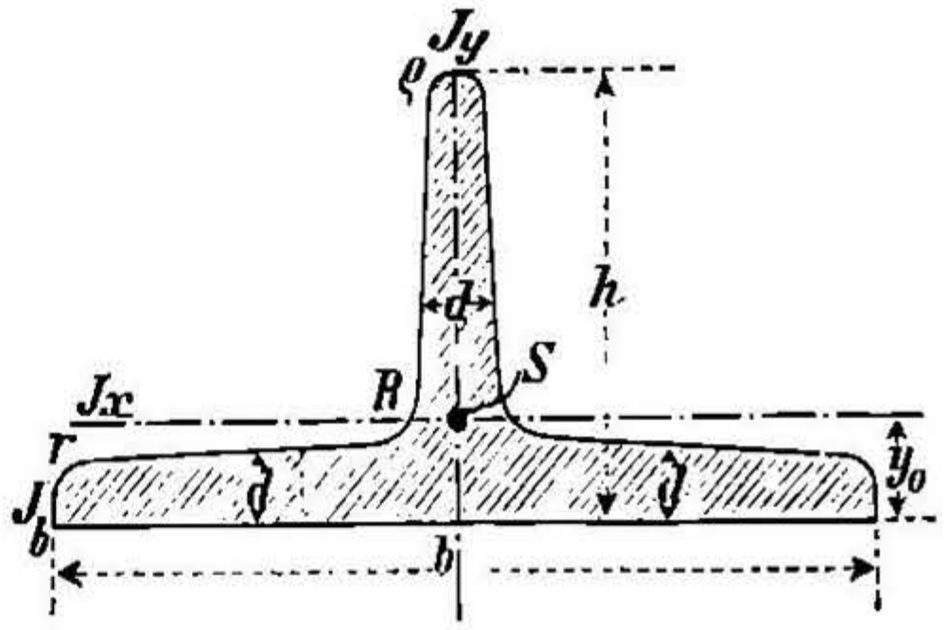
№№ проф.	Размѣры въ mm.			Ближайшій переводъ размѣровъ въ дюймы.			Площ. проф.	Вѣсъ погон. метра.	Разстояніе центра тяжести.		Моменты инерціи.			
	a	b	d	a	b	d	ω cm²	g kg	ξ_0 cm	η_0 cm	J_b cm⁴	J_a cm⁴	J_ξ cm⁴	J_η cm⁴
3/2	30	20	3	$1\frac{3}{16}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{1}{8}$	1,42	1,11	0,50	0,99	2,66	0,802	1,267	0,447
			4			$\frac{5}{32}$	1,85	1,45	0,54	1,03	3,58	1,101	1,597	0,561
4/2	40	20	4	$1\frac{9}{16}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{5}{32}$	2,26	1,17	0,48	1,46	8,41	1,112	3,586	0,593
			5			$\frac{3}{16}$	2,77	2,17	0,52	1,50	10,57	1,452	4,34	0,706
4½/3	45	30	4	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{16}$	$\frac{5}{32}$	2,87	2,25	0,74	1,47	11,95	3,584	5,74	2,03
			6			$\frac{1}{4}$	4,17	3,27	0,81	1,55	18,16	5,59	8,08	2,83
5/2½	50	25	5	2		$\frac{3}{16}$	3,54	3,78	0,60	1,82	20,48	2,606	8,74	1,336
			7			$\frac{9}{32}$	4,80	3,77	0,67	1,91	28,95	4,07	11,52	1,89
6/3	60	30	6	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	5,09	4,00	0,72	2,19	42,5	5,62	18,13	2,986
			8			$\frac{5}{16}$	6,61	5,19	0,80	2,27	57,14	7,95	22,97	3,75
6/4	60	40	6	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	5,69	4,47	1,01	1,99	42,6	12,84	20,06	7,07
			8			$\frac{5}{16}$	7,41	5,82	1,08	2,07	57,3	17,63	25,5	8,91
7½/5	75	50	6	$2\frac{15}{16}$	2	$\frac{1}{4}$	7,21	5,66	1,20	2,43	84,6	24,75	42,2	14,33
			8			$\frac{5}{16}$	9,43	7,40	1,28	2,51	111,4	33,77	51,9	18,27
			10			$\frac{25}{64}$	11,57	9,08	1,36	2,59	140,2	43,2	62,5	21,84
8/4	80	40	6	$3\frac{1}{8}$	$1\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	6,91	5,42	0,88	2,84	100,6	12,88	44,8	7,52
			8			$\frac{5}{16}$	9,03	7,09	0,96	2,93	135	17,89	57,5	9,55
			10			$\frac{25}{64}$	11,07	8,69	1,04	3,01	169,7	23,3	69,1	11,36
9/6	90	60	8	$3\frac{9}{16}$	$2\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	11,45	8,99	1,48	2,95	192,0	57,6	92,1	32,65
			10			$\frac{25}{64}$	14,09	11,06	1,56	3,04	241,4	73,4	111,4	39,3
10/5	100	50	8	$3\frac{15}{16}$	2	$\frac{5}{16}$	11,45	8,99	1,12	3,59	263,3	34,0	116,0	19,53
			10			$\frac{25}{64}$	14,09	11,06	1,20	3,67	330,6	43,84	140,6	23,42
10/6½	100	65	8	$3\frac{15}{16}$	$2\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$	12,65	9,93	1,56	3,28	263,5	73,2	127,1	42,5
			10			$\frac{25}{64}$	15,59	12,24	1,64	3,37	331,0	93,0	154,3	51,2
12/8	120	80	10	$4\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{8}$	$\frac{25}{64}$	19,13	15,02	1,95	3,92	570	170,7	275,6	98,2
			12			$\frac{15}{32}$	22,69	17,81	2,03	4,00	686	207,5	323	114,3
			10			$\frac{25}{64}$	20,65	16,21	2,02	4,24	723	203,8	351	119,1
13/8½	130	85	12	$5\frac{1}{8}$	$3\frac{9}{16}$	$\frac{15}{32}$	24,51	19,24	2,10	4,32	871	247,6	412	139
			14			$\frac{9}{16}$	28,29	22,21	2,18	4,41	1020	292,5	470	158
			10			$\frac{25}{64}$	21,63	16,98	1,61	5,32	1113	142	501	85,8
15/7½	150	75	12	$5\frac{15}{16}$	$2\frac{15}{16}$	$\frac{15}{32}$	25,69	20,17	1,69	5,41	1340	173,6	589	99,9
			11			$\frac{7}{16}$	26,47	20,80	2,38	4,84	1222	365	601	215
15/10	150	100	13	$5\frac{15}{16}$	$3\frac{15}{16}$	$\frac{1}{2}$	30,99	24,33	2,46	4,93	1450	435	697	248,3
			15			$\frac{19}{32}$	35,43	27,81	2,53	5,01	1678	507	789	280
16/8	160	80	12	$6\frac{5}{16}$	$3\frac{1}{8}$	$\frac{15}{32}$	27,54	21,62	1,77	5,72	1620	208,5	719	122
			14			$\frac{9}{16}$	31,82	24,98	1,85	5,80	1896	247,6	823	138,6

НТБ ДНУЗТ

3а. Тавровое желѣзо по нѣмецкому нормальному сортаменту.

Нормальная длина=4 до 8 m.
Наибольшая длина=12 m.
Закругленія въ углахъ $R=d$.
„ на конц. подошвы $r=0{,}5\ d$.
„ на концѣ шейки $\rho=0{,}25\ d$.
Уклоны для профилей съ широкой подошвой: стороны шейки по 4%; стороны подошвы по 2%.
Уклоны для тавровъ съ высокой шейкой: стороны шейки и подошвы по 2%.
Толщина d измѣрена на разстояніи $^1/_2\ h$ и $^1/_4\ b$ отъ концовъ сѣченія.

Черт. 822.



Примѣчаніе. Вѣсъ 1 пог. фут. въ рус. фунт. наход. умнож. цифръ табл. на 0,744
„ „ саж. „ „ „ „ „ „ „ „ 5,206
„ „ арш. „ „ „ „ „ „ „ „ 1,735.

№ профили.	Ширина b mm	Высота h mm	Толщина d mm	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ пог. метра. kg	Разстояніе центра тяжести y_0 mm	Моменты инерціи. J_b cm⁴	J_x cm⁴	J_y cm⁴
Низкое тавровое желѣзо. $b:h=2:1$.									
6/3	60	30	5,5	4,64	3,62	6,7	4,69	2,58	8,62
7/3½	70	35	6	5,94	4,63	7,7	8,00	4,49	15,1
8/4	80	40	7	7,91	6,17	8,8	13,9	7,81	28,5
9/4½	90	45	8	10,2	7,93	10,0	22,9	12,7	46,1
10/5	100	50	8,5	12,0	9,38	10,9	33,0	18,7	67,7
12/6	120	60	10	17,0	13,2	13,0	66,5	38,0	137
14/7	140	70	11,5	22,8	17,8	15,1	121	68,9	258
16/8	160	80	13	29,5	23,0	17,2	204	117	422
18/9	180	90	14,5	37,0	28,8	19,3	323	185	670
20/10	200	100	16	45,4	35,4	21,4	486	277	1000
Высокое тавровое желѣзо. $b:h=1:1$.									
2/2	20	20	3	1,12	0,87	5,8	0,76	0,38	0,20
2½/2½	25	25	3,5	1,64	1,28	7,3	1,74	0,87	0,43
3/3	30	30	4	2,26	1,76	8,5	3,35	1,72	0,87
3½/3½	35	35	4,5	2,97	2,32	9,9	6,01	3,10	1,57
4/4	40	40	5	3,77	2,94	11,2	10,0	5,28	2,58
4½/4½	45	45	5,5	4,67	3,64	12,6	15,5	8,13	4,01
5/5	50	50	6	5,66	4,42	13,9	23,0	12,1	6,06
6/6	60	60	7	7,94	6,19	16,6	45,7	23,8	12,2
7/7	70	70	8	10,6	8,27	19,4	84,4	44,5	22,1
8/8	80	80	9	13,6	10,6	22,2	141	73,7	37,0
9/9	90	90	10	17,1	13,3	24,8	224	119	58,5
10/10	100	100	11	20,9	16,3	27,4	336	179	88,3
12/12	120	120	13	29,6	23,1	32,8	684	366	178
14/14	140	140	15	39,9	31,1	38,0	1236	660	330

НТБ ДНУЗТ

3b. Низкое тавровое желѣзо

по Русскому метрическому нормальному сортаменту (см. черт. 822).

$$h = \frac{b}{2}; \quad R = d; \quad r = \frac{d}{2}; \quad \varrho = \frac{d}{4}.$$

Уклонъ вертикальныхъ реберъ 2%
„ горизонтальныхъ „ 4%.

№№ проф.	Размѣры въ mm.			Ближайшій переводъ размѣровъ въ дюймы.			Площ. проф.	Вѣсъ погон. метра.	Разст. центра тяж.	Моменты инерціи.		
	b	h	d	b	h	d	ω cm²	g kg	y_0 cm	J_b cm⁴	J_x cm⁴	J_y cm⁴
5/2,5	50	25	5	2	1	3/16	3,52	2,76	0,59	2,65	1,407	4,82
6/3	60	30	6	2 3/8	1 3/16	1/4	5,06	3,97	0,71	5,49	2,92	9,99
7/3,5	70	35	6	2 3/4	1 3/8	1/4	5,95	4,67	0,79	8,48	4,76	15,77
8/4	80	40	7	3 1/8	1 9/16	9/32	7,92	6,22	0,91	14,82	8,26	27,5
9/4,5	90	45	8	3 9/16	1 13/16	5/16	10,18	7,99	1,03	24,2	13,4	44,8
10/5	100	50	9	4	2	5/16	12,72	9,99	1,15	37,4	20,64	69,1
12/6	120	60	10	4 3/4	2 3/8	3/8	17,02	13,36	1,34	70,9	40,1	132,2
13/6,5	130	65	10	5 1/8	2 9/16	3/8	18,50	14,52	1,42	89,0	51,6	167,5
14/7	140	70	12	5 1/2	2 3/4	1/2	23,80	18,68	1,58	135,7	76,1	252,3
16/8	160	80	13	6 5/16	3 1/8	1/2	29,53	23,18	1,78	217,5	124,1	407,0

3c. Высокое тавровое желѣзо

по Русскому метрическому нормальному сортаменту (см. черт. 822).

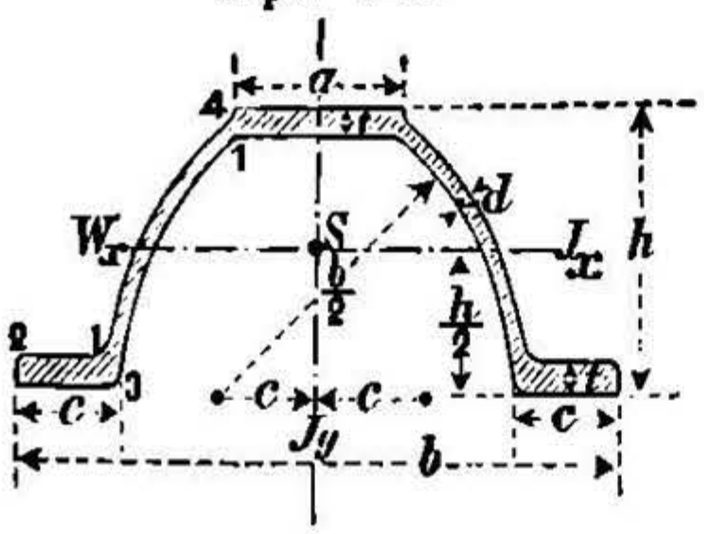
$$h = b; \quad R = d; \quad r = \frac{d}{2}; \quad \varrho = \frac{d}{4}.$$

Уклонъ вертикальныхъ и верхнихъ горизонтальныхъ реберъ 2%.

№№ проф.	Размѣры въ mm.			Ближайшій переводъ размѣровъ въ дюймы.			Площ. проф.	Вѣсъ погон. метра.	Ра ст. центра тяж.	Моменты инерціи.		
	b	h	d	b	h	d	ω cm²	g kg	y_0 cm	J_b cm⁴	J_x cm⁴	J_y cm⁴
2,5/2,5	25	25	3,5	1	1	5/32	1,64	1,29	0,72	1,71	0,863	0,439
3,5/3,5	35	35	4,5	1 3/8	1 3/8	3/16	2,96	2,32	0,99	5,98	3,08	1,545
4,5/4,5	45	45	5,5	1 3/4	1 3/4	7/32	4,67	3,67	1,26	15,44	8,05	4,01
5/5	50	50	6	2	2	1/4	5,66	4,44	1,38	23,06		5,99
7/7	70	70	8	2 3/4	2 3/4	5/16	10,59	8,31	1,93	83,9	44,3	21,9
8/8	80	80	9	3 5/32	3 5/32	11/32	13,63	10,67	2,20	140,6	74,6	36,8
9/9	90	90	10	3 9/16	3 9/16	3/8	17,05	13,38	2,47	222	118	58,2

НТБ ДНУЗТ

Черт. 823.



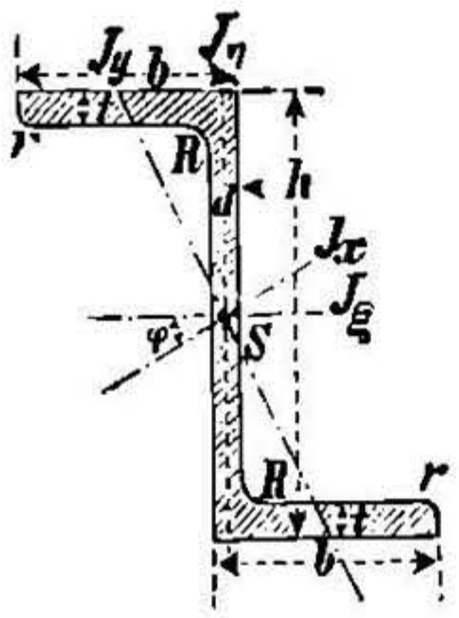
4. Желѣзо Зоре.

Нормальная длина = 4 до 8 m.
Наибольшая длина = 12 m.

Закругленіе у 1 радіусомъ = t.
„ 2 „ = d.
„ 3 „ = $d - 0{,}5$ mm.
„ 4 „ = $0{,}6\,d + 1{,}3$ mm.

№ профили.	Высота h. mm	Ширина. Внизу b. mm	Наверху a. mm	у подошвы c. mm	Толщина. Стѣнки d. mm	t у под. и головки. mm	Сѣченіе. qcm	Вѣс. пог. метра. kg	Моментъ инерціи. J_y. cm⁴	J_x. cm⁴	Моментъ сопротивленія W ecm
5	50	120	33	21	3	5	6,71	5,24	86,4	23,2	9,27
6	60	140	38	24	3,5	6	9,34	7,28	164	47,2	15,8
7½	75	170	45,5	28,5	4	7	13,2	10,3	347	105	27,9
9	90	200	53	33	4,5	8	17,9	14,0	651	206	45,8
11	110	240	63	39	5	9	24,1	18,8	1272	421	76,5

Черт. 824.



5ª. Желѣзо зетовое *)

по нѣмецкому нормальному сортаменту.

Нормальная длина = 4 до 8 m.
Наибольшая „ = 12 m.
Закругленіе у шейки $R = t$.
у полокъ $r = 0{,}5\ t$.

№ профили.	Высота h mm	Ширина b mm	Толщина Стѣнки d. mm	Полки t mm	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ пог. метра. kg	tg φ.	Моментъ инерціи. J_ξ. cm⁴	J_η. cm⁴	J_x = max. cm⁴	J_y = min. cm⁴
3	30	38	4	4,5	4,32	3,37	1,655	5,94	13,7	18,1	1,54
4	40	40	4,5	5	5,43	4,23	1,181	13,4	17,6	28,0	3,05
5	50	43	5	5,5	6,77	5,28	0,939	25,7	24,4	44,9	5,23
6	60	45	5	6	7,91	6,17	0,779	44,0	30,8	67,2	7,60
8	80	50	6	7	11,1	8,67	0,588	108	48,7	142	14,7
10	100	55	6,5	8	14,5	11,3	0,492	220	74,5	270	24,6
12	120	60	7	9	18,2	14,2	0,433	400	108	470	37,7
14	140	65	8	10	22,9	17,9	0,385	671	154	768	56,4
16	160	70	8,5	11	27,5	21,5	0,357	1055	209	1184	79,5
18	180	75	9,5	12	33,3	26,0	0,329	1594	275	1759	110
20	200	80	10	13	38,7	30,2	0,313	2289	367	2509	147

*) См. A. Meyerhof, Biegungsspannungen der Z-Eisen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, стр. 696. Тамъ помѣщена подробная таблица моментовъ сопротивленія зетоваго желѣза для различныхъ плоскостей изгиба.

НТБ ДНУЗТ

5b. Зетовое желѣзо

по Русскому метрическому нормальному сортаменту (см. черт. 824).

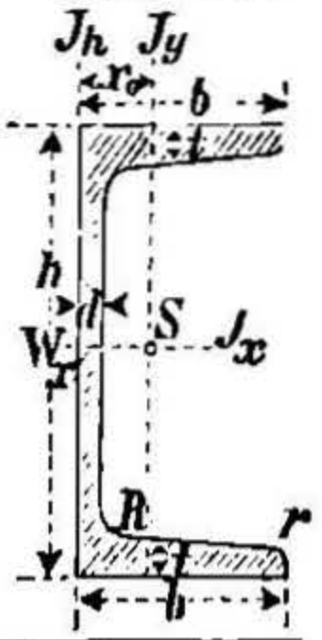
$b = 0{,}25\,h + 30$ mm; $d = 0{,}035\,h + 3$ mm; $t = 1{,}5\,d$ $R = t$; $r = \frac{t}{2}$.

№№ профилей.	Размѣры въ миллиметрахъ.						Площадь профили.	Вѣсъ погоннаго метра.	Моменты инерціи.				Моменты сопротивленія.		Уголъ наклоненія оси X къ оси ξ.	tg угла наклоненія оси X къ оси ξ.
	h	b	d	t	R	r	ω cm²	g kg	J_ξ cm⁴	J_η cm⁴	J_x cm⁴	J_y cm⁴	W_x cm³	W_y cm³	φ	tg φ
4	40	40	4,5	6,5	6,5	3,25	6,55	5,14	15,24	22,74	26,5	11,53	6,20	6,25	60°5′	1,74
6	60	45	5	7,5	7,5	3,75	9,18	7,21	50,0	37,4	62,0	25,37	12,67	12,42	36°0′	0,70
8	80	50	6	8,5	8.5	4,25	12,51	9,82	120,3	57,4	135,6	42,1	24,4	14,57	23°51′	0,44
10	100	55	6,5	9,5	9,5	4,75	16,01	12,57	241,1	85,6	262,4	64,4	40,9	18,74	19°7′	0,35
12	120	60	7	10,5	10,5	5,25	19,89	15,61	431,5	123,1	456,9	97,7	62,7	24,37	15°26′	0,28
14	140	65	8	11,5	11,5	5,75	24,74	19,42	719	169,8	759	130,7	91,4	30,24	14°27′	0,26
16	160	70	8,5	12,5	12,5	6,25	29,48	23,14	1119	231	1172	178,6	126	37,83	13°17′	0,24
18	180	75	9	13,5	13,5	6,75	34,61	27,17	1662	307,5	1731	238,4	168	46,7	12°26′	0,22
20	200	80	10	15	15	7,5	41,72	32,75	2448	411,2	2535	324	224,5	58,6	11°28′	0,20
25	250	90	12	18	18	9	59,02	46,33	5306	693	5441	558	392	87,6	6°34′	0,17

НТБ
ДНУЗТ

6[a]. Корытное желѣзо по нѣмецкому нормальному сортаменту.

Черт. 825.



Нормальная длина = 4 до 8 m. Наибольшая длина = 12 m.
Уклонъ внутреннихъ плоскостей полокъ = 8%.
Радіусъ закругленія $R = t$.
„ „ $r = 0{,}5\ t$.
Толщина полки t измѣрена на разстояніи $^1/_2\ b$ отъ края.
i (въ mm)—разстояніе въ свѣту между двумя балками][, при которомъ оба главные моменты инерціи между собой равны ($=2\ J_x$).

Новыя профили коробчатаго желѣза.

№ профил.	Высота h.	Ширина b.	Толщина: Шейки d.	Толщина: Полки t.	Сѣченіе.	Вѣсъ пог. метра.	Разстояніе центра тяж. x_0.	Моментъ инерціи. J_h.	Моментъ инерціи. J_y.	Моментъ инерціи. J_x.		Моментъ сопротивл. W_x	№ профил.
	mm	mm	mm	mm	qcm	kg	mm	cm⁴	cm⁴	cm⁴	mm	ccm	
3	30	33	5	7	5,44	4,24	13,1	14,7	5,33	6,39		4,3	**3**
4	40	35	5	7	6,21	4,85	13,3	17,7	6,68	14,1		7,1	**4**
5	50	38	5	7	7,12	5,55	13,7	22,5	9,12	26,4	3,8	10,6	**5**
6$^1/_2$	65	42	5,5	7,5	9,03	7,05	14,2	32,3	14,1	57,5	15,4	17,7	**6$^1/_2$**
8	80	45	6	8	11,0	8,60	14,5	43,2	19,4	106	27,1	26,5	**8**
10	100	50	6	8,5	13,5	10,5	15,5	61,7	29,3	206	41,4	41,1	**10**
12	120	55	7	9	17,0	13,3	16,0	86,7	43,2	364	54,9	60,7	**12**
14	140	60	7	10	20,4	15,9	17,5	125	62,7	605	68,1	86,4	**14**
16	160	65	7,5	10,5	24,0	18,7	18,4	166	85,3	925	81,5	116	**16**
18	180	70	8	11	28,0	21,8	19,2	217	114	1354	94,7	150	**18**
20	200	75	8,5	11,5	32,2	25,1	20,1	278	148	1911	108	191	**20**
22	220	80	9	12,5	37,4	29,2	21,4	368	197	2690	120	245	**22**
24	240	85	9,5	13	42,3	33,0	22,3	458	248	3598	133	300	**24**
26	260	90	10	14	48,3	37,7	23,6	586	317	4823	146	371	**26**
28	280	95	10	15	53,3	41,6	25,3	740	399	6276	159	450	**28**
30	300	100	10	16	58,8	45,8	27,0	924	495	8026	172	535	**30**

Старыя профили коробчатаго желѣза (для постройки желѣзно-дор. вагоновъ).

№ профил.	Высота h.	Ширина b.	Толщина: Шейки d.	Толщина: Полки t.	Сѣченіе.	Вѣсъ пог. метра.	Разстояніе центра тяж. x_0.	Моментъ инерціи. J_h.	Моментъ инерціи. J_y.	Моментъ инерціи. J_x.		Моментъ сопротивл. W_x	№ профил.
	mm	mm	mm	mm	qcm	kg	mm	cm⁴	cm⁴	cm⁴	mm	ccm	
10$^1/_2$	105	65	8	8	17,3	13,5	18,8	122	61,2	287	34,6	54,7	**10$^1/_2$**
11$^3/_4$	117,5	65	10	10	22,6	17,6	19,1	160	77,1	447	42,7	76,1	**11$^3/_4$**
14$^1/_2$	145	60	8	8	19,8	15,4	15,0	98,1	53,6	585	73,6	80,7	**14$^1/_2$**
23$^1/_2$	235	90	10	12	42,4	33,1	22,8	492	272	3429	127	292	**23$^1/_2$**
26	260	90	10	10	41,6	32,5	19,7	398	237	3900	148	300	**26**
30	300	75	10	10	42,8	33,3	15,0	241	145	4925	181	328	**30**

НТБ ДНУЗТ

6b. Корытное желѣзо

по Русскому метрическому нормальному сортаменту (см. черт. 825)

$b = 0{,}25\,h + 25$ mm; $d = 0{,}025\,h + 4$ mm при $h < 100$ mm;
$d = 0{,}025\,h + 3{,}5$ mm при $h \geqq 100$ mm; $t = 1{,}5\,d$.

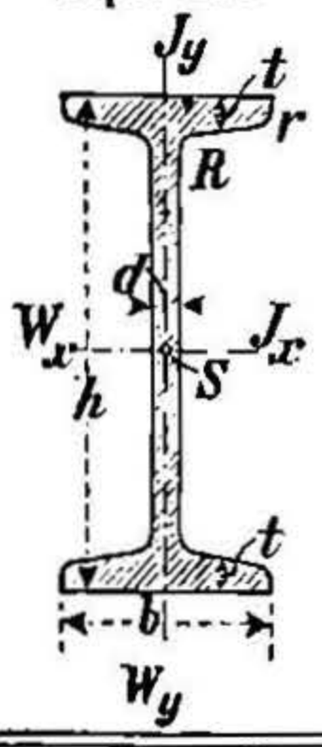
$$R = t; \quad r = \frac{t}{2}.$$

Уклонъ внутреннихъ граней полокъ 8%.

№ профили.	Высота h. mm	Ширина b. mm	Толщина: Шейки d. mm	Толщина: Полки t. mm	Площадь профили ω cm²	Вѣсъ погон. метра. g kg	Разст. цент. тяжести. x_0 cm	Моменты инерціи. J_h cm⁴	J_x cm⁴	J_y cm⁴	Моменты сопротивленія. W_x cm³	W_y cm³
5	50	38	5	7,5	7,47	5,86	1,41	24,2	27,57	9,44	11,03	3,942
6½	65	42	5,5	8	9,62	7,55	1,43	34,8	59,9	14,98	18,43	5,42
8	80	45	6	9	11,85	9,30	1,53	48,4	113,9	20,9	28,5	7,02
10	100	50	6	9	13,92	10,93	1,60	65,6	213,2	30,16	42,65	8,86
12	120	55	6,5	9,5	17,26	13,55	1,65	92,0	371,6	44,9	61,9	11,67
14	140	60	7	10,5	20,92	16,42	1,80	132,2	624	64,5	89,2	15,35
16	160	65	7,5	11	24,92	18,56	1,86	175,6	954	89,0	119,2	19,2
18	180	70	8	12	29,26	22,97	2,01	239,6	1433	121	159,2	24,26
20	200	75	8,5	12,5	33,93	26,64	2,08	306	2018	159,2	202	29,4
22	220	80	9	13,5	38,94	30,57	2,23	402	2831	207,8	257,3	36,0
24	240	85	9,5	14	44,28	34,76	2,30	499	3773	264	314,4	42,6
26	260	90	10	15	49,95	39,21	2,45	635	5045	334	388	51,0
28	280	95	10,5	15,5	55,96	43,93	2,53	771	6472	413	462	59,2
30	300	100	11	16,5	62,30	48,91	2,68	957	8361	510	557	69,7

НТБ ДНУЗТ

Черт. 826.



7a. Двутавровое желѣзо по нѣмецкому нормальному сортаменту.

Нормальная длина = 4 до 10 m. Наибольшая длина = 14 m.

Уклонъ внутреннихъ плоскостей полокъ = 14%.

Закругленіе между стѣнкой и полкой $R = d$.

Закругленіе краевъ полокъ $r = 0{,}6\ d$.

Толщина полки t указана на разстоянія $^1/_4\ b$ отъ края.

Профили, обозначенныя скобкой, имѣютъ одинаковую цѣну за 1000 kg.

№ Профиля.	Высота h. mm	Ширина b. mm	Толщина: Стѣнки d. mm	Толщина: Полки t. mm	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ 1 пог. метра. kg	Моментъ инерціи. J_y cm⁴	Моментъ инерціи. J_x cm⁴	Моментъ сопровленія. W_y ccm	Моментъ сопровленія. W_x ccm	№ Профиля.
8	80	42	3,9	5,9	7,57	5,9	6,3	77,7	2,99	19,4	8
9	90	46	4,2	6,3	8,99	7,0	8,8	117	3,81	25,9	9
10	100	50	4,5	6,8	10,6	8,3	12,2	170	4,86	34,1	10
11	110	54	4,8	7,2	12,3	9,6	16,2	238	5,99	43,3	11
12	120	58	5,1	7,7	14,2	11,1	21,4	327	7,38	54,5	12
13	130	62	5,4	8,1	16,1	12,6	27,4	435	8,85	67,0	13
14	140	66	5,7	8,6	18,2	14,2	35,2	572	10,7	81,7	14
15	150	70	6,0	9,0	20,4	15,9	43,7	734	12,5	97,9	15
16	160	74	6,3	9,5	22,8	17,8	54,5	933	14,7	117	16
17	170	78	6,6	9,9	25,2	19,7	66,5	1165	17,1	137	17
18	180	82	6,9	10,4	27,9	21,7	81,3	1444	19,8	161	18
19	190	86	7,2	10,8	30,5	23,8	97,2	1759	22,6	183	19
20	200	90	7,5	11,3	33,4	26,1	117	2139	25,9	214	20
21	210	94	7,8	11,7	36,3	28,3	137	2558	29,3	244	21
22	220	98	8,1	12,2	39,5	30,8	163	3055	33,3	278	22
23	230	102	8,4	12,6	42,6	33,3	188	3605	36,9	314	23
24	240	106	8,7	13,1	46,1	35,9	220	4239	41,6	353	24
25	250	110	9,0	13,6	49,7	38,7	255	4954	46,4	396	25
26	260	113	9,4	14,1	53,3	41,6	287	5735	50,6	441	26
27	270	116	9,7	14,7	57,1	44,5	325	6623	56,0	491	27
28	280	119	10,1	15,2	61,0	47,6	363	7575	60,8	541	28
29	290	122	10,4	15,7	64,8	50,6	403	8619	66,1	594	29
30	300	125	10,8	16,2	69,0	53,8	449	9785	71,9	652	30
32	320	131	11,5	17,3	77,7	60,6	554	12493	84,6	781	32
34	340	137	12,2	18,3	86,7	67,6	672	15670	98,1	922	34
36	360	143	13,0	19,5	97,0	75,7	817	19576	114	1088	36
38	380	149	13,7	20,5	107	83,4	972	23978	131	1262	38
40	400	155	14,4	21,6	118	91,8	1160	29173	150	1459	40
42 1/2	425	163	15,3	23,0	132	103	1433	36956	176	1739	42 1/2
45	450	170	16,2	24,3	147	115	1722	45888	203	2040	45
47 1/2	475	178	17,1	25,6	163	127	2084	56410	234	2375	47 1/2
50	500	185	18,0	27,0	179	140	2470	68736	267	2750	50
55	550	200	19,0	30,0	212	166	3486	99054	349	3602	55

НТБ ДНУЗТ

7b. Двутавровое желѣзо

по Русскому метрическому нормальному сортаменту (см. черт. 826)

$b = 0{,}32\,h + 25$ mm; $d = 0{,}03\,h + 1{,}5$ mm; $t = 1{,}4\,d$;
$R = d$; $r = 0{,}6\,d$.

Уклонъ внутреннихъ граней полокъ 14%.

№ профили.	Высота h.	Ширина b.	Толщина: Стѣнки d.	Толщина: Полки t.	Площадь профили. ω cm²	Вѣсъ погон. метра. g kg	Моменты инерціи. J_x cm⁴	Моменты инерціи. J_y cm⁴	Моменты сопротивленія. W_x cm³	Моменты сопротивленія. W_y cm³	Удѣльные моменты сопротивленія. $\eta_x = \frac{W_x}{\omega^{3/2}}$	Удѣльные моменты сопротивленія. $\eta_y = \frac{W_y}{\omega^{3/2}}$
8	80	50,6	3,9	5,5	8,16	6,406	86,3	9,71	21,6	3,84	0,926	0,165
10	100	57,0	4,5	6,3	11,03	8,659	180,4	16,1	36,1	5,65	0,985	0,154
12	120	63,4	5,1	7,1	14,34	11,257	334,4	25,2	55,7	7,95	1,026	0,146
14	140	69,8	5,7	7,9	18,08	14,193	569	37,7	81,3	10,8	1,058	0,140
16	160	76,2	6,3	8,8	22,26	17,474	909	54,3	113,6	14,26	1,082	0,136
18	180	82,6	6,9	9,6	26,87	21,093	1381	75,9	153,4	18,4	1,101	0,132
20	200	89,0	7,5	10,4	31,91	25,049	2014	103,4	201,4	23,24	1,117	0,129
22	220	95,4	8,1	11,3	37,38	29,343	2843	137,5	258,5	28,83	1,131	0,126
24	240	101,8	8,7	12,1	43,29	33,983	3903	180	325	35,36	1,146	0,124
26	260	108,2	9,3	13	49,63	38,960	5234	231	403	42,75	1,151	0,122
28	280	114,6	9,9	13,9	56,40	44,274	6878	293	491	51,1	1,159	0,120
30	300	121,0	10,5	14,7	63,61	49,934	8881	366	592	60,5	1,167	0,119
32	320	127,4	11,1	15,5	71,25	55,931	11292	452	706	70,9	1,173	0,118
34	340	133,8	11,7	16,4	79,32	62,266	14161	552	833	82,5	1,179	0,117
36	360	140,2	12,3	17,2	87,82	68,939	17544	668	975	95,3	1,184	0,116
38	380	146,6	12,9	18	96,76	75,956	21499	801	1132	109,3	1,189	0,115
40	400	153,0	13,5	18,9	106,13	83,312	26087	954	1304	124,7	1,193	0,114

НТБ ДНУЗТ

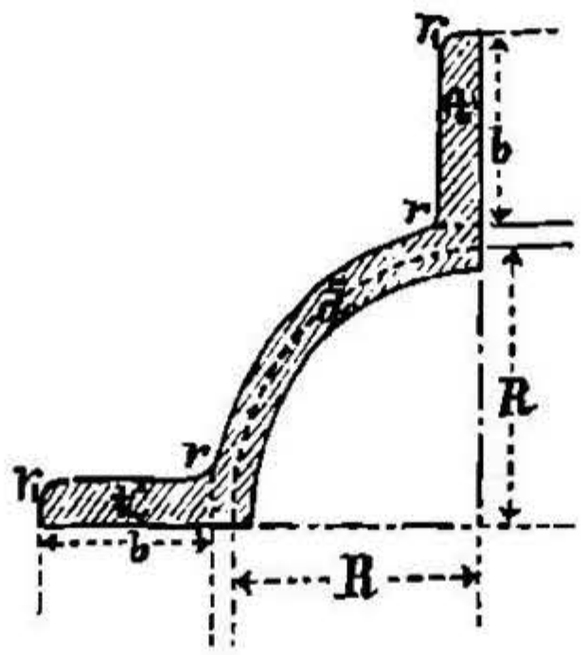
8. Колонное (квадрантное) желѣзо.

Нормальная длина = 4 до 8 m.

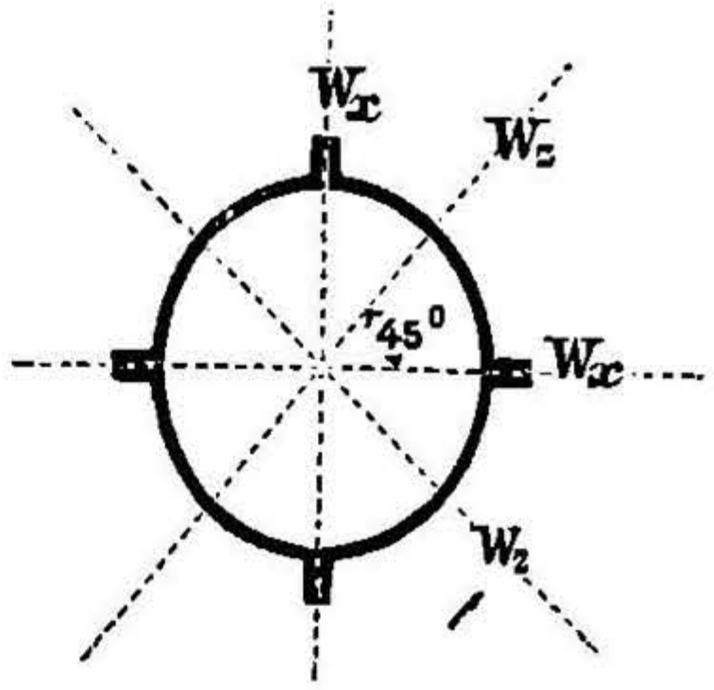
Наибольш. длина = 12 m.

Закругленіе $r = 0{,}12\ R$
$r_1 = 0{,}06\ R$.

Черт. 827.



Черт. 828.



№ профили.	Размѣры въ mm. R	b	d	t	Сѣченіе полной трубы. qcm	Вѣсъ пог. m полной трубы. kg	Моментъ инерціи полной трубы. cm⁴	Моменты сопротивленія полной трубы. W_z = max. ccm	W_x = min. ccm
5	50	35	4	6	29,8	23,3	57⁶	89,3	66,2
5	50	35	8	8	48,0	37,4	90⁶	135	102
7½	75	40	6	8	54,9	42,8	2068	237	175
7½	75	40	10	10	80,2	62,5	2982	331	248
10	100	45	8	10	88,1	68,7	5511	501	370
10	100	45	12	12	120	94,0	7478	663	495
12½	125	50	10	12	129	101	12161	917	676
12½	125	50	14	14	169	132	15788	1165	867
15	150	55	12	14	179	140	23637	1515	1120
15	150	55	18	17	249	194	32738	2051	1530

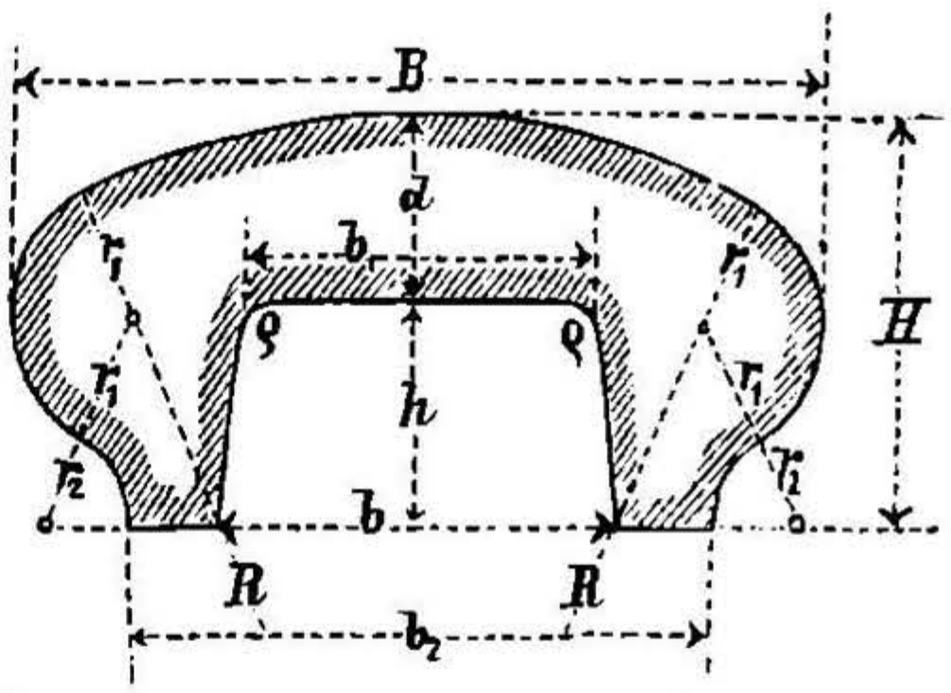
9. Поручневое желѣзо.

Нормальная длина = 4 до 8 m.

Наибольшая длина = 12 m.

Закругленіе вверху радіусомъ
$R = B$.

Черт. 829.



№ профили	Размѣры въ mm. B	H	b	h	R	d	r_1	r_2	ϱ	b_1	b_2	Сѣченіе. qcm.	Вѣсъ одного пог. метра kg.
4	40	18	20	10	40	8	6	4	2	18	30	4,20	3,28
6	60	27	30	15	60	12	9	6	3	27	45	9,46	7,38
8	80	36	40	20	80	16	12	8	4	36	60	16,8	13,1
10	100	45	50	25	100	20	15	10	5	45	75	26,3	20,5
12	120	54	60	30	120	24	18	12	6	54	90	37,8	29,5

НТБ ДНУЗТ

10. Неравнобокое угловое желѣзо, употребляемое въ кораблестроеніи.

(Черт. 821, стр. 999).

Профили, обозначенныя ; имѣютъ ширину полокъ такую-же, какъ на табл. стр. 999. Нормальная длина 4 до 8 m. Наибольшая длина 12 m.

Закругленіе въ углу радіусомъ R. Закругленіе концовъ полокъ $r = 0{,}5\ R$.

№ профили.	Размѣры въ mm. b	a	d	R	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ погон. метра. kg	Разстояніе центра тяжести. ξ_0 mm	η_0 mm	tg φ.	Моменты инерціи. J_ξ cm⁴	J_η cm⁴	$J_x =$ max. cm⁴	$J_y =$ min. cm⁴
3/4	30	40	3	3,5	2,02	1,58	7,4	12,4	0,556	3,22	1,56	3,92	0,86
*3/4½	30	45	3	3,5	2,17	1,69	7,0	14,4	0,430	4,46	1,62	4,62	1,46
*3/6	30	60	3	4	2,63	2,05	6,1	20,9	0,261	9,93	1,73	10,51	1,15
3½/4½	35	45	3	4	2,33	1,82	8,6	13,6	0,595	4,68	2,53	5,87	1,34
4/5	40	50	3	4	2,63	2,05	9,9	14,8	0,626	6,63	3,77	8,42	1,98
*4/6	40	60	4	5	3,87	3,02	9,4	19,2	0,434	14,27	5,08	16,3	3,05
*4/8	40	80	4	5,5	4,67	3,64	8,1	27,8	0,262	31,23	5,44	33,0	3,67
4½/5½	45	55	4	5	3,87	3,02	11,4	16,4	0,651	11,63	7,02	15,0	3,65
4½/6½	45	65	4	5	4,27	3,33	10,6	20,4	0,529	18,49	7,30	21,0	4,79
5/6	50	60	5	6,5	5,29	4,13	13,0	17,9	0,670	18,58	11,71	24,1	6,19
5/6½	50	65	5	6,5	5,54	4,32	12,5	19,9	0,584	23,22	11,99	29,0	6,21
*5/7½	50	75	5	6,5	6,04	4,71	11,7	24,0	0,415	35,40	12,43	40,0	7,83
*5/10	50	100	5	7	7,28	5,68	10,1	34,8	0,261	76,31	13,42	80,9	8,83
			7		10,04	7,83	10,9	35,7	0,261	103,7	17,97	110	11,66
5½/6½	55	65	5	7	5,78	4,51	14,2	19,2	0,696	23,93	15,85	31,7	8,08
			7		7,94	6,20	15,0	19,9	0,692	32,22	21,13	42,6	10,75
5½/7½	55	75	5	7	6,28	4,90	13,3	23,2	0,514	35,72	16,39	42,6	9,51
			7		8,64	6,74	14,1	24,0	0,521	48,03	21,97	57,7	12,3
5½/8½	55	85	5	7	6,78	5,29	12,5	27,3	0,412	50,34	16,96	57,2	10,1
			7		9,34	7,29	13,3	28,2	0,410	68,37	22,73	77,4	13,7
6½/7½	65	75	6	8	8,11	6,33	17,0	21,9	0,732	44,4	31,1	59,9	15,6
			8		10,63	8,29	17,9	22,8	0,721	57,3	39,4	76,1	20,6
6½/8½	65	85	6	8	8,71	6,79	16,0	25,9	0,564	63,1	32,2	77,2	18,1
			8		11,43	8,91	16,9	26,7	0,563	81,7	40,9	99,6	23,0
*6½/10	65	100	6	8	9,61	7,50	14,8	32,1	0,410	98,7	33,5	112	20,2
			8		12,6	9,85	15,6	32,9	0,413	127,4	43,3	145	25,7
6½/11½	65	115	6	8	10,5	8,20	13,8	38,5	0,323	144,5	35,0	158	21,5
			8		13,8	10,79	14,6	39,7	0,324	186,7	44,6	204	27,3
*6½/13	65	130	6	8,5	11,4	8,90	12,9	45,0	0,264	202,2	35,5	214	23,7
			8		15,0	11,72	13,8	45,9	0,261	264,1	45,4	280	29,5
7½/9	75	90	6	8,5	9,6	7,49	18,9	26,0	0,661	78,4	48,7	101	26,1
			8		12,6	9,85	19,7	26,8	0,657	101,5	63,1	131	33,6
7½/10	75	100	7	10	11,9	9,26	18,1	30,6	0,543	119,3	58,5	144	33,8
			10		16,6	12,95	19,5	31,9	0,539	162,2	78,9	197	44,1
7½/11	75	110	7	10	12,6	9,8	17,5	34,7	0,452	154,6	59,4	179	35,0
			10		17,6	13,7	18,7	36,0	0,456	209,9	81,0	244	46,9
7½/12	75	120	8	10,5	15,1	11,8	17,1	39,3	0,382	221,6	68,3	248	41,9
			10		18,6	14,5	17,9	40,2	0,380	270,5	82,9	303	50,4
7½/13	75	130	9	10,5	17,7	13,8	16,9	44,0	0,334	310,7	76,9	338	49,6
			11		21,4	16,7	17,7	44,9	0,329	367,8	91,0	401	57,8
7½/14	75	140	9	10,5	18,6	14,5	16,3	48,4	0,293	377,7	78,1	406	49,8
			11		22,5	17,6	17,1	49,4	0,291	451,6	92,7	484	60,3

НТБ ДНУЗТ

№ профили.	Размѣры mm. b	a	d	R	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ погон. метра. kg	Разстояніе центра тяжести. mm ξ_0	η_0	tg φ.	Моментъ инерціи. J_ξ cm⁴	J_η cm⁴	$J_x=$ max. cm⁴	$J_y=$ min. cm⁴
7½/15	75	150	9	10,5	19,5	15,2	15,7	52,8	0.270	456,3	79,9	485	51,2
			11		23,6	18,4	16,5	53,8	0,257	545,7	94,8	578	62,5
7½/17	75	170	9	11,5	21,4	16,7	14,8	62,1	0,217	632,4	82,1	660	54,5
			11		25,9	20,2	15,6	62,7	0,209	767,9	102,0	803	66,9
*8/12	80	120	9	11	17,3	13,5	19,1	38,8	0,436	251,0	90,4	289	52,4
*8/16	80	160	9	13	21,0	16,4	16,5	55,8	0,262	554,3	94,8	588	61,1
9/10	90	100	9	12	16,4	12,8	24,2	29,1	0,797	145,6	119,0	219	55,6
			12		21,5	16,8	25,4	30,3	0,793	199,8	152,3	280	72,1
9/11	90	110	9	12	17,3	13,5	23,2	33,0	0,654	204,3	122,4	265	61,7
			12		22,7	17,7	24,4	34,2	0,649	262,8	156,4	339	80,2
9/12	90	120	9	12	18,2	14,2	22,2	37,0	0,524	261,0	125,8	318	68,8
			12		23,9	18,7	23,4	38,3	0,520	334,6	161,6	409	87,2
9/13	90	130	9	12	19,1	14,9	21,4	41,1	0,467	325,7	128,5	381	73,2
			12		25,1	19,6	22,6	42,4	0,465	419,7	164,8	491	93,5
9/14	90	140	9	12	20,0	15,6	20,6	45,3	0,409	399,1	131,1	454	76,2
			12		26,3	20,5	21,9	46,6	0,406	517,1	167,4	586	98,5
9/15	90	150	9	12,5	20,9	16,3	19,9	49,4	0,359	482,9	132,7	535	80,6
			11		25,3	19,8	20,7	50,3	0,358	579,4	158,6	642	96,0
			13		29,7	23,1	21,5	51,2	0,357	671,1	182,2	743	110,3
9/16	90	160	9	12,5	21,8	17,0	19,3	53,7	0,322	578,0	134,3	629	83,3
			11		26,4	20,6	20,1	54,7	0,320	693,1	160,8	754	99,9
			13		31,0	24,2	20,9	55,5	0,319	804,4	184,6	874	115,0
9/17	90	170	9	12,5	22,7	17,7	18,7	58,1	0,291	683,2	136,7	734	85,9
			11		27,5	21,5	19,5	59,0	0,288	819,6	163,4	880	103
			13		32,3	25,2	20,3	59,9	0,300	952,1	187,9	1021	119
9/20	90	200	9	12,5	25,4	19,8	17,2	71,4	0,227	1068,9	141,4	1119	91,3
			11		30,8	24,1	18,0	72,4	0,220	1285,8	169,2	1342	113
			13		36,2	28,2	18,8	73,3	0,219	1494,9	195,1	1561	129
9/22½	90	225	9	12,5	27,7	21,6	16,3	82,8	0,186	1476,4	143,4	1523	96,8
			11		33,6	26,2	17,0	83,8	0,181	1775,1	172,9	1830	118
			13		39,4	30,8	17,8	84,7	0,181	2066,8	200,2	2131	136
9/25	90	250	9	12,5	29,9	23,4	15,3	94,4	0,156	1966,0	148,0	2011	103
			11		36,3	28,3	16,1	95,4	0,154	2371,6	177,4	2424	125
			13		42,7	33,3	17,0	96,3	0,154	2759,4	203,6	2821	142
10/12	100	120	9	12	19,1	14,9	25,6	35,5	0,681	270,8	170,3	354	87,1
			12		25,1	19,6	26,8	36,7	0,678	342,3	218,7	452	109
10/13	100	130	10	13	22,1	17,3	25,0	39,7	0,577	367,0	187,9	456	98,9
			13		28,3	22,1	26,2	41,0	0,574	462,3	236,7	574	125
10/14	100	140	10	13	23,1	18,0	24,1	43,8	0,499	451,7	192,3	538	106
			13		29,6	23,1	25,3	45,1	0,495	571,0	242,0	678	135
10/15	100	150	10	13	24,1	18,8	23,3	47,9	0,437	546,8	196,2	631	112
			13		30,9	24,1	24,5	49,2	0,435	692,0	247,0	798	141
10/16	100	160	10	13	25,1	19,6	22,6	52,2	0,390	656,2	198,8	738	117
			13		32,2	25,1	23,8	53,3	0,382	836,4	250,6	937	150
*10,20	100	200	10	15	29,2	22,8	20,1	69,3	0,263	1202,5	210,5	1279	134
			12		34,8	27,1	21,0	70,3	0,261	1443,5	246,5	1530	160
11½/17	115	170	10	13,5	27,7	21,6	26,5	53,6	0,451	817,0	305,0	948	174
			12		32,9	25,7	27,3	54,5	0,448	964,7	359,3	1117	207
			14		38,1	29,7	28,1	55,3	0,447	1106,8	410,2	1280	237

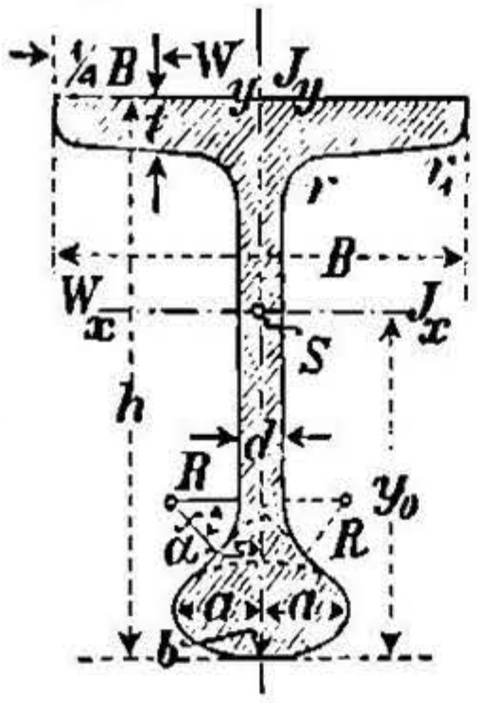
НТБ ДНУЗТ

11. Зетовое желѣзо для кораблестроенія.

(См. черт. 824 на стр. 1003).

Нормальная длина 4 до 8 m. Наибольшая длина 12 m. Радіусъ закругленія стѣнки $R=d$, полокъ $r=0{,}5\ d$.

№ профили.	Высота h mm	Ширина b mm	Толщина: Стѣн. d mm	Полки t mm	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ пог. m. kg	tg φ	Моменты инерціи J_ξ cm⁴	J_η cm⁴	J_x = max. cm⁴	J_y min. cm⁴
9	90	70	8	9,5	19,2	15,0	0,827	242,6	179,6	379	43,2
10	100	70	8	9,5	20,0	15,6	0,705	311,7	179,7	442	48,9
11	110	75	9	11	24,7	19,3	0,684	461,4	253,5	645	70,2
12	120	75	9	11	25,6	20,0	0,600	567,8	253,6	745	76,6
13	130	80	10	12	30,1	23,5	0,584	777,8	332,9	1008	103,1
14	140	80	10	12	31,1	24,3	0,522	928,4	332,9	1151	110,0
15	150	85	11	13,5	36,9	28,8	0,519	1256	446,1	1555	147,3
16½	165	85	11	13,5	38,5	30,0	0,450	1578	446,3	1865	158,7
18	180	90	12	15	45,5	35,5	0,433	2204	585,0	2577	211,3
20	200	90	12	15	47,9	37,3	0,371	2837	585,3	3196	226,8



Черт. 830.

12. Тавробимсы для кораблестроенія.

Нормальная длина 4 до 8 m. Наибольшая длина 12 m.

Утолщеніе имѣетъ форму эллипса (полуоси: $a=2\ d$, $b=d$); ограничивается касательными подъ угломъ $\alpha=50^0$.

Наклонъ внутреннихъ граней полокъ $=8\%$, $t=1,5\ d$.

Радіусъ закругленія $R=1{,}5\ d$; $r=d$; $r_1=0{,}5\ d$.

№ профили.	Высота h mm	Ширина B mm	Толщина: Стѣн. d mm	Полки t mm	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ пог. m. kg	Разстояніе ц. тяж. y_0 mm	Моменты инерціи J_y cm⁴	J_x cm⁴	Моменты сопротивленія. W_y ccm	W_x ccm
15	150	120	9,5	10,92	30,8	24,0	93	138,8	940	23,1	101
16½	160	120	10	11,5	34,1	26,6	101	153,3	1264	25,6	125
18	180	125	10,5	12,08	38,3	29,8	109	182,4	1684	29,2	154
20	200	130	11	12,65	43,1	33,6	121	215,3	2340	33,1	194
22	220	135	11,5	13,22	48,2	37,6	132	252,6	3159	37,4	240
24	240	140	12	13,8	53,7	41,9	143	294,8	4175	42,1	292
26	260	145	13	14,95	62,0	48,4	154	359,1	5656	49,5	368
28	280	150	14	16,1	71,0	55,4	164	433,2	7447	57,8	454
30	300	160	15	17,25	81,3	63,5	176	563,9	9856	70,5	562
32½	325	165	16	18,4	92,3	72,0	189	666,7	13099	80,8	695
35	350	170	17	19,55	104	81,1	202	783,0	17066	92,1	847
37½	375	175	18	20,7	116	90,8	214	913,3	21860	104,4	1020
40	400	180	19	21,85	129	101	225	1059	27585	117,7	1214

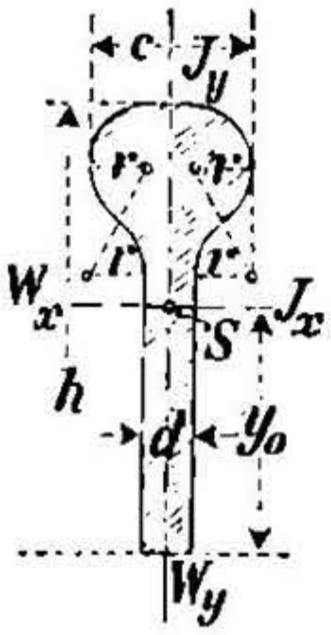
НТБ ДНУЗТ

13. Желѣзо бимсовое для кораблестроенія (черт. 831).

Нормальная длина = 4 до 8 m. Наибольшая длина = 12 m. Для профилей, отмѣченныхъ звѣздочкой, въ нормальномъ сортаментѣ имѣются еще по двѣ профили, въ которыхъ величины c и d на 1 mm больше или меньше, чѣмъ показано въ нижеслѣдующей таблицѣ. $c = 0{,}14\ h + d$; $r = 0{,}07\ h$.

№ профили.	Размѣры въ mm. h	c	d	r	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ пог. m. kg	Разстояніе цент. тяж. mm	Моменты инерціи. J_y cm⁴	J_x cm⁴	Моменты сопротивленія. W_y ccm	W_x ccm
*13	130	26	8	9,1	12,9	10,1	75,7	2,30	213	1,77	27,9
*14	140	27,5	8	9,8	14,3	11,1	82,8	2,82	271	2,05	32,7
15	150	30	9	10,5	17,2	13,4	88,6	4,02	372	2,68	41,9
16½	165	33	10	11,5	20,9	16,3	97,2	5,90	47	3,58	56,3
*18	180	36	11	12,6	24,7	19,3	105	8,43	779	4,68	73,5
*20	200	40	12	14,0	30,2	23,5	117	12,7	1174	6,35	99,4
*22	220	44	13	15,4	36,2	28,2	130	18,4	1703	8,37	131
*24	240	47,5	14	16,8	42,7	33,3	142	25,2	2384	10,6	168
*26	260	51,5	15	18,2	49,8	38,8	154	34,5	3254	13,4	211
*28	280	56	17	19,6	59,8	46,6	165	49,1	4543	17,5	275
*30	300	60	18	21,0	68,1	53,1	177	64,2	5943	21,4	336
32½	325	65,4	20	22,7	82,0	64,0	191	91,2	8336	27,9	436
35	350	71	22	24,5	96,8	75,5	206	126,3	11404	35,6	554
37½	375	75,4	23	26,2	109	85,0	221	161,1	14740	42,7	668
40	400	81	25	28,0	126	98,2	235	215,2	19368	53,1	824

Черт. 831.



14. Углобимсы для кораблестроенія.

(Черт. 832).

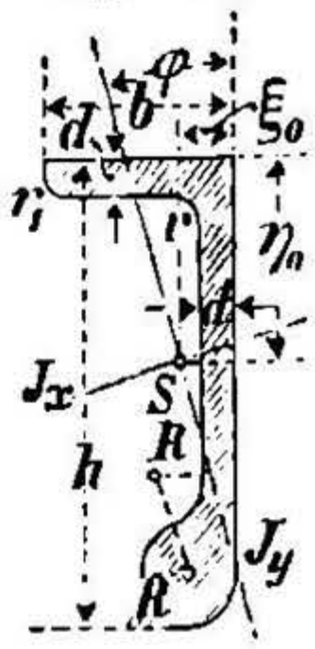
Нормальная длина = 4 до 8 m.

Наибольшая лина = 12 m.

Радіусъ закругленія $r = 1{,}12\ d$.

$r_1 = 0{,}5\ d$.

Черт. 832.



№ профили.	Размѣры въ mm. h	b	d	R	r	r_1	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ пог. m. kg	Разстояніе цент. тяж. ξ_0 mm	η_0 mm	$tg\ \varphi$	Моменты инерціи. J_x = max. cm⁴	J_y = min. cm⁴
13	130	65	9,25	13	10,36	4,62	20,9	16,3	14,8	58,0	0,145	451	44,0
14	140	65	10	14	11,20	5,00	23,7	18,5	14,9	63,6	0,111	586	49,1
15	150	70	10,75	15	12,04	5,37	27,4	21,3	16,0	67,9	0,122	775	65,3
16½	165	75	11,5	16	12,88	5,75	31,8	24,8	16,9	74,9	0,118	1082	86,9
18	180	80	12,25	17	13,72	6,12	36,6	28,5	17,9	81,7	0,116	1479	111
20	200	85	13	18	14,56	6,50	42,3	33,0	18,7	91,0	0,110	2104	142

НТБ ДНУЗТ

Особые сорта двутаврoваго и корытнаго желѣза Burbacher Hütte.

(См. черт. 826, на стр. 1007, и соотв. 825, на стр. 1005).

(Изданіе 1897). Профиль. Лис.	№	Высота h mm	Ширина b mm	Толщина: стѣнки d mm	Толщина: полки t mm	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ одного пог. m. kg	Моментъ инерціи J_x cm⁴	Моментъ сопротивленія W_x ecm
Двутавровое желѣзо.									
1	3	80	80/50	8	8	16,0	12,6	198	35,9
	4	80	82/52	10	8	17,6	13,8	200	38,5
	1	78,5	78,5	6,5	8	16,8	13,2	170	43,3
	12,5/7,5	125	75	6	8,25	19,1	15,0	476	76,2
2	15/8	150	80	7	9,5	24,6	19,3	882	117,6
1	13/8,5	130	85	8	11,5	28,4	22,3	770	118,5
2	17,6/9,1	176	91	8,5	9,75	31,7	24,9	1480	168
3	20/10	200	100	9	11	38,5	30,2	2390	239
4	23,5/9	235	90	10	11,75	42,5	33,5	3426	292
5	26,2/9,6	262	96	9,5	14	49,6	38,9	5152	393
4	25/14	250	140	10	14,5	64,2	50,4	6536	523
5	25,8/11,2	258	112	14,5	17	70,7	54,9	6860	532
4	24,7/15	247	150	14	18,5	81,0	62,8	8186	662
	24,5/15,8	245	158	14	21	97,9	76,0	9618	785
Корытное желѣзо.									
13	5,6/1,5	56	15	5	8,5	4,5	3,5	17,0	6,07
	6/2,4	60	24	6	6,1	5,3	4,1	23,3	8,1
	6/3	60	30	6	7,5	7,1	5,5	35,7	11,9
	5,7/3,8	57	38	6,5	7,25	8,28	6,4	38,5	13,5
	7,5/3	75	30	7	7,1	8,6	6,7	62,4	16,6
	7,5/3,5	75	35	6	7,5	9,0	7,05	70,8	18,9
	7,5/4	75	40	9	8,25	11,95	9,3	88,9	23,7
	7,5/4,5a	75	45	8	8,75	12,6	9,8	99,6	26,6
	7,5/4,5b	75	45	10	10	14,64	11,24	110	29,3
	8/4	80	40	6	7,75	10,18	7,9	94,6	23,7
14	12,2/3,5	122	35	5	5,75	9,68	7,6	190	31
	12/6 . 3	120	60 . 30	12	11	21,7	16,9	.	
	12/5,8 . 2,8	120	58 . 28	10	11	19,5	15,1		
	12/6,2 . 4,3	120	62 . 43	15/25/11	11,5	27,3	21,0	.	.
	12,5/7,2	125	72	9,75	11,5	26,7	20,7	621	99,4
	13/4,5	130	45	7	8,25	15,45	12,0	361	55,5
	14/4,5	140	45	7	10,25	17,7	13,7	489	69,8
	14,4/7,8	144	78	12	13,5	35,2	27,3	1060	147
	14,2/8,5	142	85	13	14,75	40,0	31,0	1180	166
15	15,1/4,2	151	42	9	12	21,4	16,6	636	84
	15,3/5,8	153	58	7	10,25	21,3	16,5	742	97
	15,1/6,3	151	63	8	10,75	24,2	18,7	817	108
	17,5/6	175	60	7	10	23,2	18,2	1035	118
16	17,6/7,3	176	73	9,75	11,5	31,9	24,7	1429	162
	17,5/7,7	175	77	10,75	12,5	36,0	27,9	1596	183
	19,6/7,8	196	78	13	18	49,3	38,2	2676	273
	21/10	210	100	10	13	44,5	34,5	3045	290
17	23,5/7	235	70	10	12,8	39,1	30,7	2890	254
18	25/8	250	80	8	10,25	35,3	27,7	3164	253
	25/8,2	250	82	10	10,25	40,3	31,6	3424	274
19	30/9,8	300	98	12	15,25	62,6	48,6	8053	537
	30/7,8	300	78	10,5	13	49,6	38,7	5979	399

НТБ ДНУЗТ

Особые сорта двутаврoваго желѣза. Union (Dortmund) Hütte.

(См черт. 826, стр. 1007).

№ профили.	Высота h. mm	Ширина b. mm	Толщина: стѣнки d. mm	Толщина: полки t. mm	Сѣченіе. qcm	Вѣсъ одного пог. м. kg	Моментъ инерціи J_x. cm^4	Моментъ сопротивленія. W_x. ccm
18b	178	81,5	7,4	11,8	30,7	23,9	1558	175
18c	176	93,5	9,0	13,8	39,2	30,5	1945	221
19b	188,5	85,5	7,7	11,0	31,6	24,7	1780	189
19c	187	95,5	9,0	14,3	41,6	32,4	2338	250
20b	198	89,5	8,0	13,0	37,0	28,9	2334	236
20c	196	100,0	9,5	15,0	45,8	35,7	2825	288
21b	208	93,0	8,3	13,0	39,3	30,6	2719	261
21c	206	102,0	9,5	15,2	47,7	37,2	3258	316
22b	218,5	97,5	8,7	13,2	42,4	33,1	3230	296
22c	216	107,5	9,8	14,5	49,5	38,6	3705	343
23b	228	101,0	9,0	13,6	45,5	35,5	3769	331
23c	226	112,0	10,5	16,0	56,2	43,8	4598	467
24b	238,5	105,5	9,2	14,5	49,9	38,9	4548	381
24c	235,5	112,5	10,5	16,5	58,4	45,5	5186	441
3a	250	140,0	10,0	15,0	64,0	49,9	6694	536
3b	248,5	139,0	10,5	16,25	67,9	53,0	6983	562
3c	246,5	144,0	11,5	19,25	79,4	61,9	7936	652
26b	258,5	112,8	9,9	15,4	57,3	44,7	6114	473
26c	256,5	121,0	11,0	17,9	67,6	52,7	7162	559
28b	278	118,7	10,6	16,2	64,5	50,3	7907	569
28c	276	128,0	12,0	18,2	75,3	58,8	9130	662
30b	298	122,0	10,5	18,0	71,4	55,7	9576	684
30c	296	128,0	12,0	21,2	84,7	66,1	10452	804
32b	318	132,0	12,5	19,0	85,2	66,5	13521	850
32c	316	142,0	14,5	22,3	102,7	80,1	16099	1019
34b	338	136,5	12,7	19,8	91,9	71,7	16512	977
34c	336	149,5	14,0	22,5	108,0	84,2	19433	1157
36b	358	142,5	13,5	21,2	103,0	80,4	20693	1156
36c	356	156,0	15,0	24,0	121,1	94,4	24323	1366
38b	378	148,5	14,2	21,5	111,1	86,7	24762	1310
38c	376	159,0	15,5	23,8	126,6	98,7	28081	1494
40b	398	154,0	15,0	22,7	122,8	95,8	30129	1514
40c	396	159,5	16,5	25,2	137,4	107,2	33350	1684
$42^1/_2$b	425	164,5	16,8	23,0	139,3	108,7	38226	1799
4	500	176,0	18,0	26,0	176,6	137,7	64945	259_8

НТБ ДНУЗТ

Бѣлая жесть (листовое желѣзо, покрытое оловомъ). Размѣры листа, принятые въ Россіи, 1 арш. × 1 арш. и 2 арш. × 1 арш. Число листовъ глянцеваго желѣза въ одной пачкѣ при различномъ вѣсѣ листа размѣромъ 2 арш. × 1 арш. приведено въ таблицѣ (см. таблицу стр. 989).

Листы котельные. Вѣсъ см. стр. 983. Наибольшая ширина прямоугольныхъ листовъ, при толщинѣ больше 12 mm, до 3000 mm. Наибольшій радіусъ круглыхъ листовъ въ 2800 mm. (Подробно см. стр. 902, 1024, 1029 и слѣд.). Матеріалъ — сварочное или литое желѣзо *).

10. **Сводчатые цилиндрическіе листы** (стр. 1022 и слѣд.) употребляются для мостового настила, имѣютъ форму пологихъ сводовъ со стрѣлою $^1/_8$ до $^1/_{12}$, края съ двухъ сторонъ плоскіе, шириною 60 до 80 mm. Длина отъ 500 до 3000 mm, ширина отъ 500 до 2000 mm; имѣютъ въ планѣ прямоугольную форму и толщину 5 до 10 mm. Вѣсъ опредѣляется по сѣченію и длинѣ. Заклепки для прикрѣпленія къ балкамъ 16 mm, разстояніе между заклепками 100 до 110 mm.

11. **Сводчатые листы** (стр. 1022 и слѣд.) по формѣ монастырскихъ сводовъ изъ сварочнаго или литого желѣза, употребляются для мостового настила и пр.; стрѣла $^1/_{10}$ до $^1/_{15}$ Края съ четырехъ сторонъ плоскіе, шириной 60 до 80 mm. Длина сторонъ 500 до 2000 mm; имѣютъ форму квадратную, прямоугольную и трапецоидальную, толщина 6 до 10 mm. Грузъ, который можетъ нести такая плита, всего лучше опредѣлять опытнымъ путемъ при помощи непосредственной нагрузки. Если величина стрѣлы (прогиба) плиты $= h$, то площадь, которая принимается для разсчета вѣса,

при прямоугольныхъ сводчатыхъ плитахъ (черт. 833):

$$F = LB + 2\,\frac{l^2 + b^2}{lb}\,h^2,$$

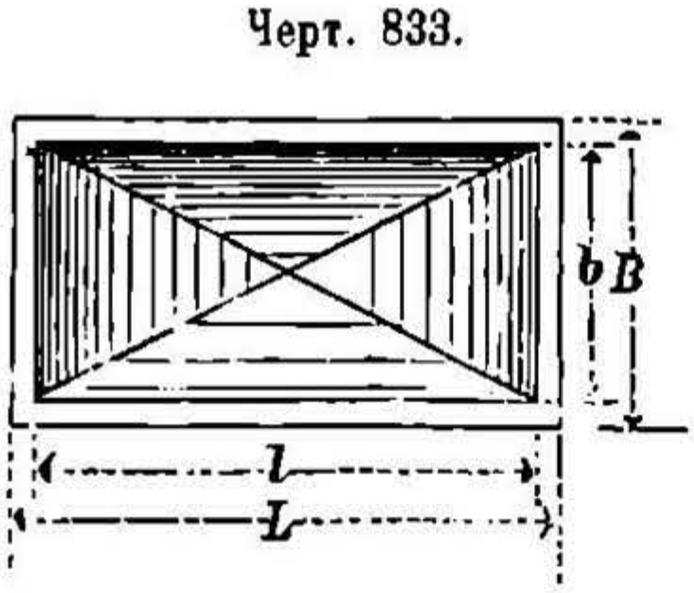
при квадратныхъ сводчатыхъ плитахъ, когда $L = B$ и $l = b$:

$$F = L^2 + 4h^2,$$

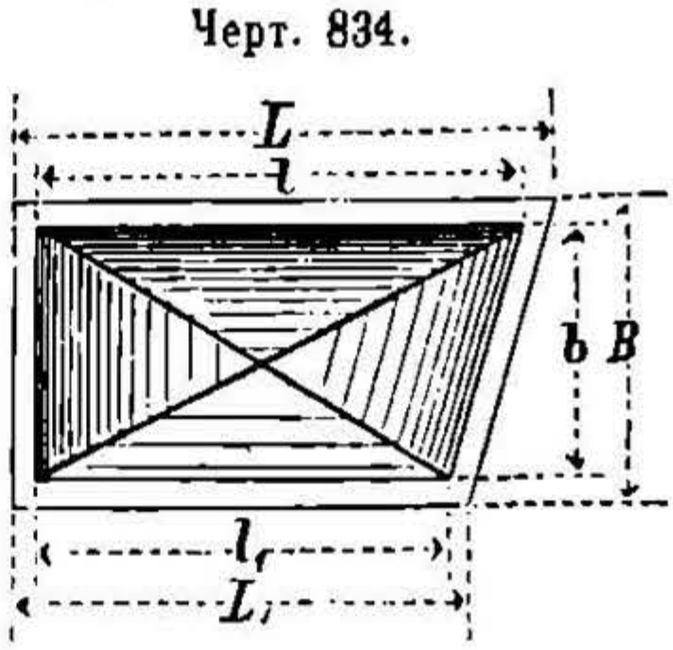
при трапецоидальныхъ плитахъ (черт. 834):

$$F = \frac{L + L_1}{2}\,B + \frac{(l + l_1)(l^2 + l_1^2 + 2\,b^2)}{2\,l\,l_1\,b}\,h^2.$$

Черт. 833.



Черт. 834.



*) На выставкѣ въ Чикаго Крупнъ экспонировалъ котельный листъ изъ свариващагося Мартеновскаго литого желѣза, длиною 20 m, шириною 3,3 m и толщиною 32 mm, вѣсомъ 16200 kg, и круглый дискъ (днище) изъ того же матеріала, діам. 3,9 m, толщиною 38 mm и вѣсомъ 3440 kg.

НТБ ДНУЗТ

12. **Рифленое желѣзо** изготовляется изъ сварочнаго или литого желѣза; листы снабжены, съ одной стороны, прямыми перекрещивающимися (наклонъ діагонали 20 : 30 mm) возвышеніями, ребрами высотою 1,5 до 3 mm и шириною 4 до 5 mm. Ширина листовъ до 1350 mm при толщинѣ (безъ возвышеній) въ 4 до 25 mm, вѣсъ до 450 kg.

13. Во многихъ случаяхъ употребляется кровельное желѣзо (черное), покрытое трудно окисляющимся слоемъ олова, цинка, свинца, красной мѣди и никкеля. Покрытіе производится въ горячемъ состояніи или гальванопластическимъ путемъ.

Покрытіе должно быть произведено равномѣрнымъ слоемъ, который плотно прилегаетъ къ желѣзу (стр. 1006).

Бѣлая жесть (размѣръ и вѣсъ см. выше стр. 891) представляетъ черное кровельное желѣзо лучшаго сорта, равномѣрно покрытое толстымъ слоемъ олова.

Желѣзо, покрытое цинкомъ, оцинкованное, имѣется тѣхъ же размѣровъ, какъ и обыкновенное кровельное желѣзо. Покрытое цинкомъ (опущенное въ горячую цинковую ванну) желѣзо вѣситъ на 0,5 kg въ 1 qm больше, чѣмъ обыкновенное черное листовое желѣзо, а покрытое свинцомъ—на 0,8 до 1,0 kg болѣе.

Желѣзо, покрытое красною мѣдью (гальванопластическимъ путемъ) съ одной или двухъ сторонъ; вѣсъ покрытія составляетъ 0,05 до 0,1 вѣса желѣза. Размѣры такіе же, какъ и кровельнаго желѣза.

Желѣзо, покрытое никкелемъ. Съ одной или двухъ сторонъ желѣзнаго листа къ нему привариваются тонкіе листы никкеля, и все вмѣстѣ прокатывается. Вѣсъ никкелеваго покрытія = 5 до 10% отъ вѣса желѣза.

14. **Волнистое желѣзо.** Формы сѣченія, моментъ инерціи и моментъ сопротивленія см. стр. 366, № 28 и 29. Для полученія J въ cm^4 и W въ ccm на 1 m ширины листа необходимо приведенную тамъ величину по формулѣ (разм. въ cm) умножить на $100 : B$.

Если въ форм. стр. 366 H, B и δ даны въ mm, то приблизительно на пог. метръ ширины будемъ имѣть:

$$J = 0{,}1\,[0{,}103 + 0{,}186\,(H : B)]\,H^2\,\delta \text{ въ } cm^4,$$
$$W = [0{,}196 + 0{,}354\,(H : B)]\,H\,\delta \text{ въ ccm.}$$

Волнистые листы большею частью прокатываются изъ листового желѣза, причемъ листы имѣютъ самые разнообразные размѣры и въ продажѣ встрѣчаются черными, крашеными, покрытыми свинцомъ, большею частью оцинкованными. Вѣсъ 1 qm желѣза, оцинкованнаго съ двухъ сторонъ, увеличивается на $z = 0{,}6$ kg на qm прямого (не волнистаго) листа. Это даетъ вѣсъ цинка $z\,(w : 7{,}85)$ kg/qm, если w вѣсъ литого волнистаго листового желѣза на 1 qm площади въ планѣ. По отношенію высоты волны H къ ея длинѣ B различаютъ:

α. Пологое волнистое желѣзо	$H : B \leqq 0{,}5$	и $B =$	60 до 300 mm,
β. Волнистое жалузи	$H : B \leqq 0{,}5$	„ $B =$	25 „ 60
γ. Балочное волнистое желѣзо	$H : B > 0{,}5$	„ $B =$	60 „ 180

НТБ ДНУЗТ

α. **Пологое волнистое желѣзо** встрѣчается въ продажѣ толщиною № 17 до 24 германскаго калибра (стр. 984). Длина листовъ (2,0 до 3,0 m) и ширина (0,65 до 0,95 m) зависятъ отъ размѣровъ плоскихъ листовъ, изъ которыхъ изготовляется волнистое желѣзо. Употребительныя профили приведены въ слѣдующей таблицѣ. Моменты сопротивленія, сѣченіе и вѣсъ для толщины большей или меньшей 1 mm получаются (приблизительно) умноженіемъ данныхъ таблицы на соотвѣтственную толщину листа δ въ mm; болѣе точно для момента сопротивленія имѣемъ факторъ $\delta H : (H + \delta)$. Вѣсъ въ таблицѣ указанъ для неокрашенныхъ и неоцинкованныхъ листовъ литого желѣза.

Волнистое желѣзо (низкія волны).

Длина волны *B*.	Высота волны *H*.	Сѣченіе на 1 m ширины листа.	Вѣсъ одного qm волнист. желѣза.	Моментъ сопротивленія на 1 m шир. листа	Длина волны *B*.	Высота волны *H*.	Сѣченіе на 1 m ширины листа.	Вѣсъ одного qm волнист. желѣза.	Моментъ сопротивленія на 1 m шир. листа.
		и на 1 mm толщ. листа.					и на 1 mm толщ. листа.		
mm	mm	qcm	kg	ccm	mm	mm	qcm	kg	ccm
60	30	15,7	12,3	11,4	140	70	15,7	12,3	26,7
60	25	14,1	11,1	8,9	150	60	13,8	10,8	20,6
70	35	15,7	12,3	13,3	150	75	15,7	12,3	28,6
75	30	13,8	10,8	10,3	160	65	13,9	10,9	22,6
80	40	15,7	12,3	15,2	160	80	15,7	12,3	30,5
85	35	14,0	11,0	12,4	170	85	15,7	12,3	32,4
90	45	15,7	12,3	17,1	175	70	13,8	10,8	24,0
100	40	13,8	10,8	13,8	180	90	15,7	12,3	34,4
100	50	15,7	12,3	19,0	185	75	13,9	10,9	26,1
110	45	14,0	11,0	15,8	190	95	15,7	12,3	36,3
110	55	15,7	12,3	20,9	200	80	13,8	10,8	27,5
120	60	15,7	12,3	22,9	200	100	15,7	12,3	38,2
125	50	13,8	10,8	17,2	220	110	15,7	12,3	42,0
130	65	15,7	12,3	24,8	240	120	15,7	12,3	45,8
135	55	13,9	10,9	19,2	250	100	13,8	10,8	34,4

Примѣръ. Пологое волнистое желѣзо перекрываетъ крышу по прогонамъ изъ угольниковъ, имѣющихъ свободный пролетъ 2,0 m. Нагрузка отъ собств. вѣса, вѣса снѣга и давленія вѣтра принята въ 135 kg/qm. Нагрузка на 1 m ширины листа будетъ $2{,}0 \,.\, 135 = 270$ kg. Необходимо:

$$W = \frac{270 \,.\, 200}{8 \,.\, 750} = 9{,}0 \text{ ccm}.$$

По предыдущей таблицѣ для даннаго случая достаточно волнистое желѣзо $B = 75$ mm и $H = 30$ mm, для котораго $W = 10{,}3$ ccm. Толщина $\delta = 1$ mm достаточна, такъ какъ волнистое желѣзо служитъ лишь покрытіемъ.

β. **Волнистое жалузи** имѣетъ толщину соотвѣтственно № 19 до 26 нѣмецкаго калибра (см. стр. 984), изготовляется изъ литого желѣза или стали. Таблица размѣровъ (примѣчанія къ ней см. α).

НТБ ДНУЗТ

Длина волны B mm	Высота волны H mm	Сѣченіе на 1 m ширины листа	Вѣсъ 1 qm волнистаго листа	Момен. сопрот. на 1 m ширины листа
		и на 1 mm толщины листа.		
		qcm	kg	ccm
25	10	13,8	10,8	3,4
30	15	15,7	12,3	5,7
40	20	15,7	12,3	7,6
50	20	13,8	10,8	6,9
50	25	15,7	12,3	9,5

γ. **Балочное волнистое желѣзо** имѣетъ толщину № 2 до 19 германскаго калибра (см. стр. 984). Большею частью изъ литого желѣза. Для покрытія крышъ употребляется прямымъ или **сводчатымъ. Сводчатое волнистое желѣзо** имѣетъ посрединѣ подъемъ $^1/_{12}$ до $^1/_{10}$. Употребляется для перекрытій между двутавровыми балками; при спокойной равномѣрной нагрузкѣ сводчатое желѣзо вышеуказаннаго подъема несетъ грузъ въ 8 до 10 разъ бо̀льшій, чѣмъ прямое волнистое желѣзо; а при подвижной и односторонней нагрузкѣ только въ 4 до 6 разъ бо̀льшій грузъ. Употребляется часто для крышъ безъ стропилъ. Обыкновенная длина доски 3 до 4 m, наибольшая 6 m. Ширина доски зависитъ отъ высоты профили и толщины желѣза; мѣняется отъ 0,45 до 0,90 m. При постройкахъ слѣдуетъ принимать ширину доски на $^1/_2$ ширины волны меньше, нежели вся ширина доски. Для перекрышекъ въ боковыхъ и долевыхъ швахъ вмѣстѣ необходимо прибавлять отъ 7 до 9% вѣса листа, смотря по профили, а вмѣстѣ съ частями, прикрѣпляющими волнистое желѣзо къ строенію крыши, до 12%. Для нижеслѣдующей таблицы см. примѣч. въ *α*.

Волнистое желѣзо (высокія волны).

Длина волны B mm	Высота волны H mm	Сѣченіе на 1 m ширины листа.	Вѣсъ одного qm волнист. желѣза.	Моментъ сопротивленія на 1 m шир. листа.	Длина волны B mm	Высота волны H mm	Сѣченіе на 1 m ширины листа.	Вѣсъ одного qm волнист. желѣза.	Моментъ сопротивленія на 1 m шир. листа.
		и на 1 mm толщ. листа.					и на 1 mm толщ. листа.		
		qcm	kg	ccm			qcm	kg	ccm
60	40	19,0	14,9	18,0	100	100	25,7	20,2	56,0
60	60	25,7	20,2	34,6	100	120	29,7	23,3	78,5
70	70	25,7	20,2	40,4	105	70	19,0	14,9	31,7
75	50	19,0	14,9	22,6	110	110	25,7	20,2	62,9
75	75	25,7	20,2	43,2	120	80	19,0	14,9	36,3
75	90	29,7	23,3	58,9	120	120	25,7	20,2	69,7
80	80	25,7	20,2	46,3	135	90	19,0	14,9	40,8
90	60	19,0	14,9	27,2	150	100	19,0	14,9	45,3
90	90	25,7	20,2	52,2	165	110	19,0	14,9	49,9
90	110	30,2	23,7	72,6	180	120	19,0	14,9	54,4

НТБ ДНУЗТ

Примѣръ. Волнистое балочное желѣзо перекрываетъ балконъ. Свободный пролеть 1,35 m, собственный вѣсъ, смазка, мостовая, обшивка снизу и полезный грузъ = 750 kg/qm площади, причемъ вѣсомъ желѣзныхъ перилъ пренебрегаемъ. Нагрузка на 1 m ширины листа = 1,35 750 = 1000 kg; необходимо:

$$W = \frac{1000 \,.\, 135}{8 \,.\, 750} = 22{,}5 \text{ ccm.}$$

По приведенной таблицѣ достаточно волнистое желѣзо $B = 75$ mm и $H = 50$ mm, для котораго $W = 22{,}6$ ccm.

Принимая во вниманіе износъ вслѣдствіе ржавленія, выбираемъ толщину $\partial = 2$ mm.

15. Инструментальная сталь. Для обыкновеннаго инструмента употребляется бессемеровая или мартеновская сталь; лучше—тигельная сталь. Для осталиванія употребляется сталь, обладающая способностью свариваться. Вольфрамовая (тигельная сталь съ прибавкой вольфрама) сталь очень тверда, но дорога и трудно поддается обдѣлкѣ. Инструментальная сталь должна быть вполнѣ однороднаго и плотнаго сложенія, при калкѣ должна дѣлаться твердою, но не давать трещинъ. При медленномъ осторожномъ нагрѣваніи послѣ закалки и при отпускѣ до опредѣленнаго цвѣта (стр. 986) сталь должна обладать достаточною тягучестью. Содержаніемъ углерода въ стали, въ зависимости отъ цѣли ея употребленія, обусловливается степень тягучести. Сталь для разныхъ цѣлей заказывается одной опредѣленной профили.

№	Назначеніе.	Профиль.	Размѣры. mm	Степень твердости и зерно.	Содержаніе углерода. %	Допускаемый жаръ при каленіи.	Цвѣтъ бумажнаго ярлыка, который должень быть наклеенъ (назначеніе и фирма).
1.	Рѣзцы токарные и строгальные.	Квадратн.	15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.	Весьма тверда и весьма мелкозерн.	1,3	Темно-вишнев.-красный	Свѣтло-желтый.
2.	Мечики съ мягкой сердцевиной.	Круглая.	10, 12, 15, 18, 20, 23, 25, 28, 30, 35, 40, 45, 50.	Тверда и мелкозерниста, внутри мягкая.	1,2	Вишнево-красный.	Свѣтло-синій.
3.	Сверла и шарошки.	Круглая.	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.	Тверда и мелкозерниста.	1,2	Вишнево-красный.	Темно-желтый.
4.	Зубила ручныя и чеканки (для слесарей).	Плоская съ круглыми краями.	13 . 25, 15 . 30.	Средней твердости.	1,0	Сильно вишнев.-красный	Карминово-красный.
5.	Зубила кузнечныя (холодныя).	Квадратн. съ притупл. углами.	30, 35, 40, 45, 50, 55.	Мягка и не очень мелкозерниста.	0,9	Сильно вишнев.-красный	Свѣтло-фіолетовый.
6.	Бородки и молотки.	Правильный восьмиугольн.	30, 35, 40, 45, 50, 55.	Мягка и крупнозерниста.	0,8	Темно-оранжевый.	Темно-синій
7.	Тигельная сталь сваривающаяся.	Въ зависимости отъ назначенія.		Очень мягка и крупнозерниста.	0,7	Сваривается.	—

НТБ ДНУЗТ

c. Условія для поставки желѣза и стали,

составленныя **союзомъ Германскихъ желѣзозаводчиковъ** 17 марта 1889, измѣненныя въ февралѣ 1893 *).

(Извлеченіе).

Съ нижеслѣдующими „Условіями для поставки желѣза и стали“ согласуются:

I. **„Особыя условія“** для изготовленія, поставки и установки большихъ клепанныхъ **желѣзныхъ конструкцій** отъ 25 ноября 1891 г., составленныя прусскимъ министерствомъ публичныхъ работъ.

II. **„Нормальныя условія для поставки желѣзныхъ конструкцій для мостовъ и гражданскихъ сооруженій“**, составленныя союзомъ нѣмецкихъ архитекторовъ и и инженеровъ, обществомъ нѣмецкихъ инженеровъ и обществомъ нѣмецкихъ желѣзозаводчиковъ въ 1886 г., измѣненныя и дополненныя условіями поставки литого желѣза (см. литое желѣзо для построекъ стр. 1023) въ 1893 г.

III. **„Измѣненныя Вюрцбургскія нормы“** отъ 25 іюня 1881, принятыя международнымъ союзомъ обществъ для охраны паровыхъ котловъ и измѣненныя имъ 27 іюня 1895 въ Килѣ (см. стр. 1029).

Общія опредѣленія.

K_z = временное сопротивленіе на растяженіе въ kg/qcm,
φ = удлиненіе при разрывѣ въ % первоначальной длины. } см. стр. 332.

Родъ испытаній. Для опредѣленія годности желѣза и стали производятся слѣдующія испытанія.

A. Проба надъ цѣльными неразрѣзанными частями сооруженія.

Холодная проба: 1. Наружній осмотръ, 2. Ударная проба, 3. Проба на изгибъ.

B. Проба надъ образцами, вырѣзанными изъ частей сооруженія.

a) Холодная проба: 1. Обыкновенная проба на изгибъ, 2. Проба на изгибъ посредствомъ повторнаго изгиба въ ту и другую сторону, 3. Проба на пробивку дыръ, 4. Проба на изломъ, 5. Проба на разрывъ, 6. Проба на кручeніе.

b) Горячая проба: 1. Проба на изгибъ, 2. Проба на изгибъ въ закаленномъ состояніи (только для литого желѣза), 3. Проба на пробивку дыръ, 4. Кузнечная проба, 5. Проба на осаживаніе.

Производство испытаній. Образцы, имѣющіе видимые недостатки, должны быть испытываемы.

Образцы для **пробы на разрывъ** отдѣляются отъ испытуемаго желѣза въ холодномъ состояніи и обрабатываются холоднымъ способомъ. Слѣдуетъ старательно устранять вліянія на качество желѣза, происходящія отъ обрѣзанія на ножницахъ, отъ пробивки дыръ и отъ вырубки. Отжигать образцовъ не слѣдуетъ въ томъ случаѣ, если соотвѣтствующая часть не подвергается равнымъ образомъ отжиганію.

Наружній слой металла, остающійся послѣ прокатки, не долженъ быть по возможности удаляемъ съ поверхности образца. Образцы для пробы должны имѣть между кернами длину 200 mm при поперечномъ сѣченіи 300 до 500 qmm. Для круглыхъ образцовъ діаметромъ менѣе 20 mm длина выбирается равной десятерному діаметру **). Внѣ разстоянія между кернами пробные образцы (круглые и плоскіе) имѣютъ то же сѣченіе на длинѣ 10 mm въ обѣ стороны.

---

*) См. Centralbl. d. Bauverw. 1893, стр. 50, далѣе Zeitschr. d. V. d. Ing. 1893, стр. 364.

) Въ основаніи этого правила лежитъ нижеслѣдующій **законъ Барба и Кика, подтвержденный многочисленными опытами (см. стр. 627):

Геометрически подобныя тѣла изъ одного и того же матеріала получаютъ при одинаковыхъ условіяхъ, вслѣдствіе одинаковыхъ напряженій, геометрически подобныя измѣненія формы, т.-е. при двухъ пробахъ на разрывъ, взятыхъ изъ одного и того же бруса, при одинаковыхъ напряженіяхъ получаются одинаковыя удлиненія только въ томъ случаѣ, если всѣ размѣры внутри и внѣ испытуемой длины (между кернами) и самая длина находятся въ одинаковомъ отношеніи.

Слѣдовательно, если принять за основной нормальный образецъ діаметромъ 20 mm, длиною между кернами 200 mm при всей длинѣ 220 m (образецъ этотъ

НТБ ДНУЗТ

Если, при производствѣ пробы, разрывъ происходитъ внѣ средней трети испытуемой длины образца, то надо повторить пробу въ томъ случаѣ, когда удлиненіе—недостаточно.

Разрывныя машины должны быть такъ устроены, чтобы ихъ можно было легко и точно повѣрять.

Для **пробы на изгибъ** примѣняются полосы шириною 30 до 50 mm или бруски круглаго желѣза толщиною, соотвѣтствующей толщинѣ полосъ, употребляемыхъ въ дѣло. Пробные образцы должны быть отдѣляемы отъ брусковъ холоднымъ путемъ. Ребра полосъ слѣдуетъ закруглять.

I. Желѣзо для построекъ.

Сюда относятся сорта прокатнаго, сварочнаго или литого желѣза, примѣняющіеся въ постройкѣ мостовъ и другихъ большихъ желѣзныхъ конструкцій. Окончательное испытаніе и пріемка должны происходить на заводѣ.

Общія опредѣленія см. стр. 1021.

1. Сварочное желѣзо.

Внѣшнія свойства. Желѣзо должно хорошо свариваться и хорошо осаживаться, не быть ломкимъ ни въ холодномъ состояніи, ни при красномъ нагрѣвѣ; оно не должно имѣть долевыхъ рванинъ на поверхности. Оно должно имѣть ровную поверхность, не должно быть рванинъ на кромкахъ, непроваренныхъ мѣстъ и другихъ пороковъ.

Выборъ и число пробъ. Изъ 100 штукъ можно брать 3 пробы. Если онѣ удовлетворяютъ поставленнымъ требованіямъ, то эти 100 штукъ считаются принятыми. Если одна изъ 3 пробъ неудовлетворительна, то слѣдуетъ взять еще 2 пробы изъ той же партіи. Если одна изъ послѣднихъ не удовлетворяетъ требованіямъ, то матеріалъ бракуется.

А. Пробы на разрывъ и удлиненіе. Наименьшія допускаемыя величины:

1. Для плоскаго и фасоннаго (углового, круглаго, квадратнаго, двутаврoваго, корытнаго, зетоваго, тавроваго и др.) желѣза и для такихъ листовъ, которые подвергаются напряженію главнымъ образомъ по направленію длины ихъ, временное сопротивленіе на растяженіе по направленію прокатки, при толщинѣ:

10 mm или меньше .	$K_z = 3600$ kg/qcm,	Удлиненіе $\varphi = 12\%$.
отъ 10 mm до 15 mm включ.	$K_z = 3500$	
„ 15 „ „ 25 „ „	$K_z = 3400$ „	

Въ зависимости отъ способа изготовленія балокъ слѣдуетъ принимать въ нихъ для вертикальныхъ стѣнокъ K, на 100 kg/qcm и φ на 2% меньше, чѣмъ для полокъ.

2. Для листовъ, съ ясно выраженнымъ направленіемъ прокатки, подвергающихся преимущественно изгибающимъ напряженіямъ, напр. для вертикальныхъ стѣнокъ клепаныхъ балокъ:

по направленію прокатки: $K_z = 3500$ kg/qcm, $\varphi = 10\%$,
„ поперечному направленію: $K_z = 2800$ „ , $\varphi = 3\%$.

3. Для листовъ, съ неясно выраженнымъ направленіемъ прокатки, подвергающихся главнымъ образомъ напряженіямъ по разнымъ направленіямъ, напр., соединительные листы (косынки),

по направленію прокатки: $K_z = 3500$ kg/qcm, $\varphi = 10\%$,
поперечному направленію: $K_z = 3000$ $\varphi = 4\%$.

сталъ международнымъ), то для образцовъ, отступающихъ отъ нормы по величинѣ и формѣ сѣченія, согласно закона Кика, при любой формѣ сѣченія, неимѣющей вліянія на результатъ, испытуемую длину:

$$l = 11{,}3\sqrt{F} \text{ и всю длину: } l_g = 12{,}5\sqrt{F},$$

выбираютъ по этимъ формуламъ (F = поперечное сѣченіе образца въ qmm), если желательно получить величину удлиненія такую же, какъ и для нормальнаго образца.

Отдѣльныя дѣленія въ предѣлахъ испытуемой длины у различныхъ образцовъ даютъ также почти одинаковое удлиненіе, если размѣры этихъ дѣленій выбраны пропорціонально сѣченіямъ этихъ образцовъ (табл. см. прибавленіе къ VIII отдѣлу, инструкція для изготовленія и испытанія нормальныхъ образцовъ металловъ на разрывъ).

НТБ ДНУЗТ

4. Для заклепочнаго, болтового и пр. желѣза по продольному направленію, діаметромъ до 25 mm включительно . . $K_z = 3800$ kg/qcm, $\varphi = 18\%$,
„ болѣе 25 mm до 40 mm включительно . . $K_z = 3600$ „ $\varphi = 15\%$.

5. Для желѣза Зоре: $K = 3300$ kg/qcm, $\varphi = 6\%$.

B. Другія пробы.

1. Плоское фасонное и лястовое желѣзо.

a) Пробы на изгибъ. Полосы, вырѣзанныя по продольному направленію, должны загибаться подъ угломъ вокругъ закругленія радіусомъ въ 13 mm, причемъ желѣзо не должно показывать излома въ мѣстѣ загиба. Уголъ загиба α для холоднаго состоянія и соотв. α_1 для темновишневаго каленія составляетъ:

при толщинѣ 8 до 11 mm $\alpha = 50^0$, при толщинѣ 12 до 15 mm $\alpha = 35^0$,
„ „ 16 „ 20 „ $\alpha = 25^0$, „ „ 21 „ 25 „ $\alpha = 15^0$,
при толщинѣ до 25 mm $\alpha_1 = 120^0$, при толщинѣ болѣе 25 mm $\alpha_1 = 90^0$.

b) Пробы на расплющиваніе. Полоса, шириною 30 до 50 mm, отдѣленная въ холодномъ состояніи отъ углового, плоскаго или листового желѣза, должна при красномъ каленіи подъ ударами молотка, ударная часть котораго заклуглена рад. 15 mm, увеличиваться въ ширину до 1,5 первоначальной ширины, не обнаруживая при этомъ слѣдовъ разрыва.

2. Закленочное желѣзо.

a) Пробы на изгибъ. Заклепочное желѣзо должно согнуться въ холодномъ состояніи ударами молотка до взаимнаго сближенія концовъ полосы на разстояніе, равное половинѣ толщины этой полосы, не обнаруживая слѣдовъ разрыва.

b) Пробы на осаживаніе. Кусокъ заклепочнаго желѣза, длиной равной двойному діаметру, долженъ въ горячемъ состояніи, соотвѣтствующемъ цѣли употребленія желѣза, осаживаться на треть своей длины, не обнаруживая разрывовъ.

C. Отступленія въ размѣрахъ и вѣсѣ. Если желѣзо требуется точной длины, то допускаются слѣдующія отклоненія:

для плоскаго, углового, круглаго и квадратнаго желѣза увеличеніе длины до 20 mm,
для листового желѣза увеличеніе длины и ширины до 20 mm,
для балокъ увеличеніе длины до 50 mm.

Нормальный вѣсъ получается по размѣрамъ и удѣльному вѣсу. Допускаются слѣдующія отклоненія:

Для плоскаго, углового, круглаго и квадратнаго желѣза на всю партію увеличеніе вѣса до 3%, для отдѣльныхъ полосъ увеличеніе вѣса до 5% и уменьшеніе вѣса до 2%.

Для листового желѣза на всю партію $\pm$ 3%, для отдѣльныхъ листовъ $\pm$ 5%.

Для балокъ $\pm$ 6%, причемъ при заказѣ большой партіи одной профили можетъ быть обусловлена бо̀льшая точность.

Если для отдѣльныхъ полосъ или листовъ отступленія въ вѣсѣ превышаютъ приведенныя, то соотвѣтствующія части могутъ быть не приняты.

2. Литое желѣзо.

Литое желѣзо должно имѣть ровную поверхность безъ разслоеній, причемъ не должно обнаруживаться разрывовъ на кромкахъ и другихъ нецѣльныхъ мѣстъ.

Выборъ и число пробъ. Если контрактомъ обусловлена проба по плавкамъ, то каждая полоса, предъявляемая пріемщику, должна имѣть номеръ соотвѣтствующей плавки. Изъ каждой плавки берутся 3 штуки, однако не больше 1 штуки на каждыя 20 штукъ, и подвергаются нижеуказаннымъ пробамъ.

Если въ контрактѣ не обусловлена проба по плавкамъ, то изъ каждыхъ 100 штукъ берутся для испытаній 5, но не болѣе 1 штуки на каждые полные или начатые 2000 kg тои же профили. Въ обоихъ случаяхъ слѣдуетъ для пробъ брать припуски, оставляемые для обрѣзанія въ мѣру.

Если всѣ пробы удовлетворяютъ поставленнымъ требованіямъ, то соотвѣтствующая партія принимается. Если одна проба неудовлетворительна, то берутъ еще 2 пробы изъ того же матеріала. Если одна изъ послѣднихъ опять не удовлетворяетъ требованіямъ, то вся партія бракуется.

Нижеслѣдующія данныя примѣняются при толщинѣ 7 до 28 mm; для прочихъ толщинъ необходимы особыя условія.

НТБ ДНУЗТ

A. Пробы на разрывъ и удлиненіе.
Въ продольномъ направленіи $K_z = 3700$ и не болѣе 4400 kg/qcm, $\varphi \geqq 20\%$;
„ поперечномъ „ $K_z = 3600$ „ „ „ 4500 „ $\varphi \geqq 17\%$.
Для заклепочнаго и болтового желѣза $K_z = 3600$ и не болѣе 4200 kg/qcm, $\varphi \geqq 22\%$.

B. Другія пробы.
1. Плоское, фасонное и листовое желѣзо.
a) Пробы на изгибъ. Полосы, вырѣзанныя вдоль и поперекъ, слѣдуетъ нагрѣвать до свѣтло-краснаго каленія, опустить въ воду температурой около 28° C и затѣмъ согнуть ихъ такъ, чтобы онѣ образовали скобу, діаметръ которой въ мѣстѣ изгиба для продольной полосы = одинарной и для поперечной полосы = двойной толщинѣ испытываемой части. Продольныя полосы не должны обнаруживать никакихъ разрывовъ, въ поперечныхъ полосахъ допускаются незначительные разрывы на поверхности.

b) Проба на изгибъ при красномъ нагрѣвѣ. Откованная полоса, толщ. 6 mm и около 40 mm шириною, пробивается конической оправкой діам. 20/30 mm, длиною 80 mm. Дыра діам. 20 mm увеличивается до 30 mm, не обнаруживая по окружности своей слѣдовъ разрыва.

2. Матеріалъ для заклепокъ и болтовъ.
Проба на изгибъ. Полосы круглаго желѣза нагрѣваются до свѣтло-краснаго каленія, погружаются въ воду 28°, и при изгибѣ должны образовать скобу, діаметръ которой въ мѣстѣ изгиба равенъ половинѣ толщины испытываемаго образца; при этомъ не должно обнаруживаться трещинъ.

II. Желѣзо котельное.

Общія данныя.

Допускаемыя отступленія въ длинѣ, ширинѣ, толщинѣ и вѣсѣ для листовъ толщиною болѣе 5 mm см. стр. 902, въ 2.

Для листовъ толщиною менѣе 5 mm относительно толщины и вѣса, допускается при толщинѣ отъ 2 до 5 mm: отступленіе до $\pm$ 5%, отъ 1 до 2 mm: $\pm$ 7% и отъ 0,5 до1,0 mm: $\pm$ 9%, причемъ ширина и длина листовъ не должны превосходить слѣдующихъ предѣловъ:

Наибольш. ширина. mm	При толщинѣ: mm		При ширинѣ: mm	Наибольшая длина. mm
1000	отъ 0,5 до 0,75 включит.	{	менѣе 800	2000
			отъ 800 до 1000	1800
1150	„ 0,875 „ 1,0	{	менѣе 900	2500
			„ 900 „ 1150	2250
1400	1,125 „ 1,375	{	менѣе 1000	3000
			„ 1000 „ 1250	2600
			„ 1300 „ 1400	2300
1500	1,5	{	менѣе 1000	3800
			„ 1000 „ 1300	2800
			„ 1250 „ 1500	2500
1700	2,25 „ 3,0	{	менѣе 1000	4000
			„ 1000 „ 1250	3500
			„ 1250 „ 1400	3200
			„ 1400 „ 1700	2800
1700	3,25 „ 4,9	для кажд. ширины до 1700.		4000

При бо́льшихъ размѣрахъ листы принимаются съ тѣми размѣрами, какіе они имѣютъ, если наиболѣе тонкое мѣсто соотвѣтствуетъ требуемой толщинѣ.

НТБ ДНУЗТ

Пробы. Для испытанія пригодности листовъ сварочнаго или литого желѣза должны быть произведены: 1. Пробы на разрывъ и вытягиваніе, 2. На изгибъ въ незакаленномъ и закаленномъ состояніи и 3. Проба кузнечная и на пробиваніе дыръ.

Приготовленіе образцовъ. Пробныя полосы, подвергаемыя испытанію на разрывъ, вытягиваніе и изгибъ, должны быть выправлены въ горячемъ состояніи и отожжены; испытанію подлежатъ образцы лишь безъ пороковъ. Длина полосъ около 400 mm, и ширина ихъ въ необдѣланномъ видѣ должна быть не менѣе 50 mm. Края пробной полосы должны быть тщательно обдѣланы на станкѣ или отъ руки настолько тщательно, чтобы вредное вліяніе рѣзца было устранено. Наружній слой металла, остающійся послѣ прокатки, ни въ какомъ случаѣ не долженъ быть удаляемъ отъ пробнаго бруска. Края брусковъ, подвергаемыхъ разрывной пробѣ, должны быть на длинѣ 200 mm чисто обдѣланы; сѣченіе, подвергаемое разрыву, должно имѣть не менѣе 300 qmm и не болѣе 600 qmm. Бруски, подвергаемые испытанію на изгибъ, должны имѣть закругленные края.

Пріемка. Листы не должны обнаруживать на поверхности никакихъ пороковъ, ни рванинъ. Они осматриваются на заводѣ до обрѣзки кромокъ, пробныя полосы берутся отъ краевъ.—Выборъ листовъ, отъ которыхъ должны быть взяты пробныя полосы, принадлежитъ пріемщику.—Если послѣ разрыва или изгибанія хорошихъ по наружнему виду пробныхъ образцовъ въ нихъ будутъ найдены пороки, то результаты испытанія такихъ образцовъ, при рѣшеніи вопроса относительно исполненія условій поставки, въ разсчетъ не принимаются.—Удлиненіе φ въ % считается для длины 200 mm, обозначенной кернами.—Уголъ загиба выражается въ градусахъ. Пробная полоса считается сломанной, если въ желѣзѣ на выпуклой сторонѣ въ срединѣ мѣста загиба замѣчается ясный надломъ.

При холодной пробѣ на изгибъ бруски загибаются вокругъ желѣзнаго стержня толщиною 25 mm; при толщинѣ листовъ свыше 25 mm діаметръ стержня принимается равнымъ толщинѣ листа.

При пробѣ на изгибъ въ закаленномъ состояніи одинъ образецъ, изготовленный вдоль прокатки, а другой—поперекъ прокатки, нагрѣваются до слабаго вишнево-краснаго цвѣта, охлаждаются въ водѣ, температурой 28^0 и затѣмъ загибаются вокругъ стержня опредѣленнаго діаметра.

1. Листы сварочнаго желѣза.

α. Листы для судовыхъ корпусовъ.

Различаютъ два сорта листовъ I и II. При пробѣ на разрывъ.

Сортъ I. вдоль волоконъ $K_z = 3500$; поперекъ волокъ $K_z = 2850$ kg/qcm,
удлиненіе $\varphi = 7\%$ „ $\varphi = 5\%$;
Сортъ II. „ $K_z = 3150$; „ $K_z = 2750$ kg/qcm,
удлиненіе $\varphi = 5\%$ „ „ $\varphi = 3\%$.

При изгибѣ въ нагрѣтомъ состояніи пробныя полосы должны загибаться на слѣдующіе углы:

вдоль волоконъ $\alpha = 125^0$ для сорта I; $\alpha = 90^0$ для сорта II;
поперекъ волоконъ $\alpha = 90^0$ „ „ I; $\alpha = 60^0$ „ „ II.

Для изгиба въ холодномъ состояніи углы должны быть:

При толщинѣ листа. mm	Сортъ I		Сортъ II		При толщинѣ листа. mm	Сортъ I		Сортъ II	
	вдоль	поперекъ.	вдоль	поперекъ.		вдоль	поперекъ.	вдоль	поперекъ.
отъ 5 и мен.	90^0	40^0	75^0	30^0	отъ 17 до 19	25^0	10^0	20^0	5^0
„ 6 до 8	70	30	55	20	„ 20 „ 22	20	5	15	
„ 9 „ 11	50	20	45	15	„ 23 „ 25	15	5	10	
„ 12 „ 16	35	15	30	10					

β. Листы паровыхъ котловъ.

Различаются трехъ сортовъ: 1) огневые листы, 2) листы для отгибанія на нихъ бортовъ и 3) листы для цилиндрической части котла.

НТБ ДНУЗТ

Изъ огневыхъ листовъ должны быть изготовлены тѣ листы котла, которые подвергаются непосредственному дѣйствію первой лучистой теплоты въ тонкѣ. Для звеньевъ жаровыхъ трубъ, днищъ колпаковъ, патрубковъ и всѣхъ частей, на которыхъ отгибаются борты, слѣдуетъ употреблять желѣзо для отгибанія бортовъ. Всѣ остальныя стѣнки котла могутъ быть изготовлены изъ обыкновенныхъ листовъ для цилиндрической части котла.

Проба на разрывъ и удлиненіе. Для всѣхъ сортовъ желѣза величина K_z не должна превосходить 40 kg/qmm. Для листовъ толщиною до 25 mm разрывныя пробы должны удовлетворять инжеслѣдующимъ даннымъ:

Сортъ:	Огневые листы.		Бортовые листы.		Листы цилиндр. части котла.	
Направленіе волоконъ.	вдоль	поперекъ	вдоль	поперекъ	вдоль	поперекъ
Временное сопротивленіе K въ kg/qmm . .	36	34	35	33	33	30
Удлиненіе φ въ %	18	12	12	8	7	5

Каждая цифра можетъ быть на 1 меньше приведенной наименьшей, если соотвѣтствующая вторая цифра будетъ на 1 больше.

Для листовъ толщиною свыше 25 mm наименьшая величина временнаго сопротивленія уменьшается на 0,5 kg/qmm для каждыхъ 2 mm увеличенія толщины листа. Напр., для листовъ цил. части толщиною 26 до 28 mm вдоль прокатки $K_z = 32{,}5$ kg/qmm. поперекъ $K_z = 29{,}5$ kg/qmm.

Проба на изгибъ. Голосы желѣзныхъ листовъ должны изгибаться въ холодномъ и нагрѣтомъ состояніи до нижеслѣдующихъ угловъ:

Въ холодномъ состояніи.	При толщинѣ листа въ mm	для огневыхъ листовъ. вдоль	для огневыхъ листовъ. поперекъ	для бортовыхъ листовъ. вдоль	для бортовыхъ листовъ. поперекъ	для листовъ цилиндр. части котла. вдоль	для листовъ цилиндр. части котла. поперекъ
	6 до 8	130°	110°	110°	90°	70°	45°
	8 „ 10	120	100	100	80	65	40
	10 „ 12	110	90	90	70	60	35
	12 „ 14	100	80	80	60	55	30
	14 „ 16	90	70	70	50	50	25
	16 „ 18	80	60	60	40	45	20
Въ холодномъ состояніи.	При толщинѣ листа въ mm	для огневыхъ листовъ. вдоль	для огневыхъ листовъ. поперекъ	для бортовыхъ листовъ. вдоль	для бортовыхъ листовъ. поперекъ	для листовъ цилиндр. части котла. вдоль	для листовъ цилиндр. части котла. поперекъ
въ нагр. состоян.	18 до 20	70°	50°	55°	30°	40°	17°
	20 „ 22	60	40	50	25	35	15
	22 „ 24	55	30	45	20	30	12
	24 „ 26	50	20	40	15	25	10
	произвольная	180	180	180	150	150	100

Проба кузнечная и на пробивку дыръ. Полосы шириною въ 100 mm, нагрѣтыя до краснаго каленія, должны по направленію поперекъ прокатки увеличиваться въ ширину не менѣе, чѣмъ въ 1,5 раза, причемъ на поверхности и на краяхъ не должно обнаруживаться трещинъ и разслоеній. При пробивкѣ дыръ въ нагрѣтыхъ докрасна полосахъ, на разстояніи отъ края, равномъ половинѣ толщины полосы, въ краяхъ не должно обнаруживаться разрывовъ и трещинъ.

γ. Тонкіе и другіе листы.

Вслѣдствіе большого разнообразія въ примѣненіи этихъ сортовъ невозможно дать особыхъ условій относительно ихъ качества. Для тонкихъ листовъ проба на разрывъ вообще должна быть исключена.

2. Листы литого желѣза.

α. **Листы для судовыхъ корпусовъ** только одного качества: $K_z = 3500$ до 4500 kg/qcm; $\varphi \geqq 20\%$.

β. **Листы для паровыхъ котловъ** различаютъ двухъ сортовъ: огневые листы, листы для цилиндрической части котла.

НТБ ДНУЗТ

Изъ огневыхъ листовъ II сорта изготовляются лишь части котла, которыя приходятъ въ соприкосновеніе съ горячими газами или на которыхъ отгибаются борты (напр., днища, патрубки, колпаки и пр.). Всѣ остальныя части котла должны изготовляться изъ листовъ для цилиндрической части котла.

При пробѣ на разрывъ требуется:	для огневыхъ листовъ вдоль и поперекъ.	для листовъ цилиндрич. части котла вдоль и поперекъ.
K_z. въ kg/qmm	34 до 40	36 до 42
φ не менѣе	25%	20%

Пробы на изгибъ. Въ холодномъ состояніи полоса должна изгибаться на 180°. Въ нагрѣтомъ состояніи концы полосы должны прикасаться между собою вплотную. Въ закаленномъ состояніи полоса (изъ огневыхъ листовъ) должна огибать стержень діаметромъ, равнымъ двойной толщинѣ листа, до угла въ 180°, а изъ листовъ цилиндрической части котла—стержень діаметромъ, равнымъ тройной толщинѣ листа.

Проба кузнечная и на пробивку дыръ такая же, какъ и для листовъ сварочнаго желѣза.

γ. **Тонніе и другіе листы** какъ для сварочнаго желѣза (см. стр. 1026).

III. Желѣзо, встрѣчающееся въ торговлѣ.

1. Сварочное желѣзо.

Приводимыя ниже данныя для прочности и удлиненія служатъ для плоскаго и углового желѣза толщиною только до 16 mm, для круглаго и квадратнаго желѣза толщиною только до 25 mm. Если требуется испытаніе болѣе толстаго желѣза, то оно должно быть приведено къ этимъ нормамъ помощью прокатки или кузнечной обработки. Значенія для K_z и φ приведены наименьшія. Удлиненіе слѣдуетъ наблюдать на длинѣ 200 mm.

Слѣдуетъ различать три сорта: 1. Заклепочное желѣзо (best-best), 2. Подковное желѣзо (best), 3. Обыкновенное рыночное желѣзо и балки для построекъ.

1. **Заклепочное желѣзо**. Требуется $K_z = 3700$ kg/qcm, $\varphi = 15\%$.

Образцы изъ плоскаго или углового желѣза, шириною 30 до 50 mm и толщиною не болѣе 16 mm, квадратнаго или круглаго желѣза толщиною до 25 mm, съ закругленными посредствомъ пилы ребрами, должны въ холодномъ состояніи сгибаться въ скобу, внутренній діаметръ которой въ мѣстѣ загиба = толщинѣ желѣза, безъ слѣдовъ разрыва въ металлѣ.—Въ горячемъ состояніи образцы должны складываться плотно; кусокъ круглаго желѣза длиною, равной двойному діаметру, долженъ осаживаться на половину своей длины, не обнаруживая разрывовъ.

2. **Подковное желѣзо**. Требуется $K_z = 3500$ kg/qcm, $\varphi = 12\%$.

Образцы, какъ въ 1., должны въ холодномъ состояніи сгибаться безъ разрыва въ скобу, внутренній діаметръ которой въ мѣстѣ загиба = двойной толщинѣ желѣза. Въ горячемъ состояніи образцы должны сгибаться безъ разрыва въ скобу, внутренній діаметръ которой въ мѣстѣ загиба равенъ толщинѣ желѣза.

3. **Обыкновенное рыночное желѣзо и балки для построекъ**. Для этого сорта испытанія съ гарантіей не употребительны, да и являются излишними.

2. Литое желѣзо.

1. **Заклепочное и подковное желѣзо**. Желѣзо должно имѣть ровную поверхность, безъ разслоеній, пузырей и прослойковъ, не должно замѣчаться разрывовъ на кромкахъ и другихъ нецѣльныхъ мѣстъ. Требуется $K_z = 3400$ до 4400 kg/qcm, $\varphi = 20\%$.

2. **Обыкновенное рыночное желѣзо и балки для построекъ**—какъ выше, сварочнаго желѣза.

НТБ ДНУЗТ

IV. Проволока.

Качество желѣзной проволоки весьма различное и зависитъ исключительно отъ цѣли, для которой проволока предназначается.

Оцинкованная, отожженная телеграфная проволока литого желѣза. (Неоцинкованная проволока для телеграфныхъ проводовъ употребляется лишь въ рѣдкихъ случаяхъ).

$K_z \geqq$ 4000 kg/qcm при постепенной нагрузкѣ и длинѣ образца 15 cm.

Испытаніе на перекручиваніе. Кусокъ проволоки длиною 15 cm испытывается при помощи особаго приспособленія на перекручиваніе.

Проволока діаметромъ	6	5	4	3	2,5	2	1,7 mm
должна выдерживать	16	19	23	28	30	32	38 оборотовъ.

Проба на изгибъ. Проволока при помощи особаго приспособленія зажимается въ особыя губки, закругленныя по радіусу 10 или 5 mm, и затѣмъ загибается при помощи рычага вправо и влѣво на 180° въ противоположныя стороны до излома.

Проволока діаметромъ	6	5	4	3	2,5	2	1,7	mm
должна выдерживать	6	7	8	8	11	14	16	изгибовъ
въ губкахъ радіусомъ	10			5				mm.

Оцинкованная телефонная проволока (литой стали). (Для телефоновъ лучше бронзовая проволока). $K_z = 13\,000$ до $14\,000$ kg/qcm, $\varphi = 5\%$ для зажатаго на концахъ и нагруженнаго куска проволоки длиною 500 mm.

Изгибъ какъ и телеграфной проволоки въ губкахъ радіусомъ 5 mm:

Проволока діаметромъ	2,5	2,2	2	1,8	1,6 mm
должна выдерживать	4	6	7	8	10 изгибовъ.

V. Чугунъ.

Условія для строительнаго чугуна, машиннаго чугуна и чугунныхъ трубъ.

Чугунныя отливки (если не требуется особый сортъ чугуна, какъ-то: твердый чугунъ и т. п.) должны быть изъ сѣраго мягкаго чугуна безъ пороковъ. При ударѣ о прямой уголъ чугунной отливки должно получиться вдавленное мѣсто безъ облома или выкрашиванія угла. Чугунъ для трубъ долженъ быть мелко-зернистый, тягучій и легко поддаваться обдѣлкѣ зубиломъ и напильникомъ.

Требуется $K_z \geqq$ 1200 kg/qcm. Необработанный брусокъ квадратнаго сѣченія 30 mm въ сторонѣ, положенный на опоры, удаленныя другъ отъ друга на 1 m, долженъ до излома выдерживать нагрузку, постепенно увеличивающуюся до 450 kg, т.-е. $K_b \geqq$ 2500 kg/qcm.

1. **Трубы.** См. стр. 563 и слѣд.

2. **Колонны.** Разница въ толщинѣ стѣнокъ, сѣченіе которыхъ должно въ общемъ вполнѣ равняться требуемому, допускается для колоннъ наружняго діаметра 400 mm и длиной 4 m не болѣе 5 mm. Для колонны бо́льшаго діаметра и большей длины на каждые 100 mm увеличенія діаметра и на каждый метръ длины допускается увеличеніе этого отступленія на 0,5 mm. Толщина стѣнокъ во всякомъ случаѣ не должна быть менѣе 10 mm.

VI. Стальныя отливки (литая сталь).

Стальныя отливки должны быть исполняемы равномѣрной плотности и давать равномѣрный изломъ.

Испытаніе отливокъ изъ литой стали, отлитыхъ въ огнеупорныхъ формахъ, должно быть производимо, послѣ отжиганія, слѣд. образомъ: одновременно съ отливкой соотвѣтствующихъ частей къ одной изъ нихъ приливается прибыль, служащая для испытанія; о качествѣ судятъ по временному сопротивленію на растяженіе и удлиненію.

Для непрокованныхъ образцовъ должно быть $K_z = 4500$ до 6000 kg/qcm и $\varphi = 8$ до 10%.

НТБ ДНУЗТ

Отступленіе въ вѣсѣ не должно быть болѣе 5%. Для нетяжелыхъ отливокъ, подлежащихъ обработкѣ, прибавка въ обрабатываемыхъ мѣстахъ не менѣе 5 mm, для болѣе тяжелыхъ отливокъ до 10 mm.

d. Основныя данныя *) для испытанія матеріала, предназначаемаго для изготовленія паровыхъ котловъ.

Измѣненныя Вюрцбургскія нормы, установлены международнымъ союзомъ для охраны безопасности паровыхъ котловъ 25 іюня 1881 г., измѣнены 27 іюня 1895 г. въ Килѣ.

(Извлеченіе).

1. Общія данныя.

Рядъ испытаній и способъ приготовленія образцовъ указанъ на стр. 1024. Испытаніе трубъ на стр. 1031:

Система машинъ для разрыва образцовъ не устанавливается, но для машинъ этихъ ставится условіемъ:

1) Чтобы при испытаніяхъ на разрывъ, удлиненіе, изгибъ, нагрузка образцовъ производилась не ударами (скачками), а постепенно увеличиваясь, и чтобы увеличеніе нагрузки, по мѣрѣ приближенія къ моменту разрыва, производилось постепенно все меньшими грузами.

2) Чтобы исправное дѣйствіе машинъ могло легко быть провѣрено.

3) Чтобы машины, въ случаѣ невозможности для пріемщика ихъ быстро и легко повѣрить, подвергались освидѣтельствованію періодически, не рѣже, какъ черезъ 3 мѣсяца, въ смыслѣ исправнаго ихъ дѣйствія во всѣхъ частяхъ, компетентными лицами, о чемъ долженъ быть предъявленъ протоколъ при пріемкѣ.

Допущеніе извѣстнаго матеріала въ дѣло, т.-е. соблюденіе требуемыхъ условій, выражается **качественнымъ числомъ**, которое получается отъ сложенія временнаго сопротивленія разрыву K_z въ kg/qcm и удлиненія φ въ $^0/_0$. Каждая цифра временнаго сопротивленія или удлиненія можетъ быть на 1 меньше предписанной нормы, если въ то же время другая цифра на 1 больше этой нормы, такъ чтобы въ суммѣ получилось установленное качественное число.

2. Листы для паровыхъ котловъ изъ сварочнаго желѣза.

Трехъ сортовъ: 1) огневые листы; 2) листы съ бортами; 3) листы цилиндрической части, какъ указано на стр. 1025 и 1026. Листопрокатный заводъ обязанъ каждый листъ сварочнаго желѣза, въ зависимости отъ его сорта, клеймить: S I, S II и S III. Буквы высотой въ 7 mm въ эллиптической рамкѣ, длиною 15 mm и 12,5 mm шириною.

Условія пріемки на стр. 1025. Кромѣ того, устанавливается:

При пріемкѣ на заводахъ каждый листъ клеймится въ двухъ мѣстахъ (текущимъ №) клеймомъ пріемщика на разстояніи 200 mm отъ края.

Въ каждой партіи производятся слѣдующія пробы: 1) отъ всѣхъ огневыхъ листовъ; 2) $50^0/_0$ бортовыхъ листовъ и 3) $25^0/_0$ листовъ цилиндрической части, не менѣе, однако, нежели у трехъ листовъ. При этомъ для 1) и 2) производится проба на разрывъ и изгибъ вдоль и поперекъ волоконъ, а для 3) у половины образцовъ разрывныя пробы и у другой половины пробы на изгибъ вдоль и поперекъ волоконъ.

Пробы на разрывъ и удлиненіе. K_z для всѣхъ трехъ сортовъ не должно превосходить 40 kg/qmm. Результаты испытаній должны дать слѣдующія наименьшія числа для листовъ толщ. до 25 mm (для листовъ большей толщины должны быть соблюдены данныя на стр. 1026):

Сортъ:	Огнев. листъ.		Листъ съ бортами.		Листъ цилиндр. части.	
Направленіе волоконъ:	вдоль.	поперек.	вдоль.	поперек.	вдоль.	поперек.
Времен. сопрот K_z въ kg/qmm	36	34	35	33	33	30
Удлиненіе φ . . . въ $^0/_0$	20	15	15	12	10	8
Качественное число (см. выше).	56	49	50	45	43	38

Проба на изгибъ. Полосы желѣзныхъ листовъ должны изгибаться до нижеслѣдующихъ угловъ:

*) Данныя и нормы, установленныя у насъ въ Россіи, см. прибавл. къ отд. VIII

НТБ ДНУЗТ

Въ состояніи	При толщинѣ листа въ mm	для огневыхъ листовъ вдоль	для огневыхъ листовъ попер.	для бортовыхъ листовъ вдоль	для бортовыхъ листовъ попер.	для листовъ цилиндр. части котла вдоль	для листовъ цилиндр. части котла попер.	Въ состояніи	При толщинѣ листа въ mm	для огневыхъ листовъ вдоль	для огневыхъ листовъ попер.	для бортовыхъ листовъ вдоль	для бортовыхъ листовъ попер.	для листовъ цилиндр. части котла вдоль	для листовъ цилиндр. части котла попер.
холод.	6 до 8	160°	140°	135°	120°	90°	66°	холодн.	26 до 28	120°	100°	100°	60°	40°	26
„	8 „ 10	160	140	135	120	85	62	„	28 „ 30	115	95	90	55	35	22
„	10 „ 12	160	140	135	120	80	58	„	30 „ 32	110	85	80	50	30	18
„	12 „ 14	155	135	135	120	75	54	„	32 „ 34	100	75	70	45	25	14
	14 „ 16	150	130	130	110	70	50	„	34 „ 36	90	65	60	40	20	10
	16 „ 18	145	125	125	100	65	46	„	36 „ 38	80	55	50	30	15	7
	18 „ 20	140	120	120	95	60	42	„	38 „ 40	70	45	40	20	10	5
	20 „ 22	135	115	115	85	55	38	въ нагр.	произ-						
	22 „ 24	130	110	110	75	50	34	состоян	вольная	180	180	180	180	160	140
	24 „ 26	125	105	105	65	45	30								

Проба кузнечная и на пробивку дыръ (стр. 1026), какъ для сварочнаго желѣза.

3. Листы для паровыхъ котловъ изъ литого желѣза.

Литое желѣзо для паровыхъ котловъ должно изготовляться только въ пламенныхъ печахъ.

Три сорта: огневые листы, листы цилиндр. части I и листы цилиндр. части II клеймятся F I (огневые листы) F II (листы цилиндр. части I) и F III (листы цилиндр. части II). Размѣры буквъ и рамка какъ для сварочнаго желѣза (см. стр. 1029).

Изъ сорта III изготовляются исключительно такіе листы, которые никогда не приходятъ въ соприкосновеніе съ горячими газами, напр. наружніе листы паровыхъ котловъ. Изъ сорта II изготовляются такіе листы, которые не лежатъ въ первомъ дымоходѣ. Всѣ остальныя части котловъ, со включеніемъ тѣхъ, на которыхъ выдѣлываются борты (колпаки, патрубки, днища), изготовляются изъ огневыхъ листовъ.

Пріемка въ общемъ какъ для сварочнаго желѣза, съ тою лишь разницею, что образцы берутся 1) отъ всѣхъ огневыхъ листовъ и 2) отъ 50% всѣхъ листовъ цилиндр. части. Для 1) производятся испытанія на разрывъ и изгибъ вдоль и поперекъ волоконъ, а у 2) для половины образцовъ разрывныя пробы, а у другой половины — на изгибъ вдоль и поперекъ волоконъ.

У всѣхъ листовъ слѣдуетъ производить пробу на изгибъ въ состояніи вдоль и поперекъ прокатки; см. стр. 1025.

Для испытаній на разрывъ.	У огневыхъ листовъ вдоль и поперекъ.	Для листовъ цил. части I вдоль и поперекъ.	Для листовъ цилиндр. части II вдоль и поперекъ. Толщина < 24 mm.	Для листовъ цилиндр. части II вдоль и поперекъ. Толщина $\geqq 24$ mm.
K_z въ kg/qmm .	34—40	36—42	39—45	38—44
$\varphi \geqq$	25%	22%	20%	20%
Качеств. число	62	61	60	60

Качественное число должно быть сохранено у всѣхъ листовъ, причемъ наибольшее временное сопротивленіе не должно быть превзойдено. Если, напр., для огневого листа $K_z = 34$ kg/qmm, то одновременно φ должно быть не менѣе 28%.

Горячая проба на изгибъ вдоль и поперекъ волоконъ на 180° при всякой толщинѣ.

НТБ ДНУЗТ

Проба на изгибъ въ закаленномъ состояніи. Огневые листы и листы цилиндр. части I: вдоль и поперекъ волоконъ, загибаніе вокругъ стержня діам. = двойной толщинѣ листа до 180°. Листы цилиндр. части II: вдоль и поперекъ волоконъ, также загибаніе на 180° вокругъ стержня діаметромъ = тройной толщинѣ листа.

Проба кузнечная и на пробивку дыръ—какъ и для листовѣ сварочнаго желѣза (см. стр. 1026).

4. Угловое желѣзо.

Изъ сварочного или литого желѣза [нормы для литого желѣза приведены въ прямыхъ скобкахъ]. Для углового желѣза имѣется только одинъ сортъ. Пробные бруски изготовляются изъ 25% всего количества углового желѣза, подлежащаго пріемкѣ.

Вдоль волоконъ $K_z \geqq 6$ [37 до 44] kg/qmm; $\varphi \geqq 16$ [20] %. Качественное число = 52 [60] (см стр. 1029).

Горячая проба на изгибъ. Обѣ полки должны выпрямляться въ одну плоскость, а равне и складываться вмѣстѣ вплотную [тоже и для литого желѣза].

Холодная проба на изгибъ. Обѣ полки угольника должны подъ прессомъ разгибаться на 18° [46°].

Для продольныхъ отрѣзанныхъ полосъ уголъ загиба $\alpha = 50^0$ при толщинѣ 8 до 12 mm, $\alpha = 35^0$ для толщинъ 12 до 16 mm, $\alpha = 25^0$ для толщинъ 16 до 21 mm, $\alpha = 15^0$ для толщинъ 21 до 25 mm [для литого желѣза $\alpha = 180^0$ при всякой толщинѣ].

[Проба на изгибъ въ закаленномъ состояніи для литого желѣза: долевыя полосы загибаются на 180° вокругъ стержня діам. = тройной толщинѣ полки].

При всѣхъ пробахъ на изгибъ [также при пробахъ для закаленныхъ брусковъ] въ углѣ загиба могутъ быть замѣтны лишь слѣды трещинъ.

Проба кузнечная и на пробивку дыръ какъ на стр. 1026 [тоже и для литого желѣза].

5. Заклепочное желѣзо и заклепки.

Изъ сварочнаго [или литого] желѣза; только одинъ сортъ заклепочнаго желѣза. Количество испытываемыхъ образцовъ берется изъ 4% всего количества желѣза, подлежащаго пріемкѣ. $K_z \geqq 38$ [30 до 40] kg/qmm; $\varphi \geqq 20$ [25] %. Качественное число = 58 [62] (стр. 1029).

Проба на изгибъ и осаживаніе [также и для литого желѣза]. Круглыя полосы заклепочнаго желѣза въ холодномъ состояніи должны при пробѣ на изгибъ складываться до соприкосновенія концовъ. Кусокъ желѣза, длиною = двойному діаметру, въ холодномъ состояніи долженъ осаживаться до половины высоты, при этомъ на поверхности не должно обнаруживаться надрывовъ. Такой же кусокъ желѣза, въ нагрѣтомъ состояніи, долженъ осаживаться до $^1/_3$—$^1/_4$ высоты съ пробивкою въ пробномъ кускѣ дыры, причемъ не должно обнаруживаться надрывовъ.

[Въ закаленномъ состояніи желѣзо огибается на 180° вокругъ стержня, діаметромъ = двойному діам. заклеп. желѣза].

6. Трубы.

Изъ сварочнаго [или литого] желѣза; устанавливается лишь одинъ сортъ.

Пріемка. Обыкновенно изготовляются пробные бруски изъ 2% предъявляемаго къ пріемкѣ количества трубъ и не менѣе, чѣмъ отъ двухъ трубъ. Трубы клеймятся пріемщикомъ съ двухъ концовъ, на разстояніи 200 mm отъ края. Пробные бруски отрѣзаются отъ концовъ трубъ. Если послѣ пробы въ образцѣ, повидимому, доброкачественномъ, обнаруживаются пороки, то это испытаніе въ разсчетъ не принимается.

Трубы должны быть прямыя, калиброванныя изнутри и снаружи, безъ раковинъ, трещинъ и т. п., имѣть гладкую поверхность и обрѣзаны на концахъ нормально къ длинѣ. Перекрышка шва должна быть въ заварныхъ трубахъ, по крайней мѣрѣ, 10 mm.

Увеличеніе діаметра. Въ холодномъ состояніи концы трубъ на длинѣ 30 mm должны допускать увеличеніе діаметра:

при толщинѣ стѣнокъ	до 4 mm	на 3 [5]%	діаметра
„ „	„ 6 „	„ 2 [3]%	„
„ „	свыше 6 „	„ 1 [2]%	„

Увеличеніе діаметра производится оправкой, ударами по ней молоткомъ.

НТБ ДНУЗТ

Загибаніе бортовъ. На концахъ трубъ въ холодномъ состояніи выдѣлываются борты [для литого желѣза при всякой толщинѣ стѣнокъ и каждомъ діаметрѣ на 90^0, при ширинѣ борта $= 12\%$ діаметра трубы], которые для сварочнаго желѣза должны образовать уголъ 60^0 при діам. трубы до 76 mm и толщинѣ стѣнокъ 3 mm (ширина борта $= 12\%$ діам. трубы), для трубъ свыше 76 mm и до 4 mm толщины стѣнокъ на уголъ 30^0 (ширина борта $= 8\%$ діам. трубы).

Проба на изгибъ. Отрѣзки трубы длиною 100 mm должны, при трубахъ сварочнаго желѣза, сгибаться въ холодномъ состояніи до половины діаметра [а при литомъ желѣзѣ вполнѣ наплоско], и притомъ такъ, чтобы заварной шовъ не приходился въ сгибѣ.

Проба гидравлическимъ давленіемъ. Всѣ трубы испытываются тройнымъ противъ рабочаго давленіемъ и не менѣе 30 атм. Во время пробы трубы обстукиваются молоткомъ. [Тоже и для литого желѣза].

Техническія условія и нормы, установленныя **въ Россіи Министерствомъ Путей Сообщенія** на поставку сортового, заклепочнаго, котельнаго и листового желѣза, какъ сварочнаго, такъ и литого, см. **прибавленіе къ VIII отдѣлу.**

e. Предохраненіе желѣза отъ ржавленія *).

1. Ржавленіе желѣза, т.-е. превращеніе его въ гидратъ окиси желѣза, происходитъ отъ совмѣстнаго дѣйствія воздуха (дѣйствуетъ кислородъ и углекислота) и воды, еще быстрѣе отъ дѣйствія разбавленныхъ кислотъ или растворовъ солей; въ морской водѣ ржавленіе усиливается особенно отъ хлористаго магнія. Въ сухомъ воздухѣ и водѣ, не содержащей кислорода, желѣзо не ржавѣетъ. Кованное желѣзо ржавѣетъ слабѣе прокатнаго; желѣзо, богатое содержаніемъ углерода (чугунъ), ржавѣетъ меньше, чѣмъ бѣдное углеродомъ; каленая сталь меньше, чѣмъ сталь некаленая. Ржавчина занимаетъ объемъ, большій того объема желѣза, изъ котораго эта ржавчина образовалась, уд. вѣсъ около 4. У заржавленныхъ рельсовъ обнаружено, что слой металла въ 1,6 mm черезъ 7 лѣтъ превратился въ слой ржавчины толщиною въ 3 mm.

2. Средства для предохраненія желѣза отъ ржавленія должны быть выбираемы съ осторожностью въ зависимости отъ мѣстныхъ условій. Рекомендуются слѣдующія средства:

1. Постоянное покрытіе тѣлами, которыя впитываютъ воду и кислоты или ихъ разлагаютъ; такъ, напр., не дѣйствующіе паровые котлы наполняются известковымъ молокомъ или растворомъ соды. Лучше помѣщать въ хорошо просушенные (при помощи топки) котлы хлористый кальцій кусками величиною въ орѣхъ при одновременномъ прекращеніи доступа воздуха.

Въ туннеляхъ для предохраненія верхняго строенія употребляютъ известняковый щебень для балласта, или покрываютъ желѣзныя части известковымъ молокомъ; послѣднее средство весьма

---

*) См. G. Mehrtens, Eisen und Eisenkonstruktionen, стр. 345; Berlin 1887. E. Glinzer, Baustoffkunde, стр. 125, Dresden 1899. Кромѣ того: Treumann, Zeitschr. d. hannovr. Arch.-und. Ing.-V. 1879, стр. 379; J. Spennrath, Untersuchung der gebräuchlichen Eisenanstriche, Verhandl. d. V. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1895. и Zeitschr d. V. d. Ing. 1895, стр. 1334.

НТБ ДНУЗТ

полезно въ смыслѣ предохраненія отъ ржавчины, образующейся отъ дѣйствія паровъ сѣрной кислоты, содержащихся въ дымовыхъ газахъ паровозовъ. Гайки покрываются дегтемъ.

2. **Вороненіе**, т.-е. покрытіе желѣза тонкимъ чернымъ слоемъ перекиси; для этой цѣли желѣзные предметы помѣщаются въ пространство, наполненное водяными парами, и здѣсь подвергаются постепенному нагрѣву, такъ что желѣзо, нагрѣтое докрасна, подвергается дѣйствію сильно перегрѣтыхъ паровъ воды. Вороненіе служитъ, главнымъ образомъ, для украшеній, имъ не достигается продолжительное предохраненіе отъ ржавчины.

3. **Покрытіе металломъ** достигается предварительнымъ вытравливаніемъ въ кислотахъ, и затѣмъ послѣ быстраго высушиванія въ горячемъ состояніи предметы погружаются въ расплавленный металлъ. Цинкъ наилучшій предохранитель (также и въ морской водѣ), такъ какъ въ цинковой ваннѣ на поверхности образуется сплавъ желѣза съ цинкомъ (стр. 1017). (Оцинкован. желѣзо въ торговлѣ часто встрѣчается подъ названіемъ „гальванизированнаго“).—Олово предохраняетъ мало и только до тѣхъ поръ, пока желѣзо нигдѣ не обнажено (стр. 1017).—Свинецъ предохраняетъ отъ соляной и сѣрной кислоты. — Красная мѣдь и пиккель предохраняютъ лишь при значительной толщинѣ слоя (стр. 1017).

Управленіе германскихъ правительственныхъ телеграфовъ требуетъ (1886) для **покрытія цинкомъ** желѣзной телеграфной проволоки:

Чистой и ровной поверхности; проволока наматывается на цилиндръ десятерного діаметра противъ діам. проволоки, причемъ обороты должны прикасаться другъ къ другу. не должно обнаруживаться въ оцинковкѣ ни трещинъ, ни отпаденія слои. Толщина покрытія: на проволокѣ не должно образоваться мѣдной пленки при погруженіи проволоки на одну минуту въ растворъ изъ 1 вѣс. части мѣднаго купороса и 5 вѣс. частей воды. Число погруженій устанавливается: для діам. 6 и 5 mm — 8, для діам. 4 и 3 mm — 7, для діам. 2 и 1,7 mm — 6.

4. **Эмальировка.** Поверхность чугунной отливки вытравливается и просушивается, а затѣмъ покрывается порошкообразною массою (полевой шпатъ, кварцъ, бура и глина), обжигается и затѣмъ уже покрывается эмалью (силикаты и окись олова) и нагрѣвается до плавленія.

5. **Жиры** въ твердомъ или жидкомъ состояніи весьма удобны для покрытія чисто отдѣланныхъ поверхностей машинъ передъ ихъ сборкой. На открытомъ воздухѣ жиры эти смываются дождемъ или стекаютъ отъ дѣйствія солнечныхъ лучей. Сало (также съ примѣсью 50 до 100% свинцов. бѣлилъ) легко раскалывается, образующіяся жирныя кислоты разъѣдаютъ желѣзо. Въ послѣднее время часто употребляютъ минеральные жиры, растворенные въ скипидарѣ и продуктахъ перегонки керосина.

6. **Портландскій цементъ** не только предохраняетъ отъ ржавчины, но вбираетъ въ себя уже образовавшуюся на поверхности желѣза ржавчину (сооруженія Монье). Прекрасное средство для крупныхъ отливокъ и цѣлыхъ желѣзныхъ сооруженій. Мелко просѣянный, разведенный въ водѣ, цементъ наносится кистью на

НТБ ДНУЗТ

металлически чистыя поверхности. Покрытіе это повторяется 4 до 5 разъ послѣ затвердѣванія послѣдняго слоя.

7. **Деготь, асфальтъ и смола** въ безводномъ состояніи служатъ хорошимъ покрытіемъ для чугунныхъ трубъ (см. стр. 564). Смола и трубы предварительно нагрѣваются. Весьма хороша смѣсь изъ 8 вѣсов. частей дегтя, 2 вѣсов. частей гашеной порошкообразной извести и 1 вѣсов. части скипидара; покрывать три раза. Также: 1 вѣсов. часть сѣры, 2 вѣсов. части тяжелой смолы, въ которой растворено 5 вѣсов. частей смолы или асфальта съ небольшимъ количествомъ воска.

8. **Покрытіе смоляными маслами.** Каучуковое масло: растворъ каучука въ терпентинномъ маслѣ. Антіоксидъ: растворъ гуттаперчи въ бензинѣ.

9. **Покрытіе масляными красками** наиболѣе употребительно. Льняное вареное масло легко отстаетъ, лучше для загрунтовки брать жидкое скоро высыхающее льняное вареное масло, смѣшанное съ графитомъ, охрой, желѣзнымъ сурикомъ (не болѣе 20% глины) и лучше свинцовымъ сурикомъ (Pb_3O_4). Послѣ загрунтовки производится окраска, для которой берутъ чистое вареное льняное масло съ свинцовыми бѣлилами (а не цинковыми бѣлилами), графитомъ, цинковой пылью, съ прибавкой также мѣла.

Для избѣжанія образованія пузырей второй слой кроется лишь послѣ полнаго затвердѣнія предыдущаго слоя.

Всякая масляная окраска разрушается растворомъ соляной и азотной кислоты, газообразной соляной кислотой, азотной кислотой, сѣрнистой и уксусной кислотой, причемъ газообразныя кислоты производятъ болѣе быстрое дѣйствіе, чѣмъ водный ихъ растворъ. Растворенная сѣрная кислота не дѣйствуетъ на масляную окраску.

Ѣдкія жидкости и газы, амміакъ, сѣрнистый аммоній, растворъ соды быстро разрушаютъ всякую масляную окраску [помощью ѣдкихъ щелочей можно быстро удалить (вытравить) старую масляную краску].

Чистая вода дѣйствуетъ болѣе разрушительно, чѣмъ морская вода и чѣмъ растворы поваренной соли, нашатыря и хлористой магнезіи, считающіеся вообще причинами образованія ржавчины; содержаніе соли уменьшаетъ вредное дѣйствіе воды на масляную окраску. Замѣчаемое разрушительное дѣйствіе морской воды должно быть приписано механическому дѣйствію воды.

Горячая вода дѣйствуетъ болѣе разрушительно, чѣмъ вода при обыкновенной температурѣ; она уничтожаетъ масляную окраску очень скоро.

Выдѣляемыя водой составныя части каменноугольной золы разрушаютъ масляную окраску, благодаря своимъ алкалическимъ свойствамъ; поэтому для краски опасна мелкая зола, вырывающаяся изъ дымовыхъ трубъ и отлагающаяся на покрытыхъ краской поверхностяхъ.

Всѣ краски отъ теплоты уменьшаются въ вѣсѣ и сжимаются; поэтому онѣ дѣлаются хрупкими, даютъ трещины, въ которыя проникаетъ дождь. Чѣмъ меньше удѣльный вѣсъ красящаго веществна, тѣмъ лучше сопротивляется окраска дѣйствію теплоты.

Изъ всего сказаннаго слѣдуетъ, что нѣтъ дѣйствительнаго средства противъ вреднаго вліянія различныхъ причинъ на связывающую составную часть окраски (льняное масло).

НТБ ДНУЗТ

f. Таблица твердости для литого желѣза Мартена и литой стали.

(По Брандесу и К°, Дортмундъ).

Обозначеніе. №	Названіе, свойства и употребленіе.	Спокойное временное сопротивленіе при растяж. K_z. kg/qmm	Удлиненіе φ %	Примѣрное содержаніе C. %
000	Мягкое литое желѣзо, не закаливается, хорошо сваривается, для котельныхъ листовъ, подковныхъ гвоздей, заклепокъ, проволоки	32—36	25—35	0,05
00	Мягкое литое желѣзо, сваривается, не закаливается, для котельныхъ листовъ, корабельныхъ корпусовъ, тонкихъ листовъ, проволочныхъ гвоздей, полосового желѣза, заклепокъ . . .	36—39	23—30	
1/2	Литое желѣзо, сваривается, не закаливается, для листовъ, полосового желѣза и брони	39—42	21—28	
	Самая мягкая сталь, почти не закаливается, для листовъ, прокатныхъ валовъ, большихъ поковокъ	41—44	20—27	
1 1/2	Мягкая сталь, весьма мало закаливается, для осей, поковокъ, лопатъ	43—47	20—26	
2	Мягкая сталь, слабо закаливается, для осей, поковокъ, обыкновенной проволоки	46—50	20—25	
2 1/2	Сталь средней мягкости, слабо закаливается, для осей, поковокъ, обыкновенной проволоки . .	48—52	20—24	
3	Сталь средней мягкости, слабо закаливается, для рельсовъ, бандажей, осей, поковокъ	50—54	19—23	
3 1/2	Сталь средней мягкости, слабо закаливается, для осей, псковокъ, бандажей	52—56	18—22	0,28
4	Сталь средней твердости, закаливается, для осей, поковокъ, бандажей, ружейныхъ стволовъ, вилъ для сѣна	55—60	17—21	0,32
4 1/2	Сталь средней твердости, закаливается, для вилъ, грабель, рессоръ	60—65	16—20	0,35
5	Твердая сталь, хорошо закаливается, для рессоръ, плуговъ, косъ, ножей	65—70	15—19	0,40
5 1/2	Твердая сталь, хорошо закаливается, для рессоръ, напильниковъ, молотковъ, клинковъ . . .	70—75	14—18	0,45
6	Твердая сталь, закаливается, для рессоръ, напильниковъ, молотковъ, клинковъ и твердой проволоки.	75—80	11—16	0,50
6 1/2	Твердая сталь, хорошо закаливается, для напильниковъ, сверлъ для камней, пилъ, твердой проволоки, корсетной стали.	80—85	9—15	0,55
	Очень твердая сталь, для зубилъ, твердой проволоки, напильниковъ, пилъ, проволоки для зонтиковъ	85—90	7—13	0,60
8	Очень твердая сталь, для твердыхъ вальцевъ, зубилъ, твердой проволоки, иголокъ .	95—110	1—6	0,7—0,8

НТБ ДНУЗТ

i. Таблица вѣса гвоздей, употребляемыхъ въ строительномъ дѣлѣ.

Названіе гвоздей.	Длина гвозди въ дюймахъ	Число гвоздей въ пудѣ.	Вѣсъ 100 гвоздей въ фунтахъ.
Корабельные	6	150	26,667
	7	120	33,333
	8	100	40,000
	9	85	47,059
	10	75	53,333
	11	65	61,538
	12	55	72,727
	13	45	88,889
	14	40	100,000
	15	35	114,286
Полукорабельные	6	150	26,667
	7	120	33,333
	8	100	40,000
Заершенные, или закрѣпы	4	150	26,667
	5	100	40,000
	6	85	47,059
	7	70	57,143
	8	60	66,667
Брусковые	4	1200	3,333
	5	800	5,000
	6	560	7,143
	7	400	10,000
	8	300	13,333
	9	250	16,000
	10	200	20,000

Названіе гвоздей.		Длина гвоздя въ дюймахъ	Число гвоздей въ пудѣ.	Вѣсъ 100 гвоздей въ фунтахъ.
Петельные, навѣсные или круглошляпные		4	700	5,7143
		5	500	8,0000
		6	350	11,4286
		7	250	16,000
		8	200	20,000
Костыльковые.		1	16000	0,2500
		2	6000	0,6667
		3	2000	2,0000
		4	1200	3,3333
		5	800	5,0000
		6	560	7,1429
		7	400	10,0000
Тесовые или крышечные	однотесъ,	2	5000	0,8000
	двоетесъ,	3	2000	2,0000
	троетесъ.	4	1200	3,3333
		5	800	5,0000
		6	560	7,1429
		7	400	10,0000
Кровельные.		3	3000	1,3333
Купорные		$2\frac{1}{2}$	4000	1,0000
Шпалерные.		$\frac{1}{4}$	30000	0,1333
Подковные		—	3000	1,3333
Гонтовые		—	4400	0,9091
Штукатурные.		—	13000	0,3077

НТБ ДНУЗТ

B. Цинкъ.

Получается большею частью изъ цинковаго шпата (или галмея) и въ торговлѣ встрѣчается подъ названіемъ силезскаго и бельгійскаго цинка въ листахъ и чушкахъ. Въ изломѣ кристалличенъ, зернистаго или листового сложенія, цвѣтъ синевато-бѣлый. Уд. вѣсъ см. стр. 977 и 983. При температурѣ 100 до 175° поддается обдѣлкѣ, при низшей температурѣ хрупокъ. Плавится при 412°; хорошо заполняетъ формы при отливкѣ. Примѣси въ продажномъ цинкѣ: свинецъ и кадмій. При свѣтло-красномъ жарѣ цинкъ испаряется и при доступѣ воздуха сгораетъ синеватымъ пламенемъ въ окись цинка (цинковыя бѣлила).

1. Гладкіе цинковые листы приготовляются 26 различныхъ толщинъ по калибру (см. ниже). Примѣняются для покрытія кровель и карнизовъ, для сточныхъ трубъ и желобовъ (№ 13 до № 15), для украшеній на стѣнахъ и потолкахъ, архитектурныхъ цинковыхъ украшеній (штампуются) и т. д. Въ строительномъ дѣлѣ листы употребляются толщиной № 12 до № 16, не подвержены атмосфернымъ вліяніямъ, легки и дешевы. При 16° обладаютъ сопротивленіемъ вдоль волоконъ $K_z = 1900$, поперекъ $K_z = 2500$ kg/qcm, при этомъ удлиненіе $\varphi = 18$ и соотв. 15%. При 155° величина φ наибольшая; вдоль 100%, поперекъ 80%. Удлиненіе вдоль волоконъ уменьшается до $\varphi = 40\%$ при 100° и соотв. 175°; поперекъ волоконъ одновременно $\varphi = 20\%$ и соотв. 26%. Размѣры цинковыхъ листовъ $1^1/_2 \times 2$ арш. Встрѣчаются еще 0,65.2,0 m, 0,80.2,0 m, 1,00.2,25 m, 1,00.2,50 m; наибольшая длина листовъ 3,0 m; наибольшая ширина 1,65 m.

Силезскій калибръ для гладкихъ цинковыхъ листовъ.

№ по калибру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Толщина въ mm	0,10	0,143	0,186	0,228	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,58	0,66	0,74
1 qm вѣситъ kg.	0,72	1,03	1,34	1,64	1,80	2,16	2,52	2,88	3,24	3,60	4,18	4,75	5,33
№ по калибру	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Толщина въ mm	0,82	0,95	1,08	1,21	1,34	1,47	1,60	1,78	1,96	2,14	2,32	2,50	2,68
1 qm вѣситъ kg.	5,90	6,84	7,78	8,71	9,65	10,6	11,5	12,8	14,1	15,4	16,7	18,0	19,3

Примѣчаніе. **Бельгійскій калибръ** для № 1 до 4 имѣетъ толщину листовъ 0,05, 0,10, 0,15 и 0,20 mm, а въ остальныхъ номерахъ вполнѣ сходится съ силезскимъ калибромъ.

3. Цинковые волнистые листы для покрытій изготовляются пяти профилей, отъ A до D толщиною до № 16 и профили E толщиною до № 12. Профиль E кроется по обшивкѣ или обрѣшеткѣ и въ долевыхъ стыкахъ перекрывается двумя волнами. Для остальныхъ профилей необходимо считать на перекрышку въ долевыхъ

НТБ ДНУЗТ

и поперечныхъ швахъ со включеніемъ укрѣпленій на прогонахъ увеличеніе вѣса на 15 до 18%. Размѣры волнистыхъ листовъ для A: 0,62 . 2,0 m, 0,89 . 3,0 m, 1,12 3,0 m; для B: 0,84 2,0 m, 1,08 . 3,0 m, 1,30 3,0 m; для C: 0,8 3,0 m; для D: 1,0.1,78 m, 1,5 2,67 m; для E: 1,6 2,64 m. У A, B, C волны долевыя, а у D и E—поперечныя (по ширинѣ листа). Профиль A изготовляется сводчатыми (выгнутыми) листами по радіусамъ, начиная отъ 1,5 m и выше, для сводчатыхъ кровель (разстояніе между прогонами 2 m).

Силезскіе волнистые цинковые листы.

Обозначеніе №	Размѣры волны: Ширина B mm	Высота H mm	Длина l mm	Сѣченіе на 1 m ширины листа и на 1 mm толщины листа qcm	Вѣсъ 1 qm волн. листа kg	Моментъ сопротивленія на 1 m ширины листа ccm	Примѣчаніе.
A	117	55	175	15,0	10,8	19,9	Сѣченіе, вѣсъ и моментъ сопротивленія для толщины лист. больше 1 mm находится приблизительно умноженіемъ цифръ таблицы (для 1 mm) на толщину листа въ mm.
B	100	32	123	12,3	8,86	9,9	
C	110	32	135	12,3	8,86	9,6	
D	60	14	68	11,3	8,14	3,9	
E	20	6	24,8	12,4	8,93	1,8	

3. Литой цинкъ продается небольшими плитами толщиной до 4 cm, употребляется для покрытія цинкомъ желѣзныхъ листовъ и проволоки, для сплавовъ (см. стр. 1041), цинковыхъ отливокъ, гальваническихъ элементовъ (см. ч. II) и т. д. Опредѣленія вѣса отливокъ см. II ч., тринадцатый отдѣлъ. Цинковыя отливки предохраняются отъ ржавленія окраской или гальванопластическимъ покрытіемъ (напр. красной мѣдью).

C. Красная мѣдь.

Обжиганіемъ рудъ красной мѣди (содержащихъ большею частью сѣру) получается нечистая, хрупкая (черная) красная мѣдь, которая, будучи расплавлена въ отражательныхъ (пламенныхъ) печахъ, подвергается окисленію; мѣдь эта въ видѣ болванокъ (вѣсомъ 5 до 6 kg) поступаетъ въ продажу. На мѣдно-прокатныхъ заводахъ эта мѣдь подвергается дальнѣйшей очисткѣ. — Уд. вѣсъ см. стр. 976 и 983. Точка плавленія при 1054°. Чѣмъ красная мѣдь чище, тѣмъ она болѣе тягуча какъ въ холодномъ, такъ и въ нагрѣтомъ состояніи. Примѣси: свинецъ, мышьякъ, висмутъ, цинкъ, никкель и серебро. Небольшое количество висмута (0,1%) дѣлаетъ мѣдь хрупкою; при содержаніи мышьяка до 0,5% крѣпость мѣди увеличивается. При прокаткѣ и проковкѣ подъ молотомъ красная мѣдь дѣлается твердой, при нагрѣваніи и медленномъ охлажденіи (способъ охлажденія безразличенъ) дѣлается снова мягкою; не сваривается и для отливокъ не годна, ибо даетъ пузырчатыя отлив-

НТБ ДНУЗТ

ки. Большая теплопроводность и электропроводность. Для электролитической мѣди (чистой), прокованной, прокатанной и медленно охлажденной, временное сопротивленіе $K_z = 2100$ kg/qcm при 15 до 150°. Между 150 и 470° сопротивленіе уменьшается до $K_z = 1500$ kg/qcm. Удлиненіе при разрывѣ $\varphi = 37$ до 15% (при 15 до 470°). Изломъ: волокнистый, при увеличивающемся нагрѣвѣ переходить въ зерно. Употребляется въ видѣ проволоки, листовъ, полосъ, трубъ, для сплавовъ и красокъ *).

1. Проволока красной мѣди. Вѣса см. стр. 982 и II ч., электротехника; сопротивленіе см. стр. 336. Продается въ такомъ видѣ, какъ она выходитъ изъ волочильной машины, т.-е. блестящая и неотожженная, въ видѣ круговъ, связанныхъ проволокой красной мѣди. Проволока должна быть гибкой, гладкой, и имѣть совершенно одинаковое круглое сѣченіе $K_z = 3300$ kg/qcm для проволоки изъ электролитической мѣди; при содержаніи мышьяка 0,351% до 0,808% $K_z = 5100$ и соотв. 4700 kg/qcm, при содержаніи сурьмы 0,26% до 0,529% $K_z = 5200$ и соотв. 5500 kg/qcm **).

2. Листы красной мѣди. Вѣса см. стр. 983. Хорошіе листы красной мѣди должны имѣть чистую, гладкую и ровную поверхность, обладать большою гибкостью и въ изломѣ представлять равномѣрное сложеніе. При толщинѣ листовъ болѣе 5 mm величина $K_z \gtrless 2000$ до 2300 kg/qcm, $\varphi \gtrless 38\%$. Употребляются для кровельныхъ покрытій (листы размѣромъ 0,8 до 2 qm, при ширинѣ не болѣе 1 m и толщинѣ 0,5 до 1,0 mm), желобовъ, штампованныхъ архитектурныхъ украшеній, обшивки судовъ (листы 1,9 m до 2,5 m длины и 0,8 m ширины), для посуды, кострюлей, котловъ и т. п. Болѣе тонкіе листы прокатываются шириною до 2,4 m и длиною до 10 m. Обыкновенные размѣры: 1,0 2,0 m при толщинѣ 0,75 до 1 mm; 1,0.3,0 m при толщинѣ 1 до 2 mm; 1,0 . 4,0 m при толщинѣ 2 mm и болѣе. Толстые листы, напр., для огневыхъ коробокъ котловъ, проковываются шириною 1 до 2,4 m, длиною 2 до 4,0 m и толщиною до 26 mm.

3. Красная мѣдь полосовая прокатывается подъ молоткомъ изъ малыхъ болванокъ, прокатывается или тянется какъ проволока, при осаживаніи и сгибаніи не должно обнаруживаться трещинъ и разрывовъ. $K_z > 2300$ kg/qcm при сжатіи на 60% отъ первоначальнаго сѣченія. Различаютъ полосовую красную мѣдь: круглую и квадратную. Если діаметръ первой меньше 1,5 cm и сѣченіе послѣдней меньше 2,25 qcm, то полосовая красная мѣдь считается за проволоку.

4. Трубы красной мѣди либо прокатываются безъ шва (патентъ Манесманъ, см. стр. 581), или протягиваются изъ одного куска безъ шва. Также изготовляются спаянными изъ листовой мѣди, загнутой вокругъ круглаго стержня; въ этомъ случаѣ трубы впо

---

*) См. Rudeloff, Roberts-Austens Untersuchungen über die Eigenschaften Legierungen; Zeitschr. d. V. d. Ing. 1894, стр. 766.

**) См. Hampe, Chemiker-Zeitung 1892, стр. 726.

НТБ ДНУЗТ

слѣдствіи подвергаются вытягиванію. Трубы должны изгибаться по кругу вокругъ стержня, имѣющаго діаметръ, равный тройному діаметру трубы, причемъ не должно обнаруживаться ни трещинъ, ни надломовъ. Колѣнчатыя и пружинящія трубы красной мѣди, а также тройники см. стр. 583. Подробнѣе о трубахъ красной мѣди см. стр. 580.

D. Свинецъ.

Получается большею частью изъ свинцоваго блеска (сѣрнистаго свинца). Удѣльный вѣсъ при небольшомъ количествѣ примѣсей между 11,25 и 11,37. Свинецъ плавится при 326°, отливается въ формы, сильно тягучъ и гибокъ, хорошо сопротивляется атмосфернымъ вліяніямъ, рѣжется легко и испаряется при красномъ каленіи.

Въ видѣ листовъ *) употребляется для кровельныхъ покрытій (свернутые листы или рольный свинецъ, шириною 0,80 и 1,0 m, длиной 10 до 15 m и толщиною 1,5 до 2,0 m), для обшивки сырыхъ стѣнъ, какъ изоляціонный слой, для плотности фланцевыхъ соединеній, для свинцовыхъ камеръ, для сосудовъ при различныхъ химическихъ производствахъ; кромѣ того, для сплавовъ, для прессовки трубъ газо-, водо- и паропроводовъ, для электрическихъ аккумуляторовъ, какъ оберточный матеріалъ (свинцовая фольга), въ видѣ проволоки, для скрѣпленія металловъ съ камнями, для красокъ (свинцовыя бѣлила, свинцовый сурикъ, свинцовый глетъ), въ стеклянномъ производствѣ.

Твердый свинецъ представляетъ обыкновенный свинецъ съ примѣсью сурьмы, употребляется какъ типографскій металлъ, (свинецъ съ 5 до 10% сурьмы), для свинцовыхъ трубъ и т. д. Свинцовыя трубы должны быть предохранены изнутри отъ дѣйствія воды покрытіемъ изъ сѣрнистаго свинца или олова. Трубы изъ мягкаго и твердаго свинца см. стр. 576 и слѣд. Сопротивленіе свинца см. стр. 337 и слѣд., стр. 580.

Свинцовая проволока.

Толщина. mm	Вѣсъ 100 пог. метровъ. kg	Толщина. mm	Вѣсъ 100 пог. метровъ. kg	Толщина. mm	Вѣсъ 100 пог. метровъ. kg	Толщина. mm	Вѣсъ 100 пог. метровъ. kg
1,0	0,9	3,5	10,9	6	32,2	11	107,5
1,5	2,0	4,0	14,2	7	43,5	12	128,0
2,0	3,6	4,5	18,0	8	57,0	13	150,0
2,5	5,6	5,0	22,2	9	72,5	14	174,0
3,0	8,0	5,5	26,8	10	89,0	15	200,0

Проволока изъ мягкаго свинца, толщиною болѣе 0,5 mm, имѣется какой угодно толщины и какого угодно поперечнаго сѣченія.

*) Торговое бюро königl. sächsische Hüttenwerke, въ Фрейбергѣ: **Свинцовые листы** прямые толщиной отъ 0,5 до 12 mm, длиной отъ 3,0 до 10 m и шириной отъ 1,5 до 3,0 m. Наибольшій вѣсъ листа 1200 kg.

НТБ ДНУЗТ

E. Олово.

Получается большею частью изъ оловяннаго камня; уд. вѣсъ см. стр. 976. Точка плавленія при 230°. Олово мягко и легко принимаетъ различныя формы, очень тягуче; тверже свинца и имѣетъ кристаллическое сложеніе; прокатанное въ листахъ толщиною 0,2 до 0,008 mm и прокованное называется оловянною фольгою; обыкновенно прокатывается нѣсколько листовъ, наложенныхъ другъ на друга, раздѣленныхъ слоями керосина. Хорошее олово не должно содержать примѣсей (мышьяка, свинца, желѣза, красной мѣди, висмута) и на воздухѣ сохранять блестящую поверхность. Продается въ формѣ чушекъ (болванокъ) въ 60 kg, въ полосахъ, сверткахъ (вѣсомъ 5 до 6 kg) и въ видѣ зеренъ подъ названіемъ: Банка, Малакка, австралійское и англійское олово. Лучшее и наиболѣе чистое олово—это олово Банка. Богемское, саксонское и перуанское олово содержитъ много примѣсей. Употребляется для сплавовъ, для припоя, для трубъ (см. стр. 579).

F. Металлическіе сплавы *).

Составъ сплавовъ въ нижеслѣдующемъ данъ въ вѣсовыхъ частяхъ.

1. Желтая мѣдь (латунь): 2 до 4 частей красной мѣди и 1 часть цинка. Другой сплавъ: 64,8 красной мѣди, 32,8 цинка, 2,0 свинца и 0,4 олова. Англійская желтая мѣдь: 66,7 красной мѣди, 33,3 цинка. Желтая мѣдь тверже красной и очень тягуча. Съ увеличеніемъ количества цинка въ сплавѣ увеличивается его твердость и прочность (первая до содержанія цинка въ 50%, а вторая до 45% содержанія цинка; при большемъ содержаніи цинка то и другое снова уменьшается). Обыкновенно содержаніе цинка 30 до 43%. Тягучесть увеличивается съ увеличеніемъ содержанія красной мѣди. Въ среднемъ K_z=1500 kg/qcm.

Желтая мѣдь при температурѣ краснаго каленія хрупка, обдѣлывается въ холодномъ состояніи, какъ и красная мѣдь, изъ нея могутъ быть прокатаны тончайшіе листы (вѣсъ см. стр. 983). Листы встрѣчаются въ продажѣ черными, вытравленными съ одной или съ двухъ сторонъ и полированными. Листы размѣрами 0,5. 2,0 m и толщиною отъ 0,1 до 10 mm. Проволока желтой мѣди (вѣсъ см. стр. 982) отожженная и неотожженная. Сопротивленіе см. стр. 339.

Вслѣдствіе своей легкоплавкости желтая мѣдь даетъ гладкія отливки безъ пузырей (съ примѣсью 1 до 2% свинца), легко поддающіяся обдѣлкѣ. О латунныхъ трубахъ см. стр. 580 и 582.

На желтую мѣдь похожъ **томбакъ** (85 част. красной мѣди,

*) См. Verhandl. d. V. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1896, стр. 65 и слѣд.; Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, стр. 331. О металлическихъ сплавахъ, служащихъ для уменьшенія тренія, см. Zeitchr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 1300, 1330, 1350 и слѣд.

НТБ ДНУЗТ

15 цинка), красноватаго цвѣта, и **бѣлая латунь** съ 50 до 80% цинка, цвѣтъ желтовато-бѣлый.

2. Бронза представляетъ сплавы изъ красной мѣди и олова, плотнѣе, тверже и болѣе легкоплавка, чѣмъ красная мѣдь. Для вкладышей подшипниковъ цѣлесообразно брать: 83 части красной мѣди и 17 олова; или 82 кр. мѣди, 16 олова и 2 цинка. Съ увеличеніемъ количества олова до 28% твердость увеличивается, при дальнѣйшемъ увеличеніи содержанія олова—снова уменьшается. Наибольшее сопротивленіе при 17,5% олова. Бронзу съ содержаніемъ олова $< 5\%$ можно вытягивать въ холодномъ состояніи. Прибавкой свинца увеличивается хрупкость, уменьшается сопротивленіе и понижается температура плавленія. Цинкъ уменьшаетъ твердость и сопротивленіе.

Прибавленіемъ 0,5 до 1% фосфора (см. по назначенію) получается **фосфористая бронза**; весьма тягуча, прочна, мелкозерниста и легкоплавка, прокатывается, куется и вытягивается. Для машинныхъ частей: 90,34 красн. мѣди, 8,9 олова и 0,76 фосфора. G. Höper (Iserlohn), между прочими издѣліями фосфористой бронзы, изготовляетъ листы и телефонную проволоку, которая въ неотожженномъ состояніи имѣетъ временное сопротивленіе $K_z =$ 14000 kg/qcm при $\varphi = 1\%$, а въ отожженномъ $K_z = 6300$ kg/qcm и $\varphi = 72\%$.

Колокольный металлъ содержитъ до 25% олова, красновато-сѣрый, очень хрупокъ и трудно поддается обдѣлкѣ. **Пушечная бронза** содержитъ въ себѣ до 10% олова, желтовато-красна, мало тягуча, довольно тверда и обладаетъ значительною прочностью; примѣняется для орудійныхъ дулъ, паровыхъ клапановъ, паровыхъ кранovъ и для большей части бронзовыхъ отливокъ. При быстромъ охлажденіи дѣлается мягкой, при медленномъ охлажденіи—твердой и хрупкой.

Статуйная бронза—къ ней еще прибавляется цинкъ и свинецъ; хорошо выполняетъ формы и скоро покрывается слоемъ Патина. Составъ весьма разнообразенъ. Нормальная статуйная бронза имѣетъ составъ: красной мѣди 86,7, олова 6,7, свинца 3,3 и цинка 3,3. **Бронза для медалей** содержитъ только 2% олова.

Телеграфная и телефонная проволока изъ бронзы.

Фельтенъ и Гильомъ въ Мюльгеймѣ.

Толщина проволоки въ mm	4,5	4,0	3,0	2,7	2,5	2,2	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,9
Вѣсъ 1000 m въ kg . .	143	113	63	51	44	34	28	23	18	10	7,0	4,5.

(Эти данныя соотвѣтствуютъ удѣльному вѣсу=9,0; по Гекману уд. вѣсъ для проволоки изъ бронзы =9,066).

Бронзовая проволока для большихъ разстояній *) обладаетъ проводимостью, равною 60 до 98% проводимости красной мѣди, и

$K_z = 6800$ до 4600 kg/qcm, при толщинѣ 3,0 mm,
$K_z = 7100$ 4800 „ „ 0,9

*) Въ Швейцаріи надъ озеромъ Валленъ (между Квинтенъ и Мургъ) натянута бронзовая телефонная проволока толщиною 3 mm и пролетомъ 2400 m. Прогибъ лѣтомъ около 50 m, зимой около 40 m.

НТБ ДНУЗТ

Силиціевая бронзовая проволока, для городскихъ проводовъ, имѣетъ проводимость въ 30 до 40% проводимости красной мѣди и

$K_z = 7800$ до 6500 kg/qcm при толщ. 3,0 mm,
$K_z = 8500$ „ 8000 „ „ „ 0,9 „

Въ новѣйшее время употребляется **двойная бронзовая проволока**, состоящая изъ проволоки алюминіевой бронзы съ оболочкой красной мѣди, $K_z = 7600$ kg/qcm, проводимость равна 69% проводимости красной мѣди.

Проволока компаундъ имѣетъ стальную сердцевину и бронзовую оболочку У проволоки толщиною 3 mm сѣченіе сердцевины 2,87 qmm и оболочки 4,20 qmm.

Управленіе Германскихъ правит. телеграфовъ и телефоновъ требуетъ для бронзовой телефонной проволоки:

Проволока	4,5	4	3		1,5	mm діаметръ
K_z не меньше	5000	5100	5260	5260	7000	kg/qcm;
проводока должна выдерживать .	6	7	7	7	11	изгибовъ
въ губкахъ	10		5			mm радіусомъ.

При пробѣ на разрывъ (температура 16° до 15°) для проволоки толщиною 1,5 mm должно быть $\varphi \geqq 1\%$, для другихъ толщинъ $\varphi \geqq 1{,}5\%$. Подробности о производствѣ пробъ см. стр. 1028, относительно допускаемаго сопротивленія проводовъ см. ч. II, электротехника.

3. Бѣлый металлъ (бабиттъ), сплавы олова съ сурьмой, свинцомъ или красной мѣдью. Антифрикціонный сплавъ содержитъ въ себѣ всѣ 4 металла и, кромѣ того, цинкъ. Бѣлый металлъ для подшипниковъ: олова 85, сурьмы 10, красной мѣди 5; или: олова 90, сурьмы 7, красной мѣди 3. Для паровозныхъ и тендерныхъ осевыхъ подшипниковъ: олова 78,4, сурьмы 12,6, красной мѣди 9. Для эксцентриковыхъ колецъ: олова 83, сурьмы 11, красной мѣди 6. Для сальниковъ: олова 45, сурьмы 10, свинца 45. Свинцовая композиція: свинца 75 до 85, сурьмы 25 до 15; очень твердый и дешевый металлъ для подшипниковъ.

4. Металлъ Дельта представляетъ сплавъ красной мѣди, цинка и желѣза, цвѣтъ золотисто-желтый, прокатывается въ холодномъ и горячемъ состояніи, протягивается въ проволоку, при темно-красномъ каленіи легко куется, штампуется и прессуется; въ расплавленномъ состояніи очень жидокъ; отливки изъ этого металла весьма плотны и, при этомъ, весьма прочны и тягучи (цилиндры, подверженные давленію 500 до 600 атм., не обнаруживаютъ на поверхности признаковъ потѣнія). Прочное и временное сопротивленіе см. стр. 336. Лучше сопротивляется вліянію морской и кислой воды, нежели желѣзо и сталь, почему примѣняется въ ко-

---

**) См. Centralbl. d. Bauverw. 1886, стр. 308.
***) См. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, стр. 1319.

НТБ ДНУЗТ

рабельномъ и горномъ дѣлѣ. Изготовляется въ видѣ болванокъ, листовъ, полосъ, проволоки, а также отливокъ, отковокъ и прессованный. Употребляется для гребныхъ винтовъ и другихъ корабельныхъ частей, насосныхъ клапановъ, лопастныхъ колесъ, для центробѣжныхъ насосовъ, поршневыхъ стержней, зубчатыхъ полосъ (реекъ), вкладышей подшипниковъ и гаечныхъ ключей.

5. Припой. Передъ спайкой части должны быть тщательно вычищены и имѣть металлически-чистую поверхность, которая при употребленіи мягкаго припоя покрывается канифолью, стеариномъ или нашатыремъ, а при твердомъ припоѣ — бурой. Для этой цѣли употребляютъ растворъ цинка въ соляной кислотѣ.

1. **Мягкій припой** (быстро спаивающій припой) изъ олова и свинца, къ которымъ цѣлесообразно прибавлять висмутъ (висмутовый припой). Уд. вѣсъ 8,1 до 9,7.

Висмутовый припой для легкоплавкаго олова съ содержаніемъ свинца; вѣсовыя части.	15,5	олово,	32	свинецъ,	52,2	висмутъ;	точка плавленія при		96°.
	20	„	26	„	54	„ ;	„	„	101°.
	20,6	„	26,8	„	52,6	„ ;	„	„	103°.
	21,4		27,8	„	50,8		„	„	107°.
	24,8		22,1	„	53,1				114°.
	20		20		60				121°.
	15		25		60				125°.
Мягкій припой для желѣза, покрытаго оловомъ, красной мѣди, желтой мѣди, олова, цинка, свинца и т. д.; вѣсовыя части.	63,2	олово,	36,8	свинецъ;	точка плавленія при				183°.
	60	„	40	„ ;				„	189°.
	70	„	30	„ ;				„	194°.
	85	„	15	„					212°.
	50	„	50	„					213°.
	40,2	„	59,8						232°.
	30	„	70						257°.

2. Твердый припой.

Твердый припой для	Составныя части (вѣсъ). Олово.	Цинкъ.	Желт. мѣдь.	Красн. мѣдь.	Примѣчанія.	
желтой мѣди, желѣза, красной мѣди и стали.		1	7		очень тугоплавокъ	желтый
		1	3—4		тугоплавокъ	
	.	1	2—2,5		особенно для желт. мѣди	
	1	4—7	12		полубѣлый	
	1	10	22			
	4	1	20		бѣлый.	
	2	1	11			
	1		4			
	10		4	6		

Зеркальная амальгама: 1 вѣсов. часть свинца, 1 вѣсов. часть олова, 2 вѣс. части висмута сплавляются вмѣстѣ, и къ сплаву прибавляются 4 вѣсов. части ртути (предварительно подогрѣтой до 100°).

НТБ ДНУЗТ

6. Другіе металлическіе сплавы.

Названіе.	Составныя части (вѣсъ). Красная мѣдь.	Олово.	Цинкъ.	Сурьма.	Сюда еще прибавляются вѣсовыя части.
Типографскій металлъ.				16 до 25	84 до 75 свинца (съ прибавкой 5—15% алюм.).
Типогр. металлъ Эргардта	4 до 2	4 до 3	89 до 93		3 до 2 свинца.
Твердый металлъ Жонсона		59	33		
		75		25	
				20	80 свинца.
Британскій металлъ	1,85	81,9		16,25	
		90		10	
Нейзильберъ	50 до 65		30 до 20		20 до 15 ник.
	55		25		20
Альфенидъ .	59		30		10 „
Алюмин. бронза *). .	85 до 95				15 до 5 алюм.
Алюм. желт. мѣдь.	96,7				3,3

Легкоплавкіе сплавы. **Металлъ Розе**: 1 олова, 1 свинца и 2 висмута (точка плавленія при 110°). **Сплавъ для клише**: 2 ч. олова, 2 свинца, 5 висмута (точка плавленія при 105°). **Металлъ Вуда**: 4 олова, 8 свинца, 15 висмута, 4 кадмія (точка плавленія при 70°). **Металлъ Липовица**: 4 олова, 8 свинца, 15 висмута, 3 кадмія (точка плавленія при 60°).

III. ЕСТЕСТВЕННЫЕ КАМНИ И ЗЕМЛИ.

Минералогическая скала твердости: 1. Талькъ, 2. Гипсъ (или кам. соль), 3. Известковый шпатъ, 4. Плавиковый шпатъ, 5. Апатитъ, 6. Полевой шпатъ, 7. Кварцъ, 8. Топазъ, 9. Корундъ (наждакъ), 10. Алмазъ.

Сопротивленіе камней см. стр. 337 и 343. Удѣльные вѣса стр. 974 и слѣд.

---

*) О сплавахъ алюминія см. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892, 1314.

НТБ ДНУЗТ

а. Породы скалистыя.

1. Камни монолитные.

α. Камни плутоническаго происхожденія.

1. **Гранитъ** состоитъ изъ полевого шпата, кварца и слюды; сложеніе зернисто-кристаллическое. Цвѣтъ желтовато-сѣрый, сѣрый до черноватаго, мясно-красный, красный и бурый, а также и зеленый.

2. **Сіенитъ** состоитъ изъ полевого шпата и роговой обманки. Сложеніе зернисто-кристаллическое, цвѣтъ черный съ вкрапленными сѣрыми пятнами.

3. **Діоритъ** состоитъ изъ полевого шпата, роговой обманки и случайнаго сѣрнаго колчедана, обыкновенно черновато-сѣраго цвѣта.

4. **Діабазъ** (полевой шпатъ и авгитъ). Черноватый до зеленаго, почему наз. грюнштейномъ.

5. **Габбро** (лабрадоръ), темносѣрый и зеленый.

6. **Серпентинъ** (вѣроятно, произошелъ отъ метаморфозы габбро). Большею частью зеленый, бываетъ красный и желтый.

7. **Порфиръ**. Плотная мелкозернистая масса, состоящая изъ полевого шпата и кварца; цвѣтъ красновато-сѣрый, сѣрый, зеленоватый, а также и синеватый съ вкрапленными свѣтлыми или темными пятнами (полев. шпата, кварца или слюды). Главнымъ образомъ: **Фельзитпорфиръ,** красновато-бурый, желтоватый, сѣрый, зеленоватый или голубоватый, и **мелафиръ,** большею частью черный.

Камни вулканическаго происхожденія.

1. **Трахитовые камни** (плотная, часто пористая масса полевого шпата, съ вкрапленными кристаллами роговой обманки, черной слюды, магнитнаго желѣзняка, а также санидина). Цвѣтъ сѣрый. Сюда относятся: **пемза**, **обсидіанъ**, **фонолитъ** и т. п.

2. **Авгитовые камни.** Къ нимъ принадлежатъ: **долеритъ** (бѣловатый полевой шпатъ съ авгитовыми кристаллами) черновато-сѣрый; **базальтъ** (камень равномѣрнаго сложенія изъ авгита и лабрадора), темно-сѣрый до чернаго, встрѣчается въ видѣ правильныхъ призматическихъ колоннъ, въ видѣ слоевъ, круглыхъ глыбъ и т. п.; **лава** (отвердѣвшія изверженія вулкановъ; строеніе пористое, состоитъ изъ полевого шпата, авгита, магнитнаго желѣзняка и т. п.). По цвѣту и твердости весьма различны. Различаютъ: **трахитовую и базальтовую лаву**, темно-сѣрую и черноватую.

2. Камни слоистаго сложенія, сланцы.

1. **Гнейсъ** (слоистая порода гранита). Подверженъ вывѣтриванію въ большей степени, чѣмъ гранитъ.

2. **Кварцитъ** (чистый или почти чистый кварцъ). Кристаллическій до стеклообразнаго сложенія. Употребляется для выдѣлки стекла. Какъ гравій—для постройки дорогъ, приготовленія бетона и т. д.

НТБ ДНУЗТ

3. **Слюдяной сланецъ**. Между сильно блестящими прослойками слюды находится сѣрый кварцъ въ видѣ слоевъ или равномѣрно распредѣленныхъ зеренъ.

4. **Хлоритовый и тальковый сланецъ**, если слюда замѣнена хлоритомъ или талькомъ. Хлоритъ зеленовато-сѣрый идетъ для кровель.

b. Каменныя породы въ видѣ пластовъ.

1. **Глинистый сланецъ** (кремнекислый глиноземъ (см. стр. 1049) и кварцъ, образовавшійся отъ вывѣтриванія полевого шпата), синевато-сѣрый до чернаго, также красный, легко колется на слои, почему примѣняется для кровельныхъ покрытій. Вредныя примѣси: сѣрный колчеданъ, уголь, углекислая известь.

2. **Известняки**, въ которыхъ преобладаетъ углекислота. Если подается полировкѣ, то наз. **мраморомъ**. Цвѣтъ зависитъ отъ случайныхъ примѣсей окиси желѣза, окиси мѣди и т. п., отъ бѣлаго до сѣраго и чернаго, желтый, красный, бурый, одноцвѣтный, пятнистый, съ цвѣтными жилами и т. п. При удаленіи углекислоты дѣйствіемъ высокой температуры остается ѣдкая известь. **Кристаллическая известь**, просвѣчиваетъ; благородный мраморъ (Каррара, Тироль, Силезія, въ новѣйшее время Норвегія). **Плотная известь** смѣшана съ пескомъ и глиной. Къ ней принадлежатъ: **переходная известь** (граувакковая известь), бѣлаго цвѣта, сѣраго, желтаго, краснаго и т. п., въ общей массѣ встрѣчаются большія глыбы глины; **угольная известь**, цвѣтъ большею частью темно-сѣрый до чернаго; **рановистый известнякъ**, желтоватый и синевато-сѣрый до чернаго, также красноватый; **известковый шпатъ** (или оолитъ) состоитъ изъ небольшихъ шариковъ или яйцевидныхъ зеренъ, цвѣтъ сѣрый до красновато-бураго. **Юрская известь**, цвѣтъ сѣрый, желтоватый или красновато бѣлый. **Мѣлъ**, бѣлая землистая известь, состоящая изъ микроскопическихъ раковинъ допотопныхъ животныхъ. **Кремнекислая известь**, свѣтло-сѣрая и буроватая, съ примѣсью значительнаго количества кремнекислоты.

3. **Мергели**. Разноцвѣтные, плотные, землистые или слоистые камни, состоящіе изъ углекислой известковой массы, соединенной съ глиной. Въ зависимости отъ того, преобладаетъ ли известь или глина, различаютъ известковый или глинистый мергель; съ примѣсью кремнекислоты—кремнекислый мергель; съ примѣсью горькой соли—доломитовый мергель. Мергели употребляются для изготовленія цементовъ.

4. **Доломитъ**—углекислая известь и углекислая магнезія. Цвѣтъ бѣловатый, желтый, сѣрый до бураго. Кристаллическій, плотный, въ высшей степени долговѣчный камень.

5. **Гипсъ**. Сѣрнокислая известь съ содержаніемъ воды. Цвѣтъ вообще бѣлый, желтоватый, до краснаго и кровяного цвѣта, сѣрый до черноватаго, часто въ пятнахъ, жилахъ и т. п. Сюда относится **зернистый гипсъ** или **алебастръ**, желтовато-бѣлый или зелено-

НТБ ДНУЗТ

ватый, также сѣрый, съ жилами и т. п. **Волокнистый гипсъ** имѣетъ волокнистое сложеніе, волокна параллельны, цвѣтъ бѣлый, желтый, сѣрый, красный, болѣе или менѣе прозрачный. **Плотный гипсъ**, снѣжно-бѣлый до сѣраго, употребляется для обжига; часто сопровождается каменною солью.

6. **Песчаникъ**. Остатки кварца (песчинки), связанные въ болѣе или менѣе плотную каменную массу кремнистымъ, гипсовымъ, известковымъ или глинистымъ составомъ. Цвѣтъ бѣлый, сѣрый, зеленоватый, желтый до краснаго. Въ немъ часто встрѣчаются: известковый шпатъ, листочки слюды, бурый желѣзнякъ, куски красной и зеленой глины. Сюда относятся: **гравуакка**, темно-сѣраго цвѣта, весьма тверда, почему употребляется для мостовыхъ. **Угольный песчаникъ**, большею частью свѣтло-сѣрый и съ прослойками угля. **Юрскій известнякъ**, сѣрый и желтовато-сѣрый, мелко-зернистый.

c. Конгломераты и туффы.

1. **Конгломераты** состоятъ изъ округленныхъ булыжныхъ камней, связанныхъ мергелистымъ составомъ.

2. **Туффъ** — болѣе или менѣе рыхлый, пористый камень. Различаютъ вулканическіе и известковые туффы. Первые представляютъ затвердѣвшія изверженія вулкановъ въ видѣ глыбъ, послѣдніе представляютъ сплошныя спекшіяся образованія у кислыхъ источниковъ. Сюда принадлежатъ **порфировый туффъ**, образовавшійся изъ разрыхленной порфировидной породы. **Известковый туффъ**, желтовато-бѣлый или сѣрый до буроватаго, болѣе или менѣе плотный, часто пористый, осаждается въ водѣ, богатой содержаніемъ извести. **Пемзовый туффъ** состоитъ изъ разрыхленной массы пемзы. Цвѣтъ бѣлый, желтый или сѣрый; содержитъ куски пемзы или трахита, зерна авгита, кристаллы санидина и т. п. Сюда относятся: **пуццоланы**, **санторинская земля и трасъ**. **Базальтовый туффъ** состоитъ изъ мелкаго истертаго базальта или долерита, цвѣтъ грязно-сѣрый до черноватаго, содержитъ авгитъ, оливинъ, роговую обманку, слюду и т. п.

d. Отдѣльные камни и земли.

1. **Эрратическія массивныя глыбы** упосятся глетчерами, и мѣсто нахожденія ихъ не соотвѣтствуетъ мѣсторожденію. Большею частью гранитъ, гнейсъ, сіенитъ, діоритъ, порфиръ и т. п.

2. **Камни, отдѣляющіеся** отъ скалъ отъ дѣйствія морозовъ и затѣмъ упосимые горными водными потоками. Известковые камни для обжига и кремневые камни для сооруженія дорогъ.

3. **Песокъ** представляетъ мелко раздѣленныя части кварцевыхъ камней, часто съ примѣсью извести, мергеля и глины. Различаютъ рѣчной и болотный песокъ, послѣдній болѣе крупный, менѣе чистый.

4. **Кизельгуръ**, инфузоріевая земля, состоящая изъ раковинъ

НТБ ДНУЗТ

микроскопическихъ животныхъ. Цвѣтъ бѣловатый и сѣрый, употребляется какъ изолирующая масса, какъ полировочное средство и для приготовленія растворимаго стекла.

5. **Глина**—въ чистомъ состояніи водный кремнекислый глиноземъ, а обыкновенно—смѣсь этого глинозема съ пескомъ (крупно и мелкозернистымъ), небольшимъ количествомъ извести и окиси желѣза; образуется осажденіемъ въ водѣ различныхъ вывѣтрившихся каменныхъ породъ. Цвѣтъ: сѣрый, зеленый, синій, красный или желтый. Жадно впитываетъ воду (до 70%) и дѣлается липкой и легко поддается формовкѣ. Въ виду своей водонепроницаемости примѣняется для обкладки и уплотненія каналовъ, въ фильтровыхъ бассейнахъ и плотинахъ подъ водой. — При сушкѣ и обжиганіи уменьшается въ объемѣ, съ сохраненіемъ однако первоначальной формы, и дѣлается чрезвычайно твердой. Сюда относятся: **каолинъ** — самая чистая глина, употребляется для изготовленія фарфоровыхъ издѣлій; **пластическая глина**, употребляемая для горшковъ и т. п.; **кирпичная глина**, глинистый мергель (богатый содержаніемъ извести), глина и лесъ, который продолжаетъ безпрерывно осаждаться и въ настоящее время. Цвѣтъ глины послѣ обжига зависитъ отъ ея состава: окись желѣза даетъ желтый, магнезія — бѣлый, перекись желѣза—зеленоватый, известь—почти бѣлый цвѣтъ.

6. **Насыпная земля** образуется отъ вывѣтриванія различныхъ каменныхъ породъ съ примѣсью животныхъ и растительныхъ частицъ, содержитъ поваренную соль, вслѣдствіе чего, а особенно отъ образованія азотной кислоты при прикосновеніи съ кладкой, содержащей известь, получается разъѣданіе каменной кладки, почему необходимо отдѣлить землю отъ дерева и кладки слоемъ сухого щебня, дегтя, глины или портландскаго цемента.

IV. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМНИ.

а. Необожженные камни.

1. **Воздушный кирпичъ** формуется изъ сырой глины и просушивается на воздухѣ; для кладки берутъ глиняный растворъ (глина въ водѣ). Размѣры различные, прочность мала. Употребляется для заполненія отверстій въ фахверковыхъ стѣнахъ, равно и для внутреннихъ стѣнъ сельско-хозяйственныхъ построекъ; стѣны получаются дешевыя, сухія и теплыя.

Глина, смѣшанная съ рѣзанною соломою (или отбросами льна, пеньки) употребляется для заполненія промежутковъ между двумя досчатыми щитами—глинобитныя постройки. Наружнія стѣны изъ воздушнаго кирпича или глины должны быть хорошо изолированы противъ сырости и покрыты сильно свѣшивающимися крышами.

НТБ ДНУЗТ

2. **Известково-песчаный кирпичъ.** 1 объемъ густого известковаго молока тщательно перемѣшивается съ 6 объемами песка (крупнаго, безъ глины), и изъ этой смѣси черезъ 8 до 10 дней приготовляется на мѣстѣ работъ кирпичъ обыкновеннаго формата. Черезъ 24 часа слегка просушенный кирпичъ идетъ въ кладку на известковомъ растворѣ; кладка затвердѣваетъ на воздухѣ въ теченіе 4 недѣль. Погруженіемъ предварительно просушенныхъ кирпичей въ жидкій растворъ растворимаго стекла достигается болѣе быстрое и болѣе сильное затвердѣваніе. Дешевле обожженнаго кирпича и съ удобствомъ замѣняетъ его въ сельско-хозяйственныхъ постройкахъ; хорошо сопротивляется дѣйствію мороза и довольно проченъ.

Эта же смѣсь (съ 1,5 до 2-ного количествомъ песка съ прибавкою цемента) служитъ заполненіемъ между двумя досчатыми стѣнками, куда затрамбовывается слоями толщиною 10 cm. въ перевязку — известково-глинобитныя стѣны.

3. **Искусственный песчаникъ**, смѣсь мелкаго песка и гравія (также толченаго стекла), съ порошкообразною известью и портландскимъ цементомъ; разбавляется въ небольшомъ количествѣ воды и трамбуется въ формы. Послѣ легкаго просушиванія на воздухѣ камни затвердѣваютъ въ жидкомъ растворѣ растворимаго стекла. Такъ же изготовляется и гидравлическій песчаникъ. Употребляется вмѣсто естественнаго песчаника для фронтовыхъ стѣнъ въ постройкахъ, ступеней, половъ, строительныхъ орнаментовъ. Сопротивленіе см. стр. 338 и 343.

4. **Пробковые камни** (Grünzweig & Hartmann, Ludwigshafen на Рейнѣ; уд. вѣсъ см. стр. 976, временное сопротивленіе сжатію $K = 17$, изгибу $K_b = 7{,}2$ kg/qcm) бѣлые состоятъ изъ мелко нарѣзанныхъ кусковъ пробки, связанныхъ между собою глинистою массою, весьма легки, удобны для приданія какой угодно формы, распиливаются, разрѣзаются и прибиваются гвоздями. Въ сырыхъ мѣстахъ и при температурѣ свыше 350° употреблять не слѣдуетъ. Камни кладутся на гипсовомъ растворѣ, для швовъ — известковый и гипсовый растворъ въ равныхъ частяхъ.

Черные пробковые камни, у которыхъ связывающимъ составомъ служитъ каменноугольный деготь, прочнѣе, тяжеле и на 40% дороже бѣлыхъ, употребляются также и въ сырыхъ мѣстахъ, кладутся на цементномъ или асфальтовомъ растворѣ и служатъ для обкладыванія холодныхъ и сырыхъ стѣнъ. Въ пожарномъ отношеніи безопасны. Для черныхъ камней $\lambda = 0{,}165$, для бѣлыхъ $\lambda = 0{,}080$. λ коэффицентъ теплопроводности, см. ч. II, четырнадцатый отдѣлъ.

Пробковые камни (въ смѣси съ замазкой) прессуются въ полуцилиндрическія формы и даютъ прекрасное средство для предохраненія паропроводныхъ трубъ отъ охлажденія (стр. 305).

Линолеумъ (толщ. 1,5 до 4,5 mm) приготовляется изъ пробковой муки и затвердѣлаго льняного масла, укрѣпляется съ одной стороны пеньковыми волокнами и покрывается лакомъ. Идетъ для выстилки половъ, дорожекъ, панелей и т. д.

5. **Англійскіе шлаковые камни.** Шлаки доменныхъ печей выливаются въ чугунныя формы, поддерживаемыя нѣкоторое время въ раскаленномъ состояніи, и при медленномъ охлажденіи даютъ весь-

НТБ ДНУЗТ

ма твердые, тяжелые, нехрупкіе камни бураго и чернаго цвѣта. Идутъ для мостовыхъ, половъ, сараевъ и т. д.

6. **Известково-шлаковые камни**. Горячіе шлаки доменныхъ печей выливаются въ холодную воду, отчего дѣлаются весьма крупнозернистыми. Измельченные шлаки смѣшиваются съ гашеною известью и прессуются въ форматъ обыкновеннаго кирпича. Кирпичъ весьма быстро твердѣетъ на воздухѣ отъ образованія кремнекислой и углекислой извести и даетъ прекрасный матеріалъ для построекъ, поддается штукатуркѣ.

7. **Цементные камни** (см. ниже, бетонъ).

8. **Ксилолитъ** (дерево-камень). Древесныя опилки (мука), смѣшанныя съ замазкой изъ магнезіи [жженая магнезія (MgO), растворяется въ 30% растворѣ хлористаго магнія], прессуются въ формы подъ высокимъ давленіемъ. Плиты кладутся въ массу, составленную изъ мѣла, песка и растворимаго стекла. Ксилолитъ плохой проводникъ тепла, держитъ тепло лучше камня, не коробится, безопасенъ въ пожарномъ отношеніи, не боится гриба и хорошо сопротивляется сырости (впитываетъ только 5% воды). Уд. вѣсъ 1,56. Естественный цвѣтъ свѣтложелтый. Доски въ 1,5 qm, толщиной 10 до 26 mm. Замѣняетъ деревянные полы, паркетъ, ступени.

9. **Гипсовые полы, мраморной цементъ** и др. см. гипсъ, стр. 1055 и 1056.

b. Обожженные камни.

Матеріаломъ для обожженныхъ камней служитъ сырая глина съ большимъ или меньшимъ количествомъ песка (мелкаго или крупнаго) и съ значительною примѣсью окиси желѣза, известняка, сѣрнаго колчедана и органическихъ остатковъ Приготовленіе глины—вывѣтриваніе, мятье, промывка и т. п.—имѣетъ цѣлью разрыхленіе и удаленіе всѣхъ твердыхъ, крупныхъ и вредныхъ примѣсей. Слишкомъ жирная глина дѣлается болѣе тощею прибавленіемъ древесныхъ опилокъ, отрубей, песку, кирпичной муки; также достигается хорошій матеріалъ для кирпича смѣшиваніемъ глины жирной съ глиной тощей.

Когда достигнута равномѣрность глиняной массы, то производится формовка кирпича сплошного, пустотѣлаго, трубъ и т. и. Формовка ручная и машинная (ручного и машиннаго дѣйствія); послѣдняя даетъ въ издѣліи болѣе плотный и прочный матеріалъ. Величина формы должна быть опредѣлена съ разсчетомъ на усадку. Линейная усадка глины, идущей на выдѣлку кирпича, въ среднемъ 1 : 10 до 1 7, объемная усадка примѣрно въ три раза больше и опредѣляется въ точности пробнымъ обжигомъ. Рабочій формуетъ въ 10 часовъ 2000 до 3000 кирпичей, машина въ 10 силъ формуетъ изъ сырой глины до 30000, а машина въ 16 силъ формуетъ изъ сухой глины до 40000 кирпичей въ 10 часовъ.

Послѣ просушки на воздухѣ кирпичъ подвергается обжигу. Об-

НТБ ДНУЗТ

жигъ въ напольныхъ печахъ даетъ некрасивый по формѣ, но дешевый кирпичъ, идущій однако въ дѣло; много браку. Изъ кирпичеобжигательныхъ печей наиболѣе совершенны кольцевыя печи Лихтъ и Гоффманъ. Печи эти работаютъ непрерывно и хорошо утилизируютъ горючій матеріалъ. На 1000 шт. вполнѣ обожженныхъ кирпичей требуется 150 до 200 kg угля; печь даетъ въ день, смотря по размѣрамъ ея, 2000 до 20000 кирпичей. Уд. вѣсъ кирпича см. стр. 975 и 981. Сопротивленіе стр. 338 и 343. Вѣсъ русскаго кирпича размѣрами 6 верш. × 3 верш. × $1^1/_2$ вершка составляетъ 8 до 8,5 рус. фунтовъ. Главнѣйшіе сорта кирпичей:

1. **Обыкновенный кирпичъ**, хорошо обожженный, не долженъ красить, долженъ впитывать въ себя не болѣе 16% воды, быть твердымъ, въ изломѣ обнаруживать острыя ребра и при ударѣ молоткомъ издавать чистый звукъ (а не глухой или дребезжащій); только такой кирпичъ обладаетъ сопротивленіемъ и долговѣченъ.

Пористый кирпичъ для легкихъ стѣнокъ, легкихъ башенъ, выступовъ, изготовляется изъ глины, къ которой примѣшаны отъ одной трети до половины горючіе матеріалы (древесныя опилки, бурый уголь, коксовая пыль, отруби); онъ обладаетъ половиннымъ сопротивленіемъ сравнительно съ кирпичемъ сплошнымъ, сохраняетъ теплоту, легокъ (1 кирпичъ размѣрами 25.21. 6,5 cm. вѣситъ 2,25 до 2,75 kg, 1 cbm вѣситъ 1130 до 1380 kg.).

Кирпичъ пустотѣлый съ внутренними сквозными каналами, цилиндрическими или призматическими, идущими вдоль или поперекъ. Преимущества и употребленіе какъ и кирпича пористаго, прочность больше. Толщину стѣнокъ слѣдуетъ дѣлать вездѣ одинаковою — 1,5 до 2,0 cm. Тонко-стѣнные пустотѣлые кирпичи имѣютъ вѣсъ 1000, толсто-стѣнные около 1200 kg/cbm.

2. **Клинкеръ** — хорошо обожженный и покрытый глазурью кирпичъ, изготовленный изъ глины съ содержаніемъ извести (а иногда и кварцеваго песка), форма большею частью неправильна; воды не впитываетъ, издаетъ чистый звукъ и весьма твердъ; кладка только на гидравлическомъ растворѣ. Идетъ для мостовыхъ и гидротехническихъ работъ, а въ зданіяхъ для опоръ подъ балки, сильно нагруженныхъ колоннъ, изолирующихъ слоевъ, мостовыхъ и т. д.

3. **Облицовочный кирпичъ** изготовляется изъ жирной глины и тщательно формуется послѣдующей прессовкой, окрашивается въ разные цвѣта. Размѣры нормальные. Постели дѣлаются рубчатыя; изготовляется часто пустотѣлымъ. Иногда покрывается глазурью и хорошо сопротивляется атмосфернымъ вліяніямъ. Къ этимъ кирпичамъ относится еще профилированный кирпичъ для карнизовъ, дверей, оконъ, сводчатый кирпичъ. Требуется равномѣрный цвѣтъ и вполнѣ острыя формы, при отступленіи въ размѣрахъ не болѣе ± 0,5 mm.

4. **Терракотты** представляютъ художественныя глиняныя издѣлія

НТБ ДНУЗТ

изъ весьма жирной глины, дающей при обжигѣ вполнѣ равномѣрный цвѣтъ, формуются въ гипсовыхъ формахъ.

Сюда относятся различныя плитки, примѣняемыя для настилки половъ, между прочимъ и цвѣтныя метлахскія плитки изъ жирной, легко спекающейся глины, съ примѣсью кварцеваго песка. При укладкѣ этихъ плитокъ швы не слѣдуетъ заполнять портландскимъ цементомъ, такъ какъ алкаліевыя соединенія цемента переходятъ въ массу плитокъ и служатъ причиной образованія темныхъ краевъ у свѣтлыхъ плитокъ. Цементный растворъ можно брать въ этомъ случаѣ лишь какъ основаніе для укладки плитокъ, а для швовъ, напротивъ того, свѣтлую гидравлическую известь.

5. **Шамотный кирпичъ** огнеупоренъ, не плавится, формуется изъ огнеупорной глины, смѣшанной съ обожженной и размолотой глиной; подвергается обжигу до температуры бѣлаго каленія. Въ зависимости отъ назначенія, кирпичи изготовляются весьма плотными и твердыми. Кладка на огнеупорной глинѣ (жирная глина въ смѣси съ сухимъ шамотнымъ порошкомъ).

6. **Черепица** плоская, желобчатая, коньковая и т. п. (болѣе подробно см. ч. II, отдѣлъ X, кровли). Цвѣта различные, покрывается иногда и глазурью. Для предохраненія отъ дѣйствія кислотъ погружается въ горячую смолу. Новѣйшая шпунтованная черепица кладется насухо безъ раствора; дождь, снѣгъ и сырость въ шпунтъ не проникаютъ.

7. **Изразцы** представляютъ прямоугольную глазурованную доску, къ которой сзади придѣлывается коробка. Изготовляются изъ глины въ ручную изъ вышеуказанныхъ двухъ частей или прессуются машинами изъ одного куска. Обжигъ производится два раза. Послѣ перваго обжига производится покрытіе глазурью.

8. **Гончарныя трубы** представляютъ глиняныя раструбныя трубы, изнутри и снаружи покрытыя глазурью, сѣченіе круговое, эллиптическое или овальное. Изготовляются вмѣстѣ съ фасонными къ нимъ частями: отводами, отвѣтвленіями, переходами, сифонами и др., діаметромъ отъ 5 до 60 cm. Гончарныя трубы прямоугольнаго сѣченія, не покрытыя или покрытыя глазурью, примѣняются для дымопроводовъ и какъ вентиляціонные каналы; изготовляются кусками въ 1 до 4 отверстій (каналовъ) отъ 70 до 2350 qcm площади въ свѣту.

НТБ ДНУЗТ

V. РАСТВОРЫ, ШТУКАТУРКА, ЦЕМЕНТЪ, БЕТОНЪ и т. п.

Растворы, служащіе для связи между собою камней, раздѣляются на **воздушные** — для стѣнъ, окруженныхъ только воздухомъ, и **водяные**, сопротивляющіеся также дѣйствію воды.

а. Воздушные растворы.

1. **Глиняный растворъ** изъ вымоченной тощей глины, смѣшанной съ рубленой соломой, затвердѣваетъ на воздухѣ вслѣдствіе простого высыханія, почему растворъ этотъ непроченъ и легко вымывается водой. Употребляется только для внутреннихъ стѣнъ и хорошо защищенныхъ наружнихъ стѣнъ, а также для выкладки топокъ печей, котловъ и т. п.

Твердые и весьма эластичные полы для гуменъ, кегельбаны и т. п. устраиваются трамбованіемъ глины, смѣшанной съ желѣзною окалиной.

Растворъ самый дешевый, скоро высыхающій, сохраняется при высокой температурѣ. При окраскѣ этимъ растворомъ дерева получается хорошее противопожарное средство для деревянныхъ стѣнъ.

2. **Известково-песчаный растворъ.** Обожженная известь, предназначенная для гашенія, получается изъ известняка, по возможности очищеннаго отъ глины и песка, путемъ сильнаго обжиганія въ известково-обжигательныхъ (кольцевыхъ, стр. 1052) печахъ; углекислота при этомъ выдѣляется. Обожженная известь должна быть защищена отъ доступа воздуха и воды, въ противномъ случаѣ известь мертвѣетъ. Эта обожженная или ѣдкая известь гасится мягкой (лучше всего дождевой) водой либо до превращенія въ сухой порошокъ, для чего куча обожженной извести покрывается пескомъ и вспрыскивается водой, либо гасится до превращенія въ известковое тѣсто.

Для этой цѣли известь смѣшивается предварительно съ равнымъ по вѣсу количествомъ воды, отчего известь распадается и значительно увеличивается въ объемѣ, затѣмъ прибавляется еще двойное по вѣсу количество воды, при одновременномъ тщательномъ перемѣшиваніи. Если воды слишкомъ мало, то известь егораетъ; если воды слишкомъ много, то известь пересыщается. Известковое молоко стекаетъ въ невыложенную кирпичемъ яму, гдѣ послѣ просачиванія всѣхъ нечистотъ и полнаго гашенія получается въ ямѣ осадокъ жирной извести. Полученное такимъ образомъ известковое тѣсто, будучи покрыто слоемъ песка, можетъ сохраняться въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ и во всякое время можетъ пойти въ дѣло.

Известь, полученная изъ тощихъ известняковъ, даетъ при гашеніи зернистое тощее тѣсто. Одинъ объемъ жирной извести

НТБ ДНУЗТ

даетъ съ 3 объемами воды — 3 объема жирной гашеной извести; тогда какъ 1 объемъ тощей извести съ 2 объемами воды = 2 объемамъ гашеной извести. Гашеная известь жирная до употребленія въ дѣло должна на своей поверхности въ творилѣ имѣть трещины. Свѣжее известковое молоко для образованія растворовъ не годится.

Для образованія раствора употребляется острокопечный кварцевый песокъ средняго зерна, смѣшанный съ $^1/_3$ мелкаго песка; песокъ не долженъ содержать глины или органическихъ примѣсей. Къ такому песку прибавляется столько гашеной извести, сколько необходимо лишь для заполненія промежутковъ между песчинками; общій объемъ при этомъ увеличиваться не долженъ. При жирной извести берутъ для стѣнъ надъ уровнемъ земли 1 объемъ извести на 3 объема песка, для кладки фундаментовъ — 1 объемъ извести на 4 объема песка. При извести тощей 1 объемъ извести на 1 до 2 объемовъ песка. Съ увеличеніемъ содержанія извести увеличивается время затвердѣванія и прочность раствора, равно и стоимость кладки. Прибавленіе къ раствору густого коровьяго молока придаетъ ему чрезвычайную твердость.

Затвердѣваніе известково-песчанаго раствора. По мѣрѣ испаренія воды, растворъ начинаетъ медленно просыхать, отчего частицы раствора мало-по-малу слипаются и образуются промежутки — растворъ схватываетъ. Только послѣ испаренія значительнаго количества воды начинается надлежащее затвердѣваніе вслѣдствіе соединенія съ углекислотой воздуха; послѣдняя осаждаетъ изъ всей массы известковой воды, которою пропитанъ весь растворъ (растворъ гашеной извести въ 800 частяхъ воды), кристаллическую углекислую известь, которая и производитъ внутреннюю связь всѣхъ частицъ раствора между собою. Высыханіе и затвердѣваніе раствора происходитъ отъ наружныхъ поверхностей постепенно вовнутрь кладки. Полное превращеніе въ углекислую известь происходитъ лишь черезъ нѣсколько лѣтъ. Кладка, произведенная на кирпичѣ не вполнѣ смоченномъ, не обладаетъ достаточною прочностью. Растворъ, быстро просушенный, путемъ нагрѣванія быстро распадается. Для хорошаго известково-песчанаго раствора $K = 40$ kg/qcm. Отъ дѣйствія мороза известково-песчаный растворъ разрывается. Кладка на этомъ растворѣ при температурѣ ниже -2^0 не должна производиться.

Прибавленіемъ портландскаго цемента въ незначительномъ количествѣ затвердѣваніе значительно ускоряется, равнымъ образомъ увеличивается прочность и твердость.

Штукатурка внутреннихъ стѣнъ дѣлается изъ гашеной извести, гипса и небольшого количества песка.

3. **Гипсовый растворъ** получается разбавленіемъ въ водѣ безводнаго порошкообразнаго гипса. Натуральный гипсъ, нагрѣтый до 200° (стр. 1047), легко отдаетъ всю воду (21%) и пріобрѣтаетъ способность, въ смѣшеніи съ водой, снова весьма быстро съ

НТБ ДНУЗТ

нею соединяться, причемъ получается не вполнѣ твердая масса. При нагрѣваніи свыше 200° гипсъ съ водой не связывается. При нагрѣваніи до 400° и выше гипсъ дѣлается тяжеле и плотнѣе, пріобрѣтая гидравлическія свойства, т.-е. въ водѣ схватываетъ весьма медленно, давая чрезвычайно твердую массу.

Изъ вышеуказанныхъ двухъ различныхъ матеріаловъ первый, порошкообразный гипсъ для штукатурныхъ и художественныхъ работъ получается обжиганіемъ натуральнаго гипса только до 130°, причемъ послѣдній содержитъ въ себѣ еще 5% воды, почему въ смѣшеніи съ водой затвердѣваетъ черезъ 30 минутъ, не нагрѣваясь при этомъ чрезмѣрно. Масса при этомъ нѣсколько увеличивается въ объемѣ и поэтому прекрасно заполняетъ форму (отливка орнаментовъ въ формы изъ столярнаго клея). Нагрѣтый выше 200° схватываетъ слишкомъ скоро и нагрѣвается настолько, что клеевыя формы плавятся; кромѣ того, увеличеніе объема въ этомъ случаѣ такъ же недостаточно, какъ и въ случаѣ гипса недожженнаго (ниже 120°).

Второй—**гипсъ для половъ и каменной кладки** въ видѣ раствора (порошокъ, разбавленный въ водѣ), нагрѣтый до слабо-краснаго каленія, имѣетъ свойства медленно схватывающаго цемента. Хорошо утрамбованный гипсовый полъ твердѣетъ сначала весьма медленно, а впослѣдствіи даетъ весьма твердую массу, не увеличивающуюся въ объемѣ. Хорошо сопротивляется атмосфернымъ вліяніямъ.

b. Гидравлическіе и цементные растворы.

Матеріалъ для этихъ растворовъ весьма разнообразенъ, но у всѣхъ растворовъ главными составными частями является глина и известь. Для гидравлическаго раствора весьма важно содержаніе въ немъ кремнекислаго глинозема.

1. **Пуццоланы**, натуральные или искусственные, представляютъ разложенные накаливаніемъ силикаты глинозема, которые, будучи примѣшаны къ гашеной извести, придаютъ ей способность затвердѣвать въ водѣ.

a. Натуральные пуццоланы: **пуццоланная земля** (Италія, Франція), **санторинская земля** (Грецiя). **Трассъ** (вулканическій туффъ), весьма удобный для гидротехническихъ сооруженій, продается кусками и въ видѣ порошка. Лучше пріобрѣтать кусками, которые, непосредственно передъ употребленіемъ въ дѣло, размалываются и примѣшиваются къ извести. **Трассовый растворъ** примѣняется главнымъ образомъ какъ гидравлическій, но гдѣ трассъ дешевъ, также какъ воздушный растворъ. 1 вѣс. ч. обожженной извести, 2 вѣс. ч. порошкообр. гаш. извести, 1 вѣс. ч. по возможности безводнаго трасса. 1 до 4 вѣс. частей известковаго молока съ 2 вѣс. ч. трасса безъ воды даютъ полный трассовый растворъ. Прибавленіемъ песка (1 в. ч. трасса, 1 в. ч. извести, 1 в. ч. песка,

НТБ ДНУЗТ

до 1 в. ч. трасса, 2 в. ч. извести, 4 в. ч. песка) получается не такъ быстро твердѣющій растворъ.

β. Искусственные **пуццоланы**: обожженная глина во всѣхъ видахъ, въ порошкѣ, также и мелко размолотый кирпичъ. Употребительный гидравлическій растворъ изъ 3 объем. известковаго тѣста, 2 объемовъ кирпичной муки и 3 объемовъ песка. Шлаки доменныхъ печей (50 до 6% SiO_2 и 15 до 20% Al_2O_3) въ смѣси съ известковымъ тѣстомъ схватываютъ медленно, но весьма тверды. Изготовленные изъ этой смѣси камни (см. 6, стр. 1051) сильно гидравличны.

2. **Гидравлическая известь** представляетъ **известняки** съ удачнымъ содержаніемъ силикатовъ глинозема и песка (20 до 25%), а также различные сорта мергеля. Измельченные до величины кулака камни обжигаются въ шахтныхъ печахъ слоями въ перемежку съ слоями угля до спеканія, а затѣмъ измельчаются въ порошокъ. Идетъ въ дѣло только въ свѣжемъ видѣ. Разбавленная въ водѣ съ пескомъ или безъ песка, масса весьма быстро затвердѣваетъ въ водѣ и дѣлается болѣе или менѣе прочною. У нѣкоторыхъ сортовъ происходитъ увеличеніе объема, что не можетъ быть вполнѣ устранено даже при значительномъ прибавленіи песка. Гидравлическая известь употребляется (безъ примѣси песка) для стѣнъ въ движущейся водѣ, а съ пескомъ (3 объема цемента, 2 объема песка) для кладки въ сырыхъ мѣстахъ; 1 объема цемента и 6 до 8 объемовъ песка—для штукатурки стѣнъ.

Сюда относятся также **романскіе цементы**, которые дешевле цементовъ портландскихъ.

Временныя правила пріемки и испытанія романъ-цементовъ.

Утверждены М. П. С. 30 апрѣля 1901 года, № 101.

§ 1. *Опредѣленіе романъ-цементовъ и составъ ихъ.*

а) Романъ-цементъ есть продуктъ, получаемый изъ известковыхъ или магнезіальныхъ мергелей посредствомъ умѣреннаго обжига таковыхъ, не доходящаго до спеканія, и черезъ послѣдующее измельченіе обожженнаго продукта въ тонкій порошокъ.

Примѣчаніе. Нижеслѣдующія временныя правила примѣняются также и къ искусственному цементу, производимому въ Московскомъ районѣ, изготовляемому изъ смѣси магнезіальнаго мергеля и глины, предварительно обожженныхъ ниже температуры спеканія и измельченныхъ въ тонкій порошокъ, и также носящему названіе романъ-цемента.

б) Количество частей, входящихъ въ составъ романъ-цемента, не опредѣляется, за исключеніемъ ангидрида сѣрной кислоты, количество коего не должно превышать 2,6%.

§ 2. *Общія указанія о качествахъ романъ-цементовъ и испытаніе ихъ.*

а) Испытанія качествъ, указанныхъ ниже (въ §§ отъ 3 до 7), которымъ долженъ удовлетворять романъ-цементъ, производятся во всемъ согласно настоящимъ правиламъ.

Примѣчаніе 1-е. Всѣ растворы для испытанія и изслѣдованій, указанныхъ въ §§ 4, 5 и 7, должны быть изготовляемы на прѣсной водѣ.

Примѣчаніе 2-е. Всѣ опредѣленія и испытанія слѣдуетъ производить въ помѣщеніи съ однообразной температурой отъ 15° до 18° Ц., употребляя какъ цементъ, такъ и песокъ и воду комнатной температуры. Въ тѣхъ случаяхъ, когда это требованіе въ отношеніи температуры невыполнимо, не-

НТБ ДНУЗТ

обходимо дѣлать о семъ оговорку въ журналахъ, указывая на бывшую при испытаніи температуру.

Примѣчаніе 3-е. Количество образцовъ (§ 7), приготовляемыхъ изъ одного и того же цементнаго тѣста, слѣдуетъ дѣлать не свыше 6, и, во всякомъ случаѣ, приготовленіе образцовъ изъ затвореннаго цементнаго тѣста должно заканчиваться до наступленія начала схватыванія.

Примѣчаніе 4-е. Всякое перемѣшиваніе для полученія раствора съ пескомъ должно производиться въ теченіе 5 минутъ, считая съ момента заливки смѣси водою.

Примѣчаніе 5-е. Какъ лепешки изъ цементнаго тѣста (§§ 4 и 5), такъ и образцы (§ 7), приготовленные изъ смѣси съ пескомъ для пробы на сопротивленіе разрыву, въ теченіе всего времени пребыванія ихъ на воздухѣ должны храниться во влажномъ пространствѣ.

Приготовленіе вышеуказанныхъ лепешекъ и образцовъ дѣлается обязательно на невсасывающей подкладкѣ (мраморной, стеклянной и т. п.).

§ 3. *Удѣльный вѣсъ романъ-цемента.* Удѣльный вѣсъ романъ-цемента долженъ быть не менѣе 2,60 и не болѣе 3,00, причемъ цементъ берется въ просушенномъ состояніи при 120° Ц.

Примѣчаніе. Удѣльный вѣсъ опредѣляется помощью объемомѣровъ Шумана и Лешателье-Кандло.

Объемомѣръ Шумана представляетъ стеклянный сосудъ съ трубкою, раздѣленною на десятыя доли кубическаго сантиметра. Вливъ скипидаръ до нуленого дѣленія на трубкѣ, всыпаютъ постепенно 50 граммовъ цемента (взвѣшаннаго съ точностью до миллиграмма), встряхивая приборъ и постукивая по трубкѣ. По удаленіи воздуха закрываютъ трубку пробкою и, выждавъ отъ 7 до 10 минутъ, пока жидкость не сдѣлается свѣтлою, читаютъ показаніе уровня ея (по нижней части мениска); частное отъ раздѣленія вѣса всыпаннаго цемента на объемъ, занимаемый послѣднимъ въ объемомѣрѣ, представляетъ удѣльный вѣсъ цемента. Необходимо наблюдать, чтобы во время опыта температура не мѣнялась, и чтобы какъ приборъ, такъ и скипидаръ и цементъ находились, по возможности, дольше въ одной и той же температурѣ. За удѣльный вѣсъ даннаго цемента принимается среднее изъ двухъ опредѣленій.

Приборъ Лешателье-Кандло состоитъ изъ стклянки вмѣстимостью приблизительно въ 120 куб. см., верхняя часть этой стклянки представляетъ узкую трубу въ 20 см. длины. Верхняя половина этой трубки имѣетъ шаровидную выпуклость, которая ограничена снизу и сверху на трубкѣ двумя черточками; объемъ, заключающійся между черточками, равенъ 20 куб. сант.

Надъ выпуклостью трубка до верхней черточки раздѣлена тремя черточками на 3 куб. сант., съ подраздѣленіемъ каждаго куб. сант. до $^1/_{10}$ куб. сант.

Внутренній діаметръ трубки, за исключеніемъ выпуклости, равняется 0,009 метра, приблизительно; длина трубки отъ верха стклянки до выпуклости, т.-е. нижней черточки выпуклости, равняется 10 сантиметрамъ.

Для опредѣленія удѣльнаго вѣса даннаго порошка поступаютъ слѣдующимъ образомъ:

Наполняютъ приборъ до нижней черточки подъ выпуклостью бензиномъ и, отвѣсивъ точно 64 грамма порошка, насыпаютъ послѣдній въ стклянку посредствомъ воронки, нижній конецъ которой не доходитъ на нѣсколько милиметровъ до верхней черточки выпуклости; такимъ образомъ, порошокъ не можетъ скопляться у стѣнки трубки и ее закрывать, и такъ какъ обѣ черточки очень близки къ выпуклости, то нѣтъ причины опасаться, что высыпанію порошка будетъ препятствовать образованіе пробокъ, какъ это часто случается съ приборомъ Шумана.

Когда уровень бензина начнетъ приближаться къ верхней черточкѣ, нужно вводить порошокъ съ большой осторожностью и очень маленькими количествами, до того момента, пока бензинъ не коснется верхней черточки; оставшійся порошокъ взвѣшиваютъ и полученный вѣсъ вычитаютъ изъ 64 граммовъ. Разница будетъ показывать вѣсъ порошка, который вытѣснилъ 20 куб. сант. бензина. Раздѣливъ этотъ вѣсъ на 20, получимъ удѣльный вѣсъ порошка.

Во все время этой операціи приборъ долженъ находиться въ водѣ, кромѣ верхней его части; такимъ образомъ можно избѣжать ошибокъ, происходящихъ отъ колебанія температуры. Необходимо очень тщательно слѣдить за приближеніемъ уровня бензина къ черточкамъ, для чего ставятъ приборъ передъ глазами и держатъ позади его бѣлую или черную бумагу, что позволяетъ ясно разглядѣть менискъ, который долженъ совершенно касаться черточки.

НТБ ДНУЗТ

Маленькіе воздушные пузырьки сами собой выходятъ и не требуютъ прикосновенія къ прибору. Благодаря значительной длинѣ трубки, порошокъ разсѣивается и выдѣляетъ воздухъ, который онъ захватывалъ съ собой.

Необходимо соблюдать при опытахъ слѣдующее:

1) Обращать строгое вниманіе на то, чтобы цементъ былъ совершенно разсыпчатъ; всѣ комочки и крупинки, оставшіеся отъ влажности ситъ въ 900 отв. на кв. сант., должны быть растерты, пропущены сквозь сита и смѣшаны съ общей массой матеріала.

2) Употребляемой жидкостью долженъ быть или бензинъ, или минеральная эссенція.

3) Температура должна быть постоянной по время опыта и не должна превышать 15° Ц.

§ 4. *Условія схватыванія романъ-цемента.* Срокъ схватыванія свѣже-приготовленнаго романъ-цемента, при нормальной густотѣ (консистенціи) раствора, долженъ наступать не ранѣе 15 минутъ, считая съ момента прибавленія воды къ цементу.

Примѣчаніе 1-е. Количество воды для нормальной густоты раствора изъ чистаго цемента опредѣляется измѣрителемъ густоты, т.-е. приборомъ, состоящимъ изъ стержня, діаметромъ въ одинъ сантиметръ, съ тарелкой, при общемъ вѣсѣ стержня и тарелки въ 330 граммовъ, изъ кольцевой коробки, высотою въ 4 сантиметра и діаметромъ въ 8 сантиметровъ, для помѣщенія цементнаго тѣста, и изъ шкалы съ дѣленіями въ миллиметрахъ, снабженной указателемъ. Для опредѣленія нормальной густоты раствора изъ чистаго романъ-цемента затворяютъ 300 граммовъ романъ-цемента съ такимъ количествомъ воды, которое примѣрно дастъ густое тѣсто; перемѣшиваютъ тѣсто самымъ тщательнымъ образомъ въ продолженіе 5-ти минутъ, послѣ чего наполняютъ имъ, по возможности безъ встряхиванія, кольцевую коробку, уложенную на невсасывающей (напр. стеклянной) подкладкѣ, и срѣзаютъ излишекъ тѣста. Затѣмъ стержень измѣрителя густоты спускаютъ осторожно настолько, чтобы указатель сталъ противъ дѣленія „40“ на шкалѣ, послѣ чего даютъ стержню свободно погружаться въ тѣсто.

То количество воды въ % по вѣсу отъ взятаго для затворенія романъ-цемента, при которомъ погруженіе стержня соотвѣтствуетъ положенію указателя противъ дѣленія „6“ на шкалѣ въ предѣлахъ отъ $5^1/_2$ до $6^1/_2$, есть нормальное для раствора изъ чистаго романъ-цемента. Это количество воды опредѣляется съ точностью до $^1/_2$%.

Примѣчаніе 2-е. Количество воды, соотвѣтствующее нормальной густотѣ раствора изъ чистаго романъ-цемента, для различныхъ романъ-цементовъ измѣняется обыкновенно въ предѣлахъ отъ 40 до 55%, но для различныхъ партій романъ-цементовъ одного и того же завода въ извѣстной поставкѣ оно довольно постоянно.

Примѣчаніе 3-е. Для опредѣленія срока схватыванія романъ-цемента затворяется тѣсто изъ 300 граммовъ романъ-цемента съ вышеопредѣленнымъ количествомъ воды и накладывается, какъ упомянуто выше, при соблюденіи тѣхъ же пріемовъ, въ кольцевую коробку. Затѣмъ цементное тѣсто подставляется подъ иглу квадратнаго сѣченія въ 1 мм. въ сторонѣ (игла Вика), нагруженную 300 граммами, которой черезъ каждую минуту даютъ свободно погружаться въ цементное тѣсто, подводя каждый разъ подъ иглу новую часть тѣста. За конецъ схватыванія принимается тотъ моментъ, когда игла углубляется въ цементное тѣсто не болѣе, какъ на $^1/_2$ мм.

§ 5. *Условія постоянства объема.* Растворъ нормальной густоты изъ чистаго романъ-цемента долженъ обладать постоянствомъ объема, какъ на воздухѣ, такъ и въ водѣ, т.-е. лепешки изъ означенныхъ растворовъ, приготовленныя, какъ указано ниже, при пробѣ ихъ нагрѣваніемъ и въ водѣ, не должны представлять ни искривленій, ни радіальныхъ трещинъ у краевъ. Трещинки усыханій, появляющіяся не у краевъ, а у середины ея, въ родѣ концентричныхъ поверхностныхъ линій, не служатъ доказательствомъ измѣняемости объема цементнаго раствора. Для каждаго рода пробъ на постоянство объема берется по двѣ лепешки.

Для пробъ нагрѣваніемъ дѣлаются лепешки, каждая изъ 50 граммовъ чистаго цемента, въ діаметрѣ около 7 сантиметровъ, на стеклѣ, покрытомъ листомъ влажной пропускной бумаги.

Лепешки эти послѣ 2-хъ суточнаго пребыванія на воздухѣ помѣщаются на полкѣ воздушной бани, гдѣ должны оставаться при температурѣ въ 120° Ц. не менѣе двухъ часовъ.

НТБ ДНУЗТ

Лепешки для пробы въ водѣ, приготовленныя вышеописаннымъ способомъ, должны храниться на воздухѣ во влажномъ пространствѣ болѣе двухъ сутокъ, послѣ чего погружаются въ воду, гдѣ должны оставаться до 28-дневнаго срока.

§ 6. *Крупность помола романъ-цемента.* Романъ-цементъ долженъ быть измолотъ возможно мельче; при просѣиваніи цементнаго порошка черезъ сито въ 900 отверстій на кв. сантиметръ, остатокъ на ситѣ долженъ быть не болѣе 15% просѣяннаго количества.

Толщина проволоки для сита въ 900 отверстій на 1 квадратный сантиметръ должна быть въ 0,1 мм. Количество цемента для опредѣленія измола берется въ 100 граммовъ.

§ 7. *Условія испытанія романъ-цемента на сопротивленіе его разрыву.*

а) Механическое сопротивленіе разрыву романъ-цемента опредѣляется испытаніемъ смѣси цемента съ пескомъ въ пропорціи 1 : 5 по вѣсу. Всѣ испытанія романъ-цемента на крѣпость производятся посредствомъ одинаковыхъ приборовъ и при томъ на образцахъ одинаковаго сѣченія, площадью въ 5 кв. сант. въ мѣстѣ разрыва, приготовленныхъ однообразнымъ способомъ.

При приготовленіи образцовъ для испытанія раствора изъ смѣси романъ-цемента съ пескомъ, вода берется въ количествѣ, соотвѣтствующемъ нормальной густотѣ раствора, которая опредѣляется извѣстною механическою обработкою. Механическая работа при испытаніи образца нормальнымъ копровымъ аппаратомъ Клебе должна соотвѣтствовать 0,1 килограммометра на каждый граммъ сухой смѣси.

Вѣсъ единицы объема свѣжеприготовленнаго вышеуказанною механическою обработкою кубическаго образца представляетъ специфическій вѣсъ сырого тѣста нормальной густоты въ смѣси 1 : 5; при приготовленіи образцовъ для испытанія на разрывъ, уплотненіе тѣста въ формахъ должно производиться до тѣхъ поръ, пока вѣсъ единицы объема таковыхъ не получится соотвѣтствующимъ вышеопредѣленному специфическому вѣсу.

Для приготовленія образцовъ растворъ накладывается съ значительнымъ излишкомъ въ металлическія формы, смазанныя внутри масломъ или смоченныя водою, положенныя на доску изъ матеріала, не всасывающаго воду (наприм. мрамора). Изъ формы образцы освобождаются немедленно послѣ ихъ изготовленія осторожно, безъ ихъ поврежденія.

Испытаніе образцовъ производится на рычажномъ приборѣ Михаэлиса, причемъ испытывается одновременно шесть образцовъ, и среднее сопротивленіе испытываемаго цемента опредѣляется по четыремъ наибольшимъ цифрамъ сопротивленія, оказавшимся при испытаніи.

б) Испытаніе образцовъ раствора изъ смѣси романъ-цемента и песка.

Для изготовленія образцовъ при этомъ испытаніи составляется смѣсь въ пропорціи одной части романъ-цемента и пяти частей нормальнаго песка по вѣсу. Песокъ, употребляемый для означенной смѣси, долженъ быть карцевый, просѣянный черезъ три сита въ 64, 144 и 225 отверстій на кв. см. Полученные отъ просѣиванія черезъ сита въ 144 и 225 отверстій остатки, смѣшанные между собою поровну, составляютъ упомянутый нормальный песокъ.

Толщина проволокъ въ ситахъ должна быть 0,4 мм. для сита въ 64 отверстія, въ 0,3 мм. для сита въ 144 отверстія и 0,2 мм. для сита въ 225 отверстій на кв. см.

Образцы, изготовленные упомянутымъ способомъ изъ смѣси романъ-цемента и песка, должны давать сопротивленіе разрыву на воздухѣ черезъ 28 дней послѣ затворенія не менѣе 5 (пяти) кгр. на кв. см.; въ водѣ черезъ 28 дней не менѣе 3 (трехъ) кгр. на кв. см.

в) Испытаніе романъ-цемента должно быть производимо и съ растворомъ изъ чистаго цемента черезъ 28 дней со дня затворенія, но результаты этихъ испытаній не вліяютъ на пріемку цемента и заносятся въ журналъ испытаній лишь для свѣдѣнія.

г) Для большей увѣренности въ сохраненіи цементомъ своей крѣпости, испытаніе раствора 1 : 5 продолжается до 2-хъ мѣсяцевъ, причемъ результаты испытанія черезъ означенный срокъ заносятся въ журналъ и должны показывать возрастаніе крѣпости сравнительно съ результатами 28-ми дневныхъ испытаній.

Примѣчаніе 1-е. Опредѣленіе количества воды для нормальной густоты раствора изъ смѣси романъ-цемента съ пескомъ.

Количество воды для затворенія смѣси изъ одной части романъ-цемента и пяти частей нормальнаго песка, соотвѣтствующее нормальной густотѣ раствора съ пескомъ,

НТБ ДНУЗТ

опредѣляется или извѣстною вышеуказанною механическою работою на цементномъ копрѣ, или же берется на основаніи заявленій завода. Если количество воды не можетъ быть опредѣлено на цементномъ копрѣ и не указано заводчикомъ, то слѣдуетъ взять его отъ 10 до 13% воды отъ вѣса сухой смѣси и въ этихъ предѣлахъ измѣнять это количество, соотвѣтственно дѣйствительной надобности, для полученія удобно обрабатываемаго тѣста.

Примѣчаніе 2-е. Къ приготовленію образцовъ раствора изъ смѣси романъ-цемента и песка.

Растворъ вколачивается въ форму ручнымъ способомъ, желѣзною лопаткою, вѣсомъ 250 граммовъ, или деревяннымъ молоткомъ того же вѣса, или же копровымъ аппаратомъ Клебе или Беме до тѣхъ поръ, пока на поверхности раствора не покажется вода; тогда излишекъ раствора срѣзается и поверхность тѣста, заполняющаго форму, выравнивается ножемъ. Добавленіе и вторичное вколачиваніе раствора въ формы не допускается. Въ спорныхъ случаяхъ результаты испытанія образцовъ, приготовленныхъ машиннымъ способомъ, имѣютъ рѣшающее значеніе.

Примѣчаніе 3-е. Къ храненію образцовъ до срока испытанія.

Свѣжія, плашмя лежащія, пробы прикрываются стекляннымъ колпакомъ.

На третій день съ момента приготовленія пробы вынимаются изъ-подъ колпака и устанавливаются на ребро для всесторонняго воздѣйствія на нихъ воздуха.

Пробы, которыя подлежатъ затвердѣванію въ водѣ послѣ 3-хъ-суточнаго пребыванія на воздухѣ подъ стекляннымъ колпакомъ, кладутся въ воду на ребро, гдѣ и остаются до момента испытанія. Вода, въ которой хранятся образцы, должна мѣняться не менѣе одного раза въ недѣлю.

Примѣчаніе 4-е. Приборъ Михаэлиса.

Приборъ Михаэлиса есть приборъ рычажный съ двойной передачей. При отношеніи плечъ 10 и 5 къ 1, при сѣченіи образца въ шейкѣ въ 5 кв. сант.. сопротивленіе образца разрыву на 1 квадр. сантиметръ получается, умножая разрывающій грузъ на 10. Передъ употребленіемъ въ дѣло приборъ долженъ быть уравновѣшенъ при помощи подвижного противовѣса, насаженнаго на длинный рычагъ. Передъ производствомъ опыта, образцы слегка обтираются и осторожно очищаются отъ неровностей, избѣгая малѣйшаго поврежденія образца. Нагруженіе чашки прибора должно производиться механически (напр. приборомъ Бертелеми, Урѣшева, Михаэлиса) мелкой дробью (для приборовъ Урѣшева и Бертелеми берется дробь № 9, а для прибора Михаэлиса дробь № 5) съ однообразною скоростью, примѣрно около 100 граммовъ въ секунду. Въ случаѣ рѣзко отличающихся другъ отъ друга результатовъ испытанія романъ-цементовъ на разрывъ, слѣдуетъ обращать вниманіе на видъ образцовъ въ сѣченіи разрыва, для выясненія, не было ли въ немъ трещинокъ, образовавшихся до испытанія, а также имѣли ли образцы правильную форму.

§ 8. *Упаковка и вѣсъ.* Романъ-цементъ упаковывается въ бочки или мѣшки, съ обозначеніемъ на каждомъ мѣшкѣ и бочкѣ вѣса брутто. Сверхъ того, на мѣшкахъ и бочкахъ должна быть ясно обозначена фирма завода.

3. **Портландскій цементъ** представляетъ искусственную гидравлическую известь, получаемую обжиганіемъ опредѣленной смѣси глины и извести, почему имѣетъ строеніе болѣе равномѣрное, нежели натуральная гидравлическая известь. Качество цемента зависитъ отъ строенія того сырого матеріала, изъ котораго онъ изготовляется, въ особенности же отъ качествъ глины, отъ равномѣрности ея сложенія, правильной температуры обжига и отъ тонкости размола.

Портландскій цементъ—весьма мелкій порошокъ синеватаго или зеленовато-сѣраго цвѣта. Уд. вѣсъ въ затверд. сост. 2,7 до 3,2, въ порошкѣ—1,3 до 1,95. Явленія, имѣющія мѣсто при затвердѣваніи

НТБ ДНУЗТ

цементовъ и гидравлической извести, еще не вполнѣ выяснены. Химическій составъ довольно равномѣрный; въ среднемъ: 60% извести, 23% кремнезема 7,5% глинозема.

Техническія условія пріемки портландъ-цементовъ.

Утверждены Министромъ П. С. 3 Іюня 1899 г., за № 69.

§ 1. **Опредѣленіе портландъ-цемента и составъ его.** Портландъ-цементъ есть продуктъ, получаемый изъ природныхъ мергелей или изъ искусственныхъ смѣсей матеріаловъ, содержащихъ глину и углекислую известь, посредствомъ обжига таковыхъ до спеканія и черезъ послѣдующее измельченіе въ тонкій порошокъ.

Называемое гидравлическимъ модулемъ отношеніе вѣсового количества окиси кальція (CaO) и щелочей (Na_2O и K_2O) къ суммѣ вѣсовыхъ количествъ кремнезема (SiO_2), глинозема (Al_2O_3) и окиси желѣза (Fe_2O_3) въ портландъ-цементѣ должно быть не менѣе 1,7 и не болѣе 2,2. Количество ангидрида сѣрной кислоты и магнезіи въ готовомъ портландъ-цементѣ (т.-е. послѣ добавленія къ обожженному продукту постороннихъ примѣсей) должно быть: первой не болѣе 1¾%, а второй не болѣе 3%.

Примѣсь къ обожженному и измельченному портландъ-цементу постороннихъ веществъ допускается не свыше 2% по вѣсу.

Примѣчаніе. Управленіямъ работъ предоставляется командировать на цементные заводы уполномоченныхъ сими Управленіями лицъ, для наблюденія за изготовленіемъ цемента и надлежащимъ его составомъ, а равно и для производства на заводѣ части или всѣхъ установленныхъ сими правилами испытаній качествъ изготовленнаго продукта.

Въ случаѣ сомнѣній въ составѣ продукта, или по особому распоряженію подлежащаго учрежденія Министерства Путей Сообщенія, командируемыя лица удостовѣряются въ удовлетворительности сего состава посредствомъ химическаго анализа.

§ 2. **Общія указанія объ испытаніи качествъ портландъ-цемента.** а) Испытанія качествъ, указанныхъ ниже (въ параграфахъ отъ 3 до 7), которымъ долженъ удовлетворять портландъ-цементъ, производятся во всемъ согласно настоящимъ техническимъ условіямъ.

б) Для производства испытаній поставка, заключающая болѣе 3-хъ тысячъ бочекъ, дѣлится на партіи въ 3 тысячи бочекъ; изъ каждой партіи берется 0,3% изъ числа бочекъ и изъ каждой избранной бочки 15 фунтовъ цемента. Для поставки ниже 3000 бочекъ партіи берутся въ 1000 бочекъ; изъ каждой партіи берется ½% и изъ каждой бочки 15 ф. цемента. При поставкѣ менѣе 1000 бочекъ вся поставка составляетъ одну партію, причемъ число пробъ для испытанія должно быть не менѣе 3-хъ. Поставка менѣе 500 бочекъ допускается къ пріему упрощеннымъ способомъ, производя пробу на постоянство объема, опредѣленіе удѣльнаго вѣса и ознакомившись съ результатами прежнихъ испытаній.

При поставкѣ цемента партіями менѣе 500 бочекъ подлежащее учрежденіе Министерства Путей Сообщенія можетъ разрѣшить пріемку цемента на основаніи установленнаго симъ учрежденіемъ упрощеннаго способа испытаній, если цементъ пріобрѣтенъ при этомъ непосредственно отъ завода, продукты котораго, на основаніи результатовъ прежнихъ испытаній, не возбуждаютъ сомнѣнія въ ихъ доброкачественности.

Проба цемента на постоянство объема и на удѣльный вѣсъ (§§ 5 и 3) во всякомъ случаѣ обязательна.

Всѣ испытанія цемента производятся надъ смѣсью пробъ, взятыхъ изъ каждой партіи, опредѣленіе же неизмѣняемости объема производится надъ каждой пробой.

в) Всѣ растворы для испытаній и изслѣдованій, указанныхъ въ §§ 4, 5 и 7, могутъ быть приготовляемы на рѣчной, морской или на дистиллированной водѣ.

г) Всѣ опредѣленія и испытанія слѣдуетъ производить въ помѣщеніи съ однообразной температурой отъ 15 до 18° Ц., употребляя какъ цементъ, такъ песокъ и воду комнатной температуры. Въ тѣхъ случаяхъ, когда это требованіе въ отношеніи температуры невыполнимо, необходимо дѣлать о семъ оговорку въ журналахъ, указывая бывшую при испытаніяхъ температуру.

д) Количество образцовъ (§ 7), приготовляемыхъ изъ одного и того же цементнаго тѣста, слѣдуетъ дѣлать не свыше 6 и, во всякомъ случаѣ, приготовленіе об-

НТБ ДНУЗТ

разцовъ изъ затвореннаго цементнаго тѣста должно заканчиваться до наступленія начала схватыванія.

е) Всякое перемѣшиваніе для полученія тѣста изъ чистаго портландъ-цемента съ пескомъ должно продолжаться въ теченіе одного и того же времени, а именно—пяти минутъ, считая со времени начала заливки смѣси водою. Замѣшиваніе цементнаго тѣста, а также приготовленіе образцовъ для пробы на сопротивленіе разрыву (§ 7) должны дѣлаться, по возможности, одними и тѣми же лицами и инструментами.

ж) Какъ лепешки изъ цементнаго тѣста (§§ 4 и 5), такъ и образцы (§ 7), приготовленные для пробы на сопротивленіе разрыву, въ теченіе всего времени пребыванія ихъ на воздухѣ (и по всякомъ случаѣ до наступленія схватыванія) должны храниться во влажномъ пространствѣ.

Приготовленіе вышеуказанныхъ лепешекъ и образцовъ дѣлается обязательно на невсасывающей подкладкѣ, съ гладкой поверхностью (мраморной, стеклянной, металлической и проч.).

§ 3. **Удѣльный вѣсъ портландъ-цемента.** Удѣльный вѣсъ высушеннаго нагрѣваніемъ до 120^0 Ц. портландъ-цемента долженъ быть не менѣе 3,05.

Удѣльный вѣсъ опредѣляется помощью объемомѣровъ Лешателье-Кандло или Шумана, описаніе и употребленіе коихъ приведено въ техническихъ условіяхъ для романскихъ цементовъ (см. стр. 1058).

§ 4. **Условія схватыванія портландъ-цемента.** а) Портландъ-цементъ долженъ быть медленно схватывающимся: начало его схватыванія должно наступать не ранѣе четверти часа, считая съ момента прибавленія воды къ цементу, а конецъ схватыванія не ранѣе одного часа и не позже 12 часовъ. Вода, прибавляемая къ цементу, должна быть при этомъ испытаніи прѣсная и на видъ чистая. Растворъ изъ чистаго портландъ-цемента, употребляемый для опредѣленія какъ начала, такъ и конца схватыванія, долженъ быть нормальной густоты.

б) Количество воды для нормальной густоты раствора изъ чистаго цемента опредѣляется измѣрителемъ густоты—приборомъ, состоящимъ изъ стержня, діаметромъ въ 1 сантм., съ тарелкою, при общемъ вѣсѣ стержня и тарелки 330 граммовъ, изъ кольцевой коробки, высотою въ 4 сантм. и діаметромъ въ 8 сант., для помѣщенія цементнаго тѣста, и изъ шкалы съ дѣленіями въ миллиметрахъ, снабженной указателемъ.

Для опредѣленія нормальной густоты раствора изъ чистаго портландъ-цемента затворяютъ 400 граммовъ портландъ-цемента съ такимъ количествомъ воды, которое примѣрно даетъ густоватое тѣсто; перемѣшиваютъ тѣсто самымъ тщательнымъ образомъ, послѣ чего наполняютъ имъ, по возможности, безъ встряхиванія, кольцевую коробку, уложенную на невсасывающей (напримѣръ стеклянной) подкладкѣ и срѣзаютъ излишекъ тѣста. Засимъ, стержень, измѣрителя густоты, спускаютъ осторожно настолько, чтобы указатель сталъ противъ дѣленія 40 на шкалѣ, послѣ чего даютъ стержню свободно погружаться въ тѣсто.

То количество воды въ % по вѣсу отъ взятаго для затворенія портландъ-цемента. при которомъ погруженіе стержня соотвѣтствуетъ положенію указателя противъ дѣленія 6 на шкалѣ, въ предѣлахъ отъ $5^1/_2$ до $6^1/_2$, есть нормальное для раствора изъ чистаго портландъ-цемента. Это количество воды опредѣляется съ точностью до $^1/_2\%$.

Примѣчаніе. Количество воды, соотвѣтствующее нормальной густотѣ раствора изъ чистаго портландъ-цемента, для различныхъ портландъ-цементовъ измѣняется обыкновенно въ предѣлахъ отъ 22 до 30%, но для различныхъ партій портландъ-цемента одного и того же завода въ извѣстной поставкѣ оно довольно постоянно.

в) Для опредѣленія начала и конца (срока) схватыванія портландъ-цемента, затворяется тѣсто изъ 400 граммовъ портландъ-цемента съ вышеопредѣленнымъ нормальнымъ количествомъ воды и накладывается, какъ упомянуто выше, при соблюденія тѣхъ же пріемовъ, въ кольцевую коробку. Затѣмъ цементное тѣсто подставляется подъ иглу квадратнаго сѣченія въ 1 мм. въ сторонѣ (игла Вика), нагруженную 300 граммами, которой черезъ промежутки времени въ пять и болѣе минутъ даютъ свободно погружаться въ цементное тѣсто, подводя каждый разъ подъ иголку новую часть тѣста. Начало схватыванія наступаетъ, когда игла при погруженіи въ цементное тѣсто показываетъ на шкалѣ дѣленіе между 0 и 1, т. е. не доходитъ, примѣрно, на $^1/_2$ мм. до стеклянной подкладки, находящейся подъ кольцевой коробкой, вмѣщающей цементное тѣсто, а конецъ (срокъ) схватыванія, когда игла углубляется въ цементное тѣсто не болѣе, какъ на $^1/_2$ мм.

НТБ ДНУЗТ

Для предварительнаго опредѣленія срока схватыванія портландъ-цемента можетъ служить лепешка изъ раствора чистаго портландъ-цемента съ количествомъ воды, соотвѣтствующимъ нормальной густотѣ, приготовленная на гладкомъ стеклѣ или на желѣзной пластинкѣ, причемъ лепешка дѣлается діаметромъ отъ 8 до 10 сантм. и толщиною (въ серединѣ) около 1 сантм. Портландъ-цементъ можно считать схватившимся, если легкое нажатіе лепешки ногтемъ не оставляетъ на тѣстѣ слѣда, или если при легкомъ треніи о поверхность лепешки на ней не будетъ выступать вода.

г) Проба раствора изъ чистаго портландъ-цемента, приготовленнаго въ видѣ лепешки, можетъ служить также для опредѣленія приблизительнаго срока схватыванія при послѣдовательныхъ поставкахъ на работы портландъ-цемента одного и того же завода. Въ этихъ случаяхъ срокъ схватыванія опредѣляется не менѣе, какъ по двумъ лепешкамъ.

§ 5. **Условія постоянства объема.** а) Растворъ нормальной густоты изъ чистаго портландъ-цемента долженъ обладать постоянствомъ объема, какъ на воздухѣ, такъ и на водѣ, т.-е. лепешки изъ этого раствора, приготовленныя, какъ указано въ § 4, при пробѣ ихъ нагрѣваніемъ и въ водѣ (въ теченіе 27 дней), не должны представлять ни искривленій, ни радіальныхъ трещинокъ у краевъ. Для каждаго рода пробъ на постоянство объема берется не менѣе, какъ по двѣ лепешки.

б) Для пробы нагрѣваніемъ, лепешки, черезъ 24 часа по затвореніи тѣста и, во всякомъ случаѣ, не ранѣе, какъ по истеченіи срока схватыванія портландъ-цемента, помѣщаются въ воздушную баню, гдѣ должны оставаться при температурѣ 120° Ц. не менѣе полутора часа. Трещинки усыханія, появляющіяся не у краевъ лепешки, а у средины ея, въ видѣ концентрическихъ поверхностныхъ волосныхъ линій, не служатъ доказательствомъ измѣняемости объема цементнаго раствора.

Черт. 835.

Цементный образецъ для испытанія на разрывъ.

в) Для пробы въ водѣ, лепешки, черезъ 24 часа послѣ затворенія раствора, погружаются въ воду, гдѣ остаются въ теченіе 27 дней.

Въ томъ случаѣ, когда портландъ-цементъ, относительно сопротивленія разрыву, черезъ 7 дней послѣ затворенія раствора, удовлетворяетъ тѣмъ, указаннымъ въ § 7, условіямъ, при которыхъ разрѣшается не производить испытанія на разрывъ черезъ 28 дней послѣ затворенія раствора, проба въ водѣ въ теченіе 27 дней, сверхъ пробы нагрѣваніемъ, не требуется для пріемки цемента, но должна быть дѣлаема для провѣрки пробы нагрѣваніемъ. Если повѣрочная проба въ водѣ въ теченіе 27 дней обнаружитъ въ портландъ-цементѣ непостоянство объема, то пріемка послѣдующихъ поставокъ портландъ-цемента того же завода производится не иначе, какъ на основаніи результатовъ пробы въ водѣ въ теченіе 27 дней.

§ 6. **Крупность помола портландъ-цемента.** Портландъ-цементъ долженъ быть измолотъ возможно мельче. При просѣвкѣ высушеннаго цементнаго порошка черезъ два цементныя сита упомянутыхъ ниже размѣровъ количество такового, прошедшее черезъ сито въ 4.900 отв. на 1 кв. сант. должно быть не менѣе 50% всего количества по вѣсу, взятаго для просѣвки портландъ-цемента, а количество цементнаго порошка, задержаннаго ситомъ въ 900 отверстій на 1 кв. должно сант., быть не болѣе 15% всего количества.

Толщина проволоки въ ситахъ должна быть 0,05 мм. для сита въ 4.900 отверстій на 1 кв. сант. и 0,1 мм. для сита въ 900 отверстій на 1 кв. сант. Количество цемента для опредѣленія измола берется сто граммовъ.

§ 7. а) **Условія испытанія портландъ-цемента на сопротивленіе его разрыву.** Механическое сопротивленіе портландъ-цемента опредѣляется испытаніемъ его рас-

НТБ ДНУЗТ

творовъ на разрывъ, причемъ испытанію подвергаются образцы растворовъ, составленныхъ какъ изъ чистаго цемента, такъ изъ смѣси цемента съ пескомъ. Всѣ испытанія портландъ-цемента на крѣпость производятся посредствомъ одинаковыхъ приборовъ и притомъ на образцахъ одинаковаго сѣченія, площадью въ 5 кв. сант. въ мѣстѣ разрыва, приготовленныхъ однообразнымъ способомъ *).

При приготовленіи образцовъ растворовъ для испытаній вода берется въ количествѣ, соотвѣтствующемъ нормальной густотѣ раствора, которая опредѣляется для раствора изъ чистаго портландъ-цемента согласно п. *б* § 4, а для раствора изъ смѣси портландъ-цемента съ пескомъ, какъ указано ниже въ примѣчаніи 1-мъ.

Для приготовленія образцовъ растворъ накладывается съ значительнымъ излишкомъ въ металлическія формы, предварительно вычищенныя и смазанныя масломъ или смоченныя водою, положенныя на доску изъ матеріала, не всасывающаго воды. Образцы освобождаются изъ формъ не ранѣе, какъ послѣ затвердѣнія раствора, за исключеніемъ случаевъ освобожденія образцовъ механическимъ способомъ, каковое освобожденіе можетъ быть производимо вскорѣ послѣ ихъ изготовленія.

Испытаніе образцовъ производится на приборѣ Михаэлиса, причемъ испытываются одновременно шесть образцовъ и среднее сопротивленіе испытываемаго портландъ-цемента опредѣляется по четыремъ наибольшимъ цифрамъ сопротивленія, оказавшагося при испытаніи. Образцы растворовъ, какъ изъ чистаго портландъ-цемента, такъ изъ смѣси портландъ-цемента съ пескомъ, должны оставаться въ теченіе первыхъ 24 часовъ на воздухѣ, въ влажномъ пространствѣ, послѣ чего погружаются въ воду, гдѣ остаются до момента испытанія. Вода, въ которой хранятся образцы, должна мѣняться разъ въ недѣлю.

Примѣчаніе 1. Опредѣленіе количества воды для нормальной густоты раствора изъ смѣси портландъ-цемента съ пескомъ.

Количество воды для затворенія смѣси изъ одной части портландъ-цемента и трехъ частей нормальнаго песка, соотвѣтствующее нормальной густотѣ раствора съ пескомъ, или опредѣляется извѣстною механическою работою на цементномъ копрѣ, или же берется на основаніи заявленія завода. Если количество воды не можетъ быть опредѣлено на цементномъ копрѣ и не указано заводчикомъ, то слѣдуетъ взять около 10% воды отъ вѣса сухой смѣси и измѣнять это количество соотвѣтственно дѣйствительной надобности для полученія удобно обрабатываемаго тѣста **).

Переработанное тѣсто кладется въ форму прибора и уплотняется ударною механическою работою копра въ одинъ килограммометръ на каждые 10 грам. сухой смѣси, по совершеніи которой при нормальной густотѣ раствора должно проявиться выдѣленіе изъ-подъ формы цементной жидкости молочнаго цвѣта.

Вѣсъ единицы объема свѣжеприготовленнаго такимъ образомъ кубика представляетъ специфическій вѣсъ сырого тѣста нормальной густоты въ смѣси 1 : 3; при приготовленіи образцовъ для испытанія на разрывъ, уплотненіе тѣста въ формахъ должно производиться до тѣхъ поръ, пока вѣсъ единицы объема таковыхъ не получится соотвѣтствующимъ выше опредѣленному специфическому вѣсу.

Примѣчаніе 2. Къ приготовленію образцовъ раствора изъ чистаго портландъ-цемента.

Прежде срѣзыванія излишка раствора, наложеннаго въ формы, мраморную доску, на которой онѣ уложены, слѣдуетъ приподнять съ одного конца и дать ей нѣсколько слабыхъ толчковъ о столъ. Формы кладутся на доску съ прокладкою подъ нихъ нѣсколько влажной пропускной бумаги.

Примѣчаніе 3. Къ приготовленію образцовъ раствора изъ смѣси портландъ-цемента и песку.

Растворъ вколачивается въ форму отъ руки желѣзной лопаткой, вѣсомъ до 250 грам., или деревяннымъ молоткомъ того же вѣса, или же при помощи конроваго аппарата, до тѣхъ поръ, пока на поверхности раствора не покажется вода; тогда излишекъ раствора срѣзывается и поверхность тѣста, заполняющаго форму, выравнивается ножемъ. Добавленіе и вторичное вколачиваніе раствора въ формы не допускается.

Примѣчаніе 4. Приборъ Михаэлиса см. стр. 1061.

---

*) Для упомянутыхъ испытаній рекомендуется употреблять нормальный копровый аппаратъ Клеба.

**) Для опредѣленія на цементномъ копрѣ количества воды, употребляемаго для затворенія упомянутой смѣси, къ 750 грам. смѣси изъ одной части портландъ-цемента и трехъ частей нормальнаго песка, насухо перемѣшанной, прибавляется, примѣрно, такое количество воды, которое необходимо для полученія сыроватаго тѣста.

НТБ ДНУЗТ

б) **Испытаніе образцовъ раствора изъ чистаго портландъ-цемента.** Образцы раствора, изготовленнаго изъ чистаго портландъ-цемента, должны представлять черезъ 7 дней послѣ затворенія раствора сопротивленіе не менѣе 20, а черезъ 28 дней послѣ затворенія раствора—не менѣе 25 клгрм. на 1 кв. сант.

Если портландъ-цементъ, черезъ 7 дней послѣ затворенія раствора, даетъ сопротивленіе не менѣе 23 клгрм. на кв. сант., то испытаніе его на разрывъ черезъ 28 дней послѣ затворенія раствора не требуется для пріемки цемента, но должно быть дѣлаемо для провѣрки полученныхъ результатовъ семидневныхъ испытаній.

Если при повѣрочныхъ испытаніяхъ черезъ 28 дней послѣ затворенія раствора сопротивленіе его окажется менѣе 25 клгрм. на одинъ кв. сант., то пріемка послѣдующихъ поставокъ портландъ-цемента того же завода производится не иначе, какъ на основаніи результатовъ испытаній черезъ 28 дней послѣ затворенія раствора.

в) **Испытаніе образцовъ раствора изъ смѣси портландъ-цемента и песка.** Для изготовленія образцовъ при этомъ испытаніи составляется смѣсь изъ портландъ-цемента и песка въ пропорціи одной части портландъ-цемента на три части нормальнаго песку по вѣсу. Песокъ, употребляемый для означенной цѣли, долженъ быть кварцевый, промытый, просѣянный черезъ три сита въ 64, 144 и 225 отверстій на кв. сант. Полученные отъ просѣвки черезъ сита въ 144 и 225 отверстій остатки, смѣшанные между собою поровну, составляютъ упомянутый нормальный песокъ. Толщина проволоки въ песочныхъ ситахъ должна быть 0,4 мм. для сита въ 64 отверстія и 0,3 мм. для сита въ 144 отверстія. Образцы, изготовленные указаннымъ способомъ изъ смѣси портландъ-цемента и песка, должны представлять сопротивленіе разрыву черезъ 7 дней послѣ затворенія раствора не менѣе семи и черезъ 28 дней послѣ затворенія раствора не менѣе 10 килограм. на кв. сант. Если растворъ изъ портландъ-цемента съ пескомъ представляетъ, черезъ 7 дней послѣ затворенія раствора, сопротивленіе разрыву не менѣе 8 клграм. на кв. сант. и въ то же время портландъ-цементъ удовлетворяетъ всѣмъ требованіямъ § отъ 3 до 6 и § 7, то пріемка цемента можетъ быть производима безъ испытанія его черезъ 28 дней; испытаніе же черезъ 28 дней все-таки должно быть производимо для повѣрки результатовъ семидневныхъ испытаній. Если при испытаніи черезъ 28 дней сопротивленіе разрыву раствора цемента съ пескомъ получится менѣе 10 кил. на кв. сант. то пріемка послѣдующихъ поставокъ портландъ-цементовъ того же завода производится не иначе, какъ на основаніи результатовъ испытаній черезъ 28 дней по затворенiи раствора.

Общее примѣчаніе къ § 7. Въ случаѣ поставокъ для спѣшныхъ работъ, портландъ-цементъ извѣстныхъ фирмъ можетъ быть принимаемъ ранѣе семидневнаго срока, но не ранѣе 4 дней, если при удовлетвореніи всѣхъ условій, изложенныхъ въ §§ отъ 3 до 6, сопротивленіе его разрыву въ означенный срокъ будетъ не менѣе 7 клгрм. на кв. сант.

§ 8. **Укупорка и вѣсъ бочекъ.** Бочки портландъ-цемента должны имѣть однообразный вѣсъ въ $10^1/_4$ пуд. цемента нетто (т.-е. за исключеніемъ вѣса бочки) и около 11 пуд. брутто. Для провѣрки вѣса доставляемаго цемента достаточно опредѣлять вѣсъ бочекъ съ цементомъ (брутто). Разсчетъ по цементнымъ поставкамъ производится по вѣсу цемента нетто, не считая убыли отъ раструски. На бочкахъ должны быть ясно обозначены слова: „портландъ-цементъ", фирма завода, нумеръ партіи и годъ приготовленія портландъ-цемента.

Поставка портландъ-цемента въ мѣшкахъ допускается не иначе, какъ на основаніи соглашенія, въ каждомъ частномъ случаѣ, между учрежденіемъ, производящимъ заказъ, и заводомъ, представляющимъ цементъ.

Убыль отъ раструски цемента допускается не болѣе 2%, причемъ опредѣленіе допускаемой убыли для каждой отдѣльной поставки, въ зависимости отъ ея размѣра, предоставляется соглашенію учрежденія, производящаго заказъ, съ заводомъ, поставляющимъ цементъ. Раструска свыше установленныхъ нормъ влечетъ соотвѣтственный учетъ при уплатѣ поставщику денегъ за цементъ, если поставка такового сдана съ доставкою на мѣсто работъ.

4. **Шлаковый цементъ** состоитъ изъ 2 объем. мелко размолотыхъ шлаковъ доменныхъ печей, смѣшанныхъ съ 1 объем. гашеной извести. Къ этой смѣси, смотря по составу шлаковъ или извести, прибавляется 5 до 10% пуццоланы, силикатовъ или кремнекислаго глинозема *).

*) Подробно см. Pinkenburg, Ueber Schlackencement, Centralbl. d. Bauwerk. 1890, стр. 510.

НТБ ДНУЗТ

5. Гидравлическіе растворы примѣняются для гидротехническихъ сооруженій, какъ воздушные растворы, какъ бетонъ, для искусственныхъ камней, трубъ, резервуаровъ, орнаментовъ и т. д.

α. Гидравлическій растворъ для стѣнъ и т. д.

Цементъ безъ примѣси песка употребляется только для подводныхъ сооруженій при заполненіи промоинъ, заглушеній ключей и, главнымъ образомъ, какъ наилучшее средство для заливки желѣзныхъ частей въ тесаныхъ камняхъ и т. п. Въ другихъ случаяхъ (уже въ видахъ экономіи) прибавляется песокъ, по возможности мелкій, съ острыми гранями. Кварцевый песокъ предпочитается. Какъ песокъ, такъ и вода не должны содержать частицъ глины. Быстро схватывающій цементъ предварительно хорошо перемѣшивается съ сухимъ пескомъ, а затѣмъ къ смѣси уже прибавляется вода. Медленно схватывающій цементъ можетъ быть предварительно смѣшанъ съ водой, а затѣмъ къ смѣси прибавляется сухой песокъ. Во всякомъ случаѣ, необходимо тщательное перемѣшиваніе. Количество воды должно быть опредѣлено съ такимъ разсчетомъ, чтобы масса получалась по возможности густая.

Цементный растворъ долженъ заготовляться лишь въ такомъ количествѣ, которое можетъ быть израсходовано до схватыванія. Такъ какъ цементъ для своего затвердѣванія требуетъ много воды, то камни (и кирпичъ) должны быть предварительно вполнѣ насыщены водой. Поверхности, подлежащія штукатуркѣ цементомъ, должны послѣ тщательной прочистки быть смочены водой, и сама штукатурка (карнизы, орнаменты и т. д.) послѣ окончанія должны въ теченіе 2 недѣль смачиваться, для того, чтобы предохранить ее отъ растрескиванія и отпаденія.

Пропорціи цементнаго раствора въ единицахъ объема: 1 ц. + 1 пес. (весьма жиренъ); 1 ц. + 3 до 4 пес. (обыкновенно); 1 ц. + 5 до 6 пес. (тощій растворъ). Смѣсь 1 ц. + 1 песку даетъ 1,5, 1 2 даетъ 2,3, 1 : 3 около 3,1; 1 : 4 около 3,8; 1 : 5 около 4,9 объема чистаго цементнаго раствора. Медленно схватывающій цементный растворъ въ объемахъ: 1 ц. + 5 до 6 песка + 1 известк. тѣста. Для бетона подъ асфальтовую мостовую, при его толщинѣ 15 до 20 cm, достаточно брать 1 ц. + 8 до 12 крупнаго песка съ примѣсью воды, т.-е. въ среднемъ одну бочку цемента (вѣсомъ 170 kg netto) на 1 cbm песка. Прочность растворовъ см. стр. 337 и 338.

Чистый цементъ легче даетъ трещины, чѣмъ цем. съ пескомъ, и потому въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется плотность, не такъ хорошъ, какъ цементный растворъ, который, въ пропорціи 1 ц. + 1 мелк. чистаго песку, или 1 ц. + 2 обыкн. песка + $^1/_4$ до $^1/_6$ известк. тѣста или 1 ц. + 3 песка + 1 извест. тѣста, или 1 ц. + 6 песка + 3 извест. тѣста, воды не пропускаетъ; толщина слоя 1,5 до 2,5 cm.

Разрушеніе раствора отъ дѣйствія мороза можетъ произойти до тѣхъ поръ, пока большая часть воды, находящейся въ рас-

НТБ ДНУЗТ

творѣ, не произвела схватыванія (2 недѣли). При смѣшеніи тощаго цементнаго раствора съ мало-жирнымъ известковымъ тѣстомъ увеличивается плотность, прочность (на сжатіе) и увеличивается сила прилипанія къ камню. Такой весьма дешевый цементный растворъ употребляется часто для заводскихъ трубъ, сводовъ, а также для штукатурки. Цементный растворъ хорошо сопротивляется дѣйствію высокихъ температуръ и уменьшается въ объемѣ значительно меньше, нежели известково-песчаный растворъ.

Растворъ пуццоланы для бутовыхъ камней: 1 объемъ извести, 6 объемовъ пуццоланы; для кирпича 3 : 7, для штукатурки 2 : 3.

β. Бетонъ.

Крупный растворъ для основаній подъ водой или въ сыромъ грунтѣ, для всѣхъ гидротехническихъ сооруженій; кромѣ того, для половъ, потолковъ между двутавровыми балками, для полныхъ сооруженій, а въ новѣйшее время и для арочныхъ мостовъ *). Портландскій цементъ смѣшивается съ пескомъ и щебнемъ (или крупнымъ гравіемъ) съ прибавленіемъ извести или безъ оной, тщательно перемѣшивается, и къ смѣси прибавляется вода. Песокъ (лучше чистый кварцевый), равно и щебень должны имѣть острыя грани (гравій хуже), передъ смѣшиваніемъ промываются и смачиваются водой. Величина щебня не болѣе 6 cm; лучше, если куски имѣютъ всевозможные размѣры, не превышая однако 6 cm. Бетонъ изъ цемента и гравія безъ песка значительно слабѣе.

Бетонъ, непосредственно послѣ заготовки погруженный въ воду, обладаетъ меньшею прочностью, чѣмъ предварительно нѣсколько затвердѣвшій на воздухѣ. Быстро и медленно схватывающій цементъ оказываетъ при этомъ различное дѣйствіе. Бетонъ съ цементомъ, быстро схватывающимъ, немедленно послѣ заготовки погруженный въ воду, обладаетъ по истеченіи 24 часовъ большею прочностью, чѣмъ съ цементомъ, медленно схватывающимъ. По истеченіи 7 дней прочность послѣдняго дѣлается большею, нежели прочность перваго; черезъ 4 недѣли, однако, прочность обоихъ родовъ бетона дѣлается снова одинаковою. При затвердѣваніи на воздухѣ бетонъ съ быстро схватывающимъ цементомъ черезъ 24 часа обладаетъ большею прочностью, черезъ 1 и 4 недѣли прочность бетона съ медленно схватывающимъ цементомъ дѣлается значительно больше. Слѣдуетъ по возможности избѣгать непосреднаго погруженія бетона въ воду. Въ случаѣ необходимости производить бетонировку въ водѣ, слѣдуетъ брать быстро схватывающій цементъ, во всѣхъ остальныхъ случаяхъ— цементъ медленно схватывающій.

Небольшая прибавка извести (лучше порошкообразная гашеная гидравлическая известь) къ портландъ-цементу придаетъ послѣд-

---

*) См. Zeitschr. f. Bauwesen 1896, стр. 279. Далѣе C. v. Bach, Versuche über die Elasticität von Beton, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 489.

НТБ ДНУЗТ

творѣ, не произвела схватыванія (2 недѣли). При смѣшеніи тощаго цементнаго раствора съ мало-жирнымъ известковымъ тѣстомъ увеличивается плотность, прочность (на сжатіе) и увеличивается сила прилипанія къ камню. Такой весьма дешевый цементный растворъ употребляется часто для заводскихъ трубъ, сводовъ, а также для штукатурки. Цементный растворъ хорошо сопротивляется дѣйствію высокихъ температуръ и уменьшается въ объемѣ значительно меньше, нежели известково-песчаный растворъ.

Растворъ пуццоланы для бутовыхъ камней: 1 объемъ извести, 6 объемовъ пуццоланы; для кирпича 3 : 7, для штукатурки 2 : 3.

β. Бетонъ.

Крупный растворъ для основаній подъ водой или въ сыромъ грунтѣ, для всѣхъ гидротехническихъ сооруженій; кромѣ того, для половъ, потолковъ между двутавровыми балками, для полныхъ сооруженій, а въ новѣйшее время и для арочныхъ мостовъ *). Портландскій цементъ смѣшивается съ пескомъ и щебнемъ (или крупнымъ гравіемъ) съ прибавленіемъ извести или безъ оной, тщательно перемѣшивается, и къ смѣси прибавляется вода. Песокъ (лучше чистый кварцевый), равно и щебень должны имѣть острыя грани (гравій хуже), передъ смѣшиваніемъ промываются и смачиваются водой. Величина щебня не болѣе 6 cm; лучше, если куски имѣютъ всевозможные размѣры, не превышая однако 6 cm. Бетонъ изъ цемента и гравія безъ песка значительно слабѣе.

Бетонъ, непосредственно послѣ заготовки погруженный въ воду, обладаетъ меньшею прочностью, чѣмъ предварительно нѣсколько затвердѣвшій на воздухѣ. Быстро и медленно схватывающій цементъ оказываетъ при этомъ различное дѣйствіе. Бетонъ съ цементомъ, быстро схватывающимъ, немедленно послѣ заготовки погруженный въ воду, обладаетъ по истеченіи 24 часовъ большею прочностью, чѣмъ съ цементомъ, медленно схватывающимъ. По истеченіи 7 дней прочность послѣдняго дѣлается большею, нежели прочность перваго; черезъ 4 педѣли, однако, прочность обоихъ родовъ бетона дѣлается снова одинаковою. При затвердѣваніи на воздухѣ бетонъ съ быстро схватывающимъ цементомъ черезъ 24 часа обладаетъ большею прочностью, черезъ 1 и 4 недѣли прочность бетона съ медленно схватывающимъ цементомъ дѣлается значительно больше. Слѣдуетъ по возможности избѣгать непосредственнаго погруженія бетона въ воду. Въ случаѣ необходимости производить бетонировку въ водѣ, слѣдуетъ брать быстро схватывающій цементъ, во всѣхъ остальныхъ случаяхъ—цементъ медленно схватывающій.

Небольшая прибавка извести (лучше порошкообразная гашеная гидравлическая известь) къ портландъ-цементу придаетъ послѣд-

---

*) См. Zeitschr. f. Bauwesen 1896, стр. 279. Далѣе C. v. Bach, Versuche über die Elasticität von Beton, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, стр. 489.

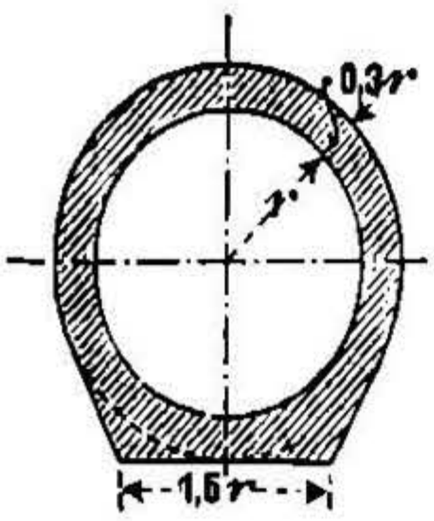
НТБ ДНУЗТ

дня, формованные предметы обливаются водой ежедневно въ теченіе 1 до 2 мѣсяцевъ.

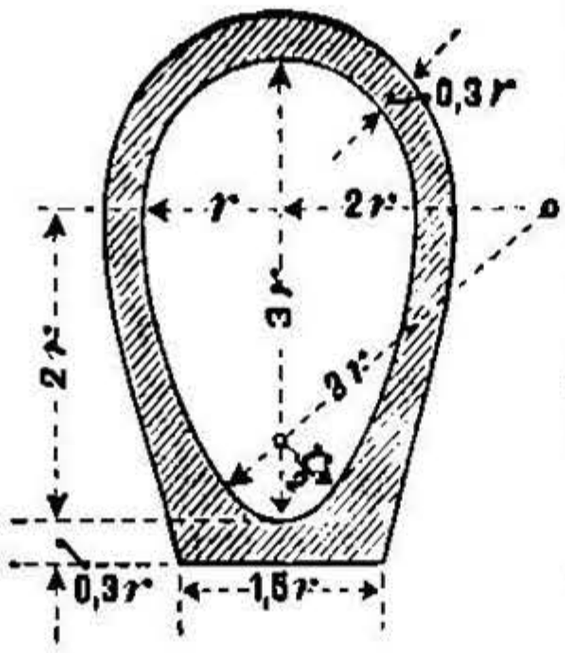
Трамбованный цементный бетонъ получаетъ все большее и большее распространеніе для построекъ (для потолковъ, сводовъ, стѣнъ, половъ, колодцевъ, канализаціонныхъ трубъ, водопроводовъ, дождевыхъ впусковъ, подпорныхъ стѣнокъ, набережныхъ, шлюзныхъ камеръ, основаній, фундаментовъ подъ машины, разнаго рода бассейновъ). **Искусственные камни** изготовляются для ступенекъ, площадокъ, подоконниковъ, мостовыхъ, желобовъ, орнаментовъ, черепицы.

Трубы изъ штампованнаго бетона, для канализаціи, водостоковъ, открытыхъ акведуковъ, круглаго или яйцевиднаго сѣченія (остріе книзу, отношеніе осей 2 : 3) пропитываются изнутри слоемъ (толщ. 8 mm), непроницаемымъ для кислотъ и маслъ. Онѣ укладываются на мѣсто не ранѣе трехъ мѣсяцевъ послѣ заготовленія. На значительныхъ уклонахъ нижняя часть особенно защищается отъ износа. Плотность швовъ достигается пеньковымъ шнуромъ и глиняной обмазкой снаружи и цементомъ изнутри. Трубы по укладкѣ на мѣсто трамбуются снаружи чистымъ гравіемъ, а при значительной нагрузкѣ гравіемъ съ прибавкой $^1/_{15}$ до $^1/_{20}$ цемента. Заводы, изготовляющіе подобныя трубы, гарантируютъ обыкновенно спокойную нагрузку 5000 до 6000 kg/qm горизонтальнаго сѣченія трубы; тѣмъ не менѣе, подобныя трубы укладываются подъ насыпями желѣзнодорожными въ 10 m такъ же безопасно, какъ на глубинѣ 1 m отъ верха трубы до полотна.

Черт. 836.



Черт. 837.



Трубы круглаго сѣченія діам. отъ 35 до 100 cm имѣютъ форму, показанную на черт. 836, малыя трубы имѣютъ сѣченіе круговое. Для яйцевидныхъ трубъ форма черт. 837, причемъ въ случаѣ движенія жидкости полною профилью трубы сѣченіе

$$F = 4{,}59413\, r^2,$$

смоченный периметръ

$$u = 7{,}929\,89\, r$$

(и, слѣд., гидравлич., радіусъ $= 0{,}5793\, r$, см. стр. 249); сѣченіе бетона $= 3{,}0392\, r^2$ и вѣсъ трубы $= 0{,}76\, r^2$ kg/пог. m. Уд. вѣсъ $= 2{,}5$.

Если яйцевидная труба (черт. 837) заполнена водой только до пятъ свода, то сѣченіе воды $= 3{,}023\,33\, r^2$, смоченный периметръ $= 4{,}788\,3\, r$ и гидравлическій радіусъ $= 0{,}631\,4\, r$.

При **опредѣленіи сѣченія трубы въ свѣту** слѣдуетъ принимать для среднихъ отношеній, при умѣренномъ паденіи трубопровода (1 : 300) 300 qcm на 1 ha (гектаръ) осушаемой поверхности, такъ что круглая труба въ 50 cm, съ сѣченіемъ въ свѣту въ 1963,5 qcm достаточна для площади 1963,5 : 300 = 6,54 ha.

НТБ ДНУЗТ

Трубы изъ штампованнаго бетона (цементныя трубы).

Отверстіе въ свѣту. cm	Сѣченіе для прохода. qcm	Средняя толщина стѣнокъ. cm	Полезная длина. m	Вѣсъ пог. m. kg	Отверстіе въ свѣту. cm	Сѣченіе для прохода. qcm	Средняя толщина стѣнокъ. cm	Полезная длина. m	Вѣсъ пог. m. kg
Круглое сѣченіе.									
7,5	44,2	2,25	0,8	17,2	35	962,1	4	1,0	143
10,0	78,5	2,25	1,0	21,6	40	1256,6	4,5	1,0	183
12,0	113,1	2,5	1,0	28,5	45	1590,4	5	1,0	229
15,0	176,7	2,5	1,0	34,4	50	1963,5	5	1,0	252
17,5	240,5	3,0	1,0	48,3	60	2827,4	6	1,0	363
20,0	314,2	3,0	1,0	54,2	70	3848,4	6,5	1,0	456
22,5	397,6	3,5	1,0	71,5	80	5026,6	7	0,8	558
25,0	490,9	3,5	1,0	78,3	90	6361,7	7,5	0,8	670
30,0	706,9	3,5	1,0	92,1	100	7854,0	8	0,8	792
Яйцеобразное сѣченіе (черт. 837).									
20/30	459	3,5	1,0	90	60/90	4135	9	1,0	684
25/37,5	718	4,0	1,0	127	66,7/100	5105	10	1,0	844
30/45	1034	4,5	1,0	171	70/105	5628	10,5	0,8	931
35/52,5	1407	5,5	1,0	244	80/120	7351	12	0,8	1216
40/60	1838	6,0	1,0	304	93,3/140	10005	14	0,7	1655
45/67,5	2326	7,0	1,0	400	100/150	11485	15	0,5	1900
50/75	2871	7,5	1,0	475	110/165	13897	16,5	0,5	2300

Сооруженія **по системѣ Монье** изъ жирнаго цементнаго раствора (1 цем. : 3 песка до 1 цем. : 1 песка) съ прокладкой желѣзныхъ полосъ или проволочной ткани соединяютъ прочность раствора $k \sim 20$ kg/qcm (на сжатіе) съ прочностью желѣза $k_z = 1000$ kg/qcm (на разрывъ). Идетъ для плоскихъ и сводчатыхъ потолковъ, стѣнъ, лѣстницъ, резервуаровъ, мостовъ и т. п. Сооруженія способны выдерживать значительную нагрузку при маломъ занимаемомъ ими объемѣ. Акціонерное общ. для сооруженій Монье (Berlin W.) изготовляетъ трубы круглаго и яйцеобразнаго сѣченія, обладающія значительнымъ сопротивленіемъ сжатію *).

*) Подробности см. въ Centralbl. d. Bauverw., 1886, стр. 88, 144, 462; 1887, стр. 252; 1888, стр. 83 (разсчетъ), 397; 1889, стр. 49, 114; 1890, стр. 164, 267; 1891, стр. 51, 208, 523; 1892, стр. 149, 489; 1893, стр. 252, 444; 1895, стр. 9, 32 и слѣд., 428 и слѣд., 481 и слѣд.; 1896, стр. 45, 227, 288, 542; 1897, стр. 150, 172, 430; 1898, стр. 368, 380; 1897, стр. 50, 579; 1898, стр. 591.

НТБ ДНУЗТ

VI. СТЕКЛО *).

Важныя преимущества: прозрачность, непроницаемость для воздуха и воды (почему удобно для изолирующихъ слоевъ см. ч. II, отд. X), твердо, блестяще, неизмѣняемо, плохо проводитъ теплоту и электричество (изоляторы), легко принимаетъ какую угодно форму, окрашивается и можетъ служить для украшеній.

Стекло представляетъ смѣсь многихъ силикатовъ, большею частью кремнекислаго кали или кремнекислаго натра, получаемую сплавленіемъ кремне-кислоты съ известью и натріемъ или каліемъ (или окисью свиица). Уд. вѣсъ въ среднемъ = 2,6, см. стр. 977. При бѣломъ каленіи стекло дѣлается жидкимъ, при красномъ каленіи превращается въ тѣстообразную тягучую массу, такъ что въ жидкомъ состояніи легко отливастся, а въ тѣстообразномъ состояніи выдувается. Хрупкость и ломкость различныхъ предметовъ изъ стекла въ значительной мѣрѣ уменьшается лишь при правильномъ охлажденіи (предметы, еще до-красна нагрѣтые, помѣщаются въ сильно нагрѣтомъ помѣщеніи, въ которомъ они постепенно охлаждаются). Твердость и блескъ увеличиваются съ увеличеніемъ содержанія извести, отъ окиси свинца уменьшаются.

Сопротивленіе стекла см. стр. 337 и 343. Вслѣдствіе неравномѣрнаго сжатія при охлажденіи въ стеклѣ получаются снаружи сжимающія, а изнутри вытягивающія усилія. Сопротивленіе стекла сжатію значительно больше, нежели сопротивленіе его растяженію. Наружняя корка на поверхности стекла предохраняетъ его, почему шлифованныя стекла кладутся натуральной (нешлифованной) стороной наружу. Еще большимъ сопротивленіемъ отличается поверхность прессованнаго твердаго стекла Сименса, которое охлаждается между двумя металлическими плитами.

Стекло плохого качества портится отъ дѣйствія дождя и воздуха, особенно въ теплѣ, причемъ оно дѣлается мутнымъ, отливаетъ разными цвѣтами или разслаивается. Стекло хорошаго качества также портится, если находится долгое время упакованнымъ въ сыромъ мѣстѣ, или если упаковка отсырѣла отъ морской воды, почему стекло слѣдуетъ сохранять въ сухомъ и вентилируемомъ помѣщеніи. Хорошее стекло не должно подвергаться дѣйствію сильныхъ кислотъ и основаній; только плавиковая кислота разрушаетъ всякое стекло окончательно.

Главнѣйшіе сорта для строительныхъ цѣлей:

1. **Нѣмецкое** или **рейнское стекло** изготовляется исключительно дутымъ. Наиболѣе ходовые размѣры обозначаются $^4/_4$, $^6/_4$ и $^8/_4$, что́ соотвѣтствуетъ толщинѣ 2, 3 и 4 mm и вѣсу 5, 7,5 и 10 kg/qm. Единичная цѣна увеличивается съ увеличеніемъ размѣровъ стекла,

*) См. Baukunde des Architekten I т., 2 часть, Berlin 1891.—Th. Landsberg, Glas- und Wellblechdekung; Darmstadt, 1887.

НТБ ДНУЗТ

но не по площади, а по суммѣ размѣровъ длины и ширины—такъ называемымъ „суммированнымъ сантиметромъ“. Величина стеколъ доходитъ до 300 сум. сант. и болѣе, а при болѣе толстыхъ сортахъ толщиною 4,5 до 5 mm только до 164 сум. сант., т.-е. наибольшій размѣръ стекла будетъ, поэтому, 100 64 или 96 . 68 и т. д. Для навѣсовъ вокзала городской дороги въ Берлинѣ поставлено дутое стекло толщиною 5 mm въ листахъ 50,85 cm.

По качеству — различаютъ стекло четырехъ „разборовъ“. Для лучшихъ сооруженій берется стекло 2 и 3 разбора, стекло 1-го разбора совершенно чисто и вообще безъ всякихъ пороковъ, стекло 4-го разбора идетъ лишь на второстепенныя сооруженія: подвалы, ледники, чердаки, оранжереи. Дальнѣйшее см. часть II, стекл. кровли.

2. **Литое стекло** встрѣчается толщиною 3 до 13 mm. Болѣе толстые сорта 20 до 30 mm и болѣе (до 90 mm) употребляются для оконъ въ полахъ. Вслѣдствіе напряженій, имѣющихъ мѣсто при остываніи стекла, послѣднее при внезапныхъ измѣненіяхъ температуры (напр. дождь по стеклу, предварительно нагрѣтому солнечными лучами) легко трескается. Сопротивленіе литого стекла весьма чувствительно по отношенію къ ударамъ, почему листы подпираются на разстояніи 40 до 55 cm особымъ оконно-рамочнымъ желѣзомъ (см. ч. II). Главнымъ образомъ, литое стекло идетъ на стеклянныя кровли и имѣетъ толщину 5 mm. Стекло толщиною болѣе 7 mm встрѣчается уже рѣдко. Изготовляется гладкимъ, рифленымъ, а также съ окраской.

3. **Проволочное стекло** (Akt.-Gesel. f. Glasindustrie, vorm. Fried. Siemens, Dresden) представляетъ сортъ стекла, въ которомъ вполнѣ залита проволочная сѣтка изъ желѣзной проволоки; сѣтка, слѣд., не ржавѣетъ. Сопротивленіе изгибу въ 1,5 раза больше обыкновеннаго литого стекла *) и потому уже при меньшей толщинѣ (въ 6 mm) по немъ можно свободно ходить. Стекло разбитое или съ трещинами сохраняетъ вполнѣ свои свойства, т. е. непроницаемо для воды и для воровъ. При толщинѣ проволоки въ 1 mm и размѣрѣ сѣтки 7,5 mm прозрачность стекла уменьшается на 27% Рекомендуется для кровель, половъ, верхняго свѣта, не требуетъ предохранительныхъ желѣзныхъ рѣшетокъ. Толщина 8 до 10, 15, 20, 26 и до 60 mm. Идутъ какъ предохранительныя стекла для водомѣрныхъ стеколъ паровыхъ котловъ, для мостовыхъ на дворахъ, гдѣ требуется верхній свѣтъ, несгораемыхъ дверей, брандмауеровъ и т. п. Листы (размѣрами 100.60 cm) не могутъ быть разрѣзываемы, почему требующіяся стекла должны быть каждый разъ заказываемы.

Заводъ Glas-und Spiegel-Manufactur in Schalke изготовляетъ проволочное стекло по другому способу, съ болѣе рѣдкою сѣткой; его можно рѣзать. Толщина 6 до 7 mm, 8 до 9 mm и 10 mm.

---

*) См. Hartig, Civil-Ingenieur томъ 38, вып. 3, далѣе C. Mühlke, Drahtglas, Centralbl. d. Bauverw. 1892, стр. 246.

НТБ ДНУЗТ

4. Зеркальное стекло получается отливкой, но изъ лучшаго сорта стекла съ содержаніемъ свинца. Шлифуется съ обѣихъ сторонъ и полируется. Вслѣдствіе потери натуральныхъ поверхностей и содержанія свинца до $2^0/_0$, стекло это мягче и требуетъ болѣе осторожнаго за нимъ ухода. Изъ трехъ разборовъ стекло 1 и 2 разбора идетъ на зеркала; зеркальныя стекла толщ. 4 до 8 mm, а по заказу и больше. Размѣры 3.5 m и болѣе.

5. **Прессованное стекло** быстро охлаждается между двумя металлическими досками, обладаетъ большимъ сопротивленіемъ изгибу, такъ что для верхняго свѣта можно брать стекло толщиною 2 до 4 mm. Стекло это не можетъ быть разрѣзываемо алмазомъ и поэтому заказывается по размѣрамъ. Вслѣдствіе незначительныхъ размѣровъ листовъ (0,2 до 0,5 qm) получается много швовъ и переплетовъ.

Всѣ сорта стекла могутъ быть приготовлены матовыми полностью или съ узоромъ, для чего вытравливаются плавиковой кислотой или шлифуются струей песка; первый способъ дороже, но лучше.

Окраска стекла производится при помощи различныхъ металлическихъ окисловъ въ самые разнообразные тона; при этомъ окраска можетъ быть произведена либо во всей массѣ стекла, либо покрытіемъ неокрашеннаго стекла слоемъ окрашеннаго.

Испытаніе стекла: 1) на безцвѣтность: одинъ или нѣсколько листовъ стекла кладутся на листъ бѣлой бумаги, и опредѣляется оттѣнокъ; 2) на пузырчатость и волнообразную форму листовъ: проба производится путемъ сравненія съ образцовымъ листомъ, который прилагается всегда къ техническимъ условіямъ заказа; 3) продолжительность службы опредѣляется слѣдующимъ образомъ: пробный листъ покрывается стекляннымъ колоколомъ и въ теченіе 24 час. подвергается дѣйствію паровъ сильно дымящей соляной кислоты, затѣмъ въ теченіе 24 часовъ просушивается на чистомъ воздухѣ. При этомъ не должно образоваться никакого бѣловатаго налета.

Безцвѣтное стекло, подверженное продолжительному дѣйствію солнечныхъ лучей, пріобрѣтаетъ со временемъ фіолетовый цвѣтъ, поэтому стекло для картинныхъ галлерей, фотографическихъ кабинетовъ испытывается на содержаніе въ немъ марганца; присутствіе послѣдняго въ количествѣ 0,1% уже вызываетъ указанное фіолетовое окрашиваніе.

НТБ ДНУЗТ

VII. РАСТВОРИМОЕ СТЕКЛО, ЗАМАЗКИ, АСФАЛЬТЪ, КРОВЕЛЬНЫЙ ТОЛЬ.

1. Растворимое стекло *). Кремнекислый кали или натръ, получаемый растворенiемъ кварцеваго песка съ поташемъ или содой, растворяется въ водѣ. Густая, маслянистая, ѣдкая жидкость съ 33 или 66 процентами растворимаго стекла. Сохраняется въ хорошо закупоренныхъ сосудахъ, такъ какъ въ противномъ случаѣ углекислота воздуха дѣйствуетъ разлагающимъ образомъ. Кромѣ каліеваго и натроваго растворимаго стекла, встрѣчается еще двойное растворимое стекло, а также новое известково-каліевое растворимое стекло Артуса.

Примѣняется для предохраненія дерева, толя, матерій отъ огня, а также отъ грибка и червоточинъ. Известковая и цементная штукатурка, въ сыромъ состоянiи покрытая жидкимъ растворимымъ стекломъ (1 : 2), пріобрѣтаетъ весьма твердую поверхность, хорошо сопротивляющуюся дѣйствiю сырости (для прачешныхъ). Такъ же заготавливается загрунтовка подъ стереохроми-ческую окраску. Весьма важная составная часть для изготовленія замазки. Для укладки ксилолитовыхъ плитъ (стр. 1051) берутъ каліевое растворимое стекло 34° Baume (11 литр.), мелко истолченный мѣлъ (7 kg), песокъ и немного портландскаго цемента; такое тѣсто скоро твердѣетъ.

2. Замазки **). Соединяемыя поверхности тщательно прочищаются, и на нихъ наносится тонкiй равномѣрный слой замазки. Для затвердѣванiя соединяемыя части не должны подвергаться сотрясенiямъ.

1. Сырная замазка. Известь, гашеная въ порошокъ, смѣшивается (1 1) съ мелкимъ пескомъ или кирпичной мукой и водой до густоты раствора, прибавляется тройное количество творога и тщательно перемѣшивается. Хорошая замазка для камней. Цементная замазка для той-же цѣли: цементный порошокъ съ $^1/_4$ кирпичной муки смѣшивается съ кислымъ молокомъ до густоты тягучаго тѣста. Деревянпая замазка: порошкообразная ѣдкая известь смѣшивается съ растертымъ сухимъ творогомъ (1 : 1) и растирается съ 1 вѣс. частью яичнаго бѣлка.

2. Масляная замазка. Льняное вареное масло съ свинцовымъ сурикомъ или свинцовымъ глетомъ съ примѣсью мѣла, глины и т. п. перемѣшивается. Стекольная замазка состоитъ изъ льняного варенаго масла, мѣла, а въ особыхъ случаяхъ сюда прибавляется еще свинцовый сурикъ. Затвердѣвшая стекольная замазка

---

*) Подробности см. H. Zwick, Das Wasserglas, seine Bedeutung für d, Industrie; Zürich 1877.

**) Подробности см. Leonhardt, Kittfabrikation; Halle, 1883,

НТБ ДНУЗТ

снова размягчается каліевою щелочью и жидкимъ смазочнымъ мыломъ. Для устраненія сырыхъ мѣстъ въ стѣнахъ жилыхъ зданій употребляютъ цементную мастику, т.-е. порошокъ изъ известняка, мелкій песокъ, свинцовый глетъ, смѣшанный съ льнянымъ масломъ (варенымъ). Для покрытія террассъ, лѣстницъ берутъ масляный цементъ, т.-е. шамотную муку, мельчайшій свинцовый глетъ и горячее вареное льняное масло.

3. Смоляная замазка не пропускаетъ воды, но плохо сопротивляется высокой температурѣ. Пропорціи въ вѣсов. частяхъ: для деревянныхъ швовъ: канифоль (2) и кирпичная мука (1); для камней: смола (2), канифоль (1) съ сурикомъ (1) и кирпичной мукой ($^2/_5$).

4. Глицериновая замазка изъ свинцоваго глета и слабо разбавленнаго глицерина сопротивляется дѣйствію щелочей, кислотъ, керосина и т. п.

5. Замазка на растворимомъ стеклѣ. Растворимое стекло съ мѣломъ даетъ прочную водонепроницаемую массу. Для камней: растворимое стекло съ романскимъ или портландскимъ цементомъ, весьма скоро затвердѣваетъ. Для металловъ, камней и дерева: растворимое стекло, мѣлъ и цинковая пыль.

6. Замазка для соединенія дерева (или стекла) съ желѣзомъ. Измельченная пемза (или мѣлъ) съ равнымъ вѣсомъ шеллака сплавляется вмѣстѣ и наносится въ горячемъ состояніи.

7. Замазка для соединенія желѣза съ желѣзомъ или желѣза съ камнемъ: сѣрный цвѣтъ (1), нашатырь (2) постоянно перемѣшиваются съ водой (или уксусомъ), съ примѣсью желѣзныхъ опилокъ до густого тѣста.

8. Магнезіальная замазка, Жженая магнезія, смѣшанная въ 30-процентномъ растворѣ хлористаго магнія, затвердѣваетъ въ весьма твердую массу (цементъ Сореля), примѣняется для ксилолита.

9. Замазки для камня съ желѣзомъ, для уплотненія трубъ и т. д. Чистый портландъ-цементъ; затѣмъ смѣсь сѣры съ сѣрными металлами, температура плавленія 160°, а также особымъ металлическимъ цементомъ; точка плавленія 119°, сопротивленіе сжатію $K \sim 1000$ kg/qcm; послѣдніе два хорошо сопротивляются дѣйствію воды, кислотъ и маслъ.

3. Асфальтъ встрѣчается въ продажѣ въ видѣ твердыхъ кусковъ **мастики** и въ бочкахъ въ видѣ **гудрона**; натуральный асфальтовый камень представляетъ известнякъ съ 10% асфальта. **Гудронъ** представляетъ смѣсь тринидадскаго асфальта съ 25% нефтяныхъ остатковъ. Асфальтовыя глыбы или мастика (въ продажѣ), вѣсомъ 25 kg, представляютъ смѣсь измельченнаго натур. асфальтоваго камня (10 вѣс. част.) съ 1 вѣс. частью расплавленнаго гудрона.

Заливной асфальтъ для площадей, не пропускающихъ воду (улицы, дворы, конюшни), для изолирующихъ слоевъ приготовляется изъ кусковъ асфальтовой мастики съ 4 до 7% гудрона, для чего плавится при температурѣ 160° и затѣмъ тщательно не-

НТБ ДНУЗТ

ремѣшивается съ 50% чистаго (безъ глины) гравія до густоты тѣста. Заливка слоемъ въ 1,5 до 2,0 cm, который тутъ-же немедленно посыпается пескомъ.

Трамбованный асфальтъ (для улицъ). Асфальтовый камень нагрѣвается до 120°, причемъ куски его распадаются, теплый порошокъ раскладывается на сухомъ бетонномъ фундаментѣ толщиною 15 до 20 cm, слоемъ толщиною въ 7 до 8 cm, тщательно трамбуется, укрѣпляется горячими желѣзными трамбовками и укатывается катками.

Асфальтовый войлокъ, одиночный толщ. 0,7 cm, двойной 1,0 cm, изготовляется изъ войлока, вполнѣ пропитаннаго асфальтомъ, а затѣмъ покрывается крупнымъ пескомъ. Въ виду своей тягучести болѣе удобенъ для изолирующихъ слоевъ, кровель и т. п., нежели аспидъ, стекло и т. д.

4. Кровельный толь получается погруженіемъ обыкновеннаго кровельнаго картона на одну минуту въ кипящую каменноугольную смолу; послѣ стеканія излишней смолы картонъ посыпается крупнымъ пескомъ. Вѣсъ 3 kg/qm. Весьма выгодно употреблять рольный картонъ, шириною 1 m и длиною до 20 m. Хорошій толь долженъ быть вполнѣ пропитанъ смолой, такъ, чтобы изнутри не было замѣтно сухихъ мѣстъ. Прикрѣпленный гвоздями толь, для лучшаго сопротивленія атмосфернымъ вліяніямъ, покрывается еще разъ каменноугольной смолой, къ которой предварительно прибавляется ($^1/_4$) извести, гашеной въ порошокъ. Затѣмъ кровля посыпается пескомъ. Болѣе подробно см. ч. II., кровли.

Лучше, по значительно дороже покрытіе асфальтовымъ толемъ или асфальтовымъ кровельнымъ войлокомъ изъ особо. приготовленнаго матеріала и изъ асфальта.

VIII. ДЕРЕВО.

Дерево представляетъ древесину главнаго ствола и вѣтвей, окруженную лубомъ и корой.

Ростъ дерева происходитъ отъ прибавленія новаго слоя древесины въ формѣ тонкаго покрытія прошлогодней древесины подъ корой. Каждый нарастающій въ теченіе одного года слой древесины состоитъ изъ весенней и осенней древесины и въ разрѣзѣ имѣетъ форму кольца. Весенняя древесина мягче и рыхлѣе осенней, послѣдняя имѣетъ обыкновенно болѣе темный цвѣтъ. По мѣрѣ удаленія отъ сердцевины (средины ствола) къ окружности мѣняются свойства древесины. Отъ сердцевины переходимъ къ

НТБ ДНУЗТ

болѣе твердой и сухой древесинѣ, окруженной болѣе мягкой, свѣтлой и съ большимъ содержаніемъ соковъ заболонью. Сердцевинные лучи отъ оси къ окружности ясно видны только у нѣкоторыхъ лиственныхъ породъ (напр., у дуба и ясени, шириною до 1 mm).

Строеніе дерева видно въ трехъ разрѣзахъ: поперечный разрѣзъ нормально къ оси бревна показываетъ сердцевину, древесину и заболонь, годичныя кольца и сердцевинные лучи. Радіальное сѣченіе плоскостью, проходящею черезъ радіусъ поперечнаго сѣченія и ось бревна, показываетъ сердцевину въ видѣ плоскости сердцевинныхъ лучей. Сѣченіе по хордѣ плоскостью, проходящею черезъ хорду поперечнаго сѣченія и параллельною оси бревна.

Въ зависимости отъ этого различаютъ дерево въ кускахъ, получаемыхъ отъ разрѣза плоскостями нормальными къ оси ствола, дерево, раздѣленное по плоскостямъ сердцевинныхъ лучей и расколотое по плоскостямъ, проходящимъ черезъ хорды сѣченія параллельно оси дерева.

Физическія свойства дерева.

1. Удѣльный вѣсъ одной и той же породы различенъ въ зависимости отъ степени сухости дерева. Въ общемъ, молодое зеленое дерево содержитъ до 37 % воды и на 33 до 50% тяжеле, чѣмъ дерево высушенное. Удѣльный вѣсъ различныхъ породъ дерева см. стр. 974 и 975.

Къ тяжелымъ породамъ относятся: дубъ, бѣлый букъ; средней тяжести: красный букъ, ясень; довольно легкія: вязъ, ель, сосна, лиственница; легкія: пихта, тополь, ива.

2. По твердости дерева классифицируются на твердыя: бѣлый букъ, дубъ, красный букъ, ясень, вязъ; полутвердыя: ольха, лиственница, сосна; мягкія: ель, пихта, тополь, ива.

Если сопротивленіе разрѣзыванію нормально къ оси ствола принять для бука = 1, то имѣемъ то же сопротивленіе для сосны = 0,53, ели = 0,56, пихты = 0,60, дуба = 1,03, березы = 1,35, липы, ивы, серебр. тополя = 1,87.

3. Способность раскалываться (увеличивается съ уменьшеніемъ сопротивленія волоконъ отдѣленію другъ отъ друга) наименьшая въ плоскости, проходящей черезъ сердцевину, въ сѣченіяхъ по хордѣ увеличивается въ $1^1/_3$ до $1^1/_2$ разъ. Трудно поддаются раскалыванію: бѣлый букъ, вязъ, ясень; легко раскалываются: лиственница, сосна, дубъ; весьма легко раскалывается тополь.

4. Гибкость. Молодой лѣсъ, свѣже срубленный, гнется всего легче. Отъ дѣйствія водяного пара дерево дѣлается вполнѣ мягкимъ, и ему можетъ быть придана какая угодно форма, которую оно сохраняетъ и послѣ просушки (гнутая мебель).

(Продолженіе на стр. 1080).

НТБ ДНУЗТ

Усушка дерева по Лявесу.

Названіе породъ дерева.	Величина усадки (усушки) дерева.		
	Вдоль волоконъ %	Поперекъ волоконъ по направленію: радіуса %	хорды %
Кленъ. . .	0,072	3, 5	6,59
Яблочное дерево	0,109	3,00	7,39
Береза . . .	0,222	3,86	9,30
„ русская .	0,065	7,19	8,17
Грушевое дерево .	0,228	3,94	12,70
Букъ красный .	0,200	5,03	8,06
„ бѣлый . .	0,400	6,66	10,90
Буксовое деревое, самшитъ .	0,026	6,02	10,20
Кедръ .	0,017	1,30	3,38
Черное дерево .	0,010	2,13	4,07
Дубъ молодой .	0,400	3,90	7,55
„ 300-лѣтній, строевой	0,130	3,13	7,78
Ольха . .	0,069	2,91	5,07
Ясень молодой	0,821	4,05	6,56
„ 300-лѣтній, строевой	0,187	3,84	7,02
Пихта	0,076	2,41	6,18
Сосна. . .	0,120	3,04	5,72
Вишневое дерево. .	0,112	2,85	6,95
Королевское дерево	0,081	2,91	4,92
Лиственница.	0,075	2,17	6,32
Липа	0,208	7,79	11,50
Красное дерево (магагони)	0,110	1,09	1,79
Орѣхъ	0,223	3,53	6,25
Тополь	0,125	2,59	6,40
Слива	0,025	2,02	5,22
Бакаутъ (гуанкъ)	0,625	5,18	7,50
Конскій каштанъ.	0,088	1,84	5,82
Ель молодая . . .	0,122	2,91	6,72
„ 300-лѣтняя, строевая	0,086	4,82	8,13
Вязъ	0,124	2,94	6,22
Ива. . . .	0,697	2,48	7,31
„ плакучая	0,330	2,55	6,91
Сосна веймутская (американская)	0,160	1,80	5,00

Опыты надъ усушкой дерева произведены съ весьма тонкими деревянными палочками. Длина этихъ палочекъ (въ зеленомъ видѣ) опредѣлялась еще при полномъ насыщеніи ихъ водой и затѣмъ другой разъ послѣ долгаго высушиванія (при температурѣ 14 до 16°). Разница представляетъ степень усушки для данной породы дерева въ процентахъ первоначальной длины.

НТБ ДНУЗТ

5. Сопротивленіе и упругость древесныхъ породъ см. стр. 337 и 343.

6. Расширеніе отъ теплоты сухого дерева почти ничтожно, даже и по направленію оси бревна (см. стр. 315). Обстоятельство это представляетъ громадное преимущество дерева въ постройкахъ (балки, опоры) на случай пожара. (Новые правительственные магазины въ Гамбургѣ имѣютъ вездѣ деревянныя конструкціи).

Валка дерева производится при помощи надрубанія стволовъ, распиливанія, окапыванія корней, срѣзаніемъ электрически накаленной платиновой проволокой (въ Америкѣ), надсверливаніемъ сверлами, приводимыми въ дѣйствіе электричествомъ. Лучшее время для валки дерева — зима, такъ какъ дерево лѣтней валки легче подвергается дѣйствію гриба *). По другимъ даннымъ, хорошо просушенное дерево лѣтней валки въ дѣлѣ такъ же хорошо, какъ и зимней валки.

Сушка дерева. На открытомъ воздухѣ свѣжее дерево просыхаетъ, причемъ въ немъ содержится еще 10% (хвойныя дерева) до 17% (лиственныя дерева) воды. Такая просушка должна производиться въ крытахъ навѣсахъ, причемъ дерево не должно подвергаться дѣйствію солнечныхъ лучей и сырости (также и снизу). При употребленіи для столярныхъ работъ дерево должно сохнуть по меньшей мѣрѣ 4 года; дубъ на 1 годъ дольше.

Искусственное высушиваніе производится въ печи или особой камерѣ, въ которой проходитъ токъ горячаго воздуха температурой: для дуба 40°, для лиственныхъ деревъ 30 до 40°, для хвойныхъ деревъ тонкихъ—80 до 95°, а для болѣе толстыхъ—50°. Если токъ горячаго воздуха дѣйствуетъ въ теченіе 12 часовъ въ день, то

при толщинѣ дерева . .	2,5	5	7,5	10	15	20 сант.
время сушки составляетъ	1	2	3	4	7	10 недѣль.

Усадка зависитъ отъ породы дерева, отъ скорости сушки, отъ степени сухости и расположенія волоконъ.

Дерево, просушенное на воздухѣ, легко впитываетъ въ себя воду спова и принимаетъ одновременно свой прежній объемъ—разбухаетъ. При этомъ такъ же, какъ и при усушкѣ, дерево развиваетъ громадную энергію, отчего дерево коробитъ, рветъ. Нарѣзанныя изъ бревна доски коробятся, пріобрѣтаютъ выпуклую форму, причемъ выпуклость обращена къ сторонѣ сердцевины дерева (правая сторона). При односторонней нагрузкѣ эта правая сторона обращена къ нагрузкѣ; напр. въ полахъ—кверху Если доски подвержены сырости, то послѣдняя должна дѣйствовать на вогнутую (лѣвую) сторону доски.

---

*) См. Fällzeit des Holzes, Centralbl. d. Bauverw. 1885, стр. 93.

НТБ ДНУЗТ

Таблица вѣса, въ пудахъ, сосновыхъ полусухихъ бревенъ, по ихъ длинѣ и толщинѣ въ отрубѣ *).

Толщина въ верш.	Длина бревенъ въ саженяхъ.								
	1	1½	2	3	4	5	6	7	8
4	2,29	3,61	5,04	8,3	12,09	16,43	21,46	27,12	33,49
4½	2,83	4,45	6,16	10	14,48	19,48	25,35	31,93	39
5	3,51	5,45	7,59	12,28	17,55	23,56	30,22	37,65	46,17
5½	4,2	6,48	8,94	14,26	20,43	27,24	35,36	43,67	53
6	4,76	7,72	10,56	17	23,9	31,88	40,8	49,83	60,49
6½	5,67	8,95	11,99	19,11	26,99	35,34	44,98	55,48	66,4
7	6,59	10,16	13,97	21,91	30,86	40,58	51,31	64,79	77,26
7½	7,65	11,84	16,04	25,62	35,45	46,69	59,22	72,42	86,03
8	8,82	13,32	18,3	28,7	40,27	52,83	66,39	80,95	96,72
8½	9,81	14,95	20,36	31,85	44,45	58,37	72,64	88,69	105,13
9	10,84	16,07	22,71	35,65	49,19	64,1	80,48	97,68	115,91
10	13,83	21,14	28,72	44,68	62,14	80,46	99,75	121,03	143,64
11	16,03	24,7	33,32	51,38	71,62	92,64	114,9	138,41	163,17
12	19,2	29,24	39,89	61,76	84,26	109,05	135,9	162,39	190,92

Таблица вѣса, въ пудахъ, погонной сажени чистыхъ, обрѣзныхъ сосновыхъ, полусухихъ досокъ по ихъ ширинѣ и толщинѣ *).

Ширина въ дюймахъ.	Толщина въ дюймахъ.							
	½	1	1½	2	2½	3	3½	4
7	0,19	0,38	0,57	0,76	0,95	1,14	1,33	1,52
8	0,22	0,43	0,65	0,86	1,1	1,29	1,5	1,72
9	0,25	0,49	0,74	0,98	1,23	1,47	1,72	1,96
10	0,27	0,54	0,81	1,1	1,35	1,62	1,9	2,16
11	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
12	0,33	0,66	0,99	1,33	1,65	1,98	2,31	2,64

Полуобрѣзныя и получистыя доски легче обрѣзныхъ: первыя на 5%, а вторыя на 10%.

Разрушеніе дерева.

1. Всякое **гніеніе** происходитъ отъ разложенія составныхъ частей соковъ. Обыкновенное гніеніе или сырая гниль, которая проявляется въ видѣ сырой буровато-красной массы, имѣетъ мѣсто, когда дерево находится въ соприкосновеніи съ сырой землей или подвергается перемѣнному дѣйствію сухости и сырости. Рѣже происходитъ сухое гніеніе, при которомъ получается сухая рыхлая масса или превращеніе въ землистую массу (начало обугливанія) отъ прикосновенія съ растворомъ и свѣжею или сырою кладкою.

2. **Образованіе грибна** происходитъ большею частью въ домахъ, является вслѣдствіе сырости, неподвижнаго воздуха и недостатка свѣта.

---

*) См. Календарь для архитекторовъ А. А. Мерца. 1898 г.

НТБ ДНУЗТ

3. **Червоточины** являются результатомъ разрушающаго дѣйствія различныхъ насѣкомыхъ, жуковъ и червей.

Средства для предохраненія дерева.

Концы деревянныхъ балокъ, просушенныхъ на воздухѣ, защищаются отъ непосредственнаго соприкосновенія съ кладкой стѣнъ при помощи кровельнаго толя, окраской масломъ, древесной смолой.

Дерево защищается отъ рванинъ, происходящихъ подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, окраской изъ 2 объемовъ каменноугольной смолы, 1 объема древесной смолы, сваренныхъ въ небольшомъ количествѣ смолы и смѣшанныхъ съ 4 объемами гашеной порошкообразной извести. Перемѣнному вліянію сухости и сырости на открытомъ воздухѣ противодѣйствуетъ окраска льнянымъ масломъ, хорошими масляными красками, древесною смолой, карболинеумъ авенаріусъ; послѣднее дешевое средство особенно рекомендуется,— для трехкратной окраски требуется 1 kg на 3 до 6 qm. Передъ каждою окраской дерево должно быть хорошо просушено. Обугливаніе концовъ свай представляетъ весьма сомнительное средство и его слѣдуетъ избѣгать.

Весьма хорошее удаленіе соковъ достигается у деревъ, срубленныхъ весною; вершина дерева, продолжающая зеленѣть, оттягиваетъ соки отъ ствола. Выщелачиваніе состоитъ въ томъ, что бревна кладутся въ текучую воду вершинами вверхъ по теченію (выгодное выщелачивающее дѣйствіе воды на сплавляемый водой лѣсъ). То же достигается дѣйствіемъ водяныхъ паровъ на свѣжесрубленное дерево, въ закрытыхъ сосудахъ, при помощи перегрѣтаго пара (60 до 80 часовъ), при послѣдующей просушкѣ.

Къ числу испытанныхъ способовъ предохраненія дерева слѣдуетъ отнести **пропитываніе** его различными растворами металлическихъ солей или креозотомъ; наиболѣе выгодно пропитываніе бука для деревянныхъ мостовыхъ.

Пропитываніе производится:

Хлористымъ цинкомъ (Burnett 1838). Дерево помѣщается въ цилиндрическій котелъ, гдѣ пропаривается въ теченіе 1 до $1^1/_2$ часовъ подъ давленіемъ 2 до 3 атм.; затѣмъ сырость выкачивается подъ вакуумомъ въ $^1/_5$ до $^1/_4$ атм. въ теченіе 40 до 90 минутъ, и, наконецъ, накачивается подъ давленіемъ 6 до 8 атм. растворъ хлористаго цинка въ теченіе 60 до 70 минутъ. Растворъ плотностью 3^0 Baume состоитъ изъ 1 вѣс. ч. хлористаго цинка ($Zn\,Cl_2$ уд. вѣсъ 1,8) и 30 вѣс. ч. воды. Расходъ раствора составляетъ для бука и сосны 160 до 200 kg/cbm, для дуба 90 до 100 kg/cbm.

Креозотомъ (Bethell 1838). Дерево просушивается въ котлѣ при температурѣ 100 до 140^0 въ теченіе 3—4 часовъ, затѣмъ оставляется въ другомъ котлѣ подъ вакуумомъ $^1/_{10}$ до $^1/_5$ атм. въ теченіе 1 часа; въ тотъ же котелъ накачивается затѣмъ креозотъ въ теченіе 60 до 70 мин. подъ давленіемъ 6—8 атм. Точка кипѣнія креозота между 180^0 и 400^0, его уд. вѣсъ 1,0 до 1,1, содержаніе въ немъ кислотъ 6 до 10%. Увеличеніе вѣса пропитываемаго дерева 5 до 6 kg/cbm. Расходъ креозота для сосны 140 до 200 kg/cbm, для дуба 80 до 90 kg/cbm, для бука 270 до 300 kg/cbm.

Мѣднымъ купоросомъ (Boucherie 1841). Растворъ изъ 1,5 в. ч. мѣднаго купороса на 100 в. ч. воды прогоняется подъ напоромъ столба жидкости (бакъ на высотѣ 10 до 12 m) черезъ торецъ комлевой стороны бревенъ (балка которыхъ должна

НТБ ДНУЗТ

быть произведена не дальше, какъ за 10 дней до пропитки); сначала вытекаетъ со стороны вершины сокъ, а затѣмъ показывается и синій растворъ купороса. Продолжительность пропитки телеграфнаго столба (хвойнаго) длиною 10 m—13½ дней. 1 cbm дерева впитываетъ въ себя 9,5 kg мѣднаго купороса. Этотъ способъ примѣняется для пропитыванія телеграфныхъ столбовъ, рѣдко для желѣзнодорожныхъ шпалъ.

Хлористою ртутью (сулемой; Kyan 1832). Въ деревянное корыто наливается растворъ сулемы (1 $HgCl_2$: 150 воды) и въ него кладутся шпалы, гдѣ остаются 8—10 дней (хвойныя) и 12—14 дней (дубъ). Каждая шпала оставляетъ на своей поверхности около 0,125 kg сулемы. Слѣдуетъ предохранять рабочихъ отъ очень вреднаго дѣйствія сулемы.—Способъ этотъ примѣняется мало.

Отъ червоточинъ дерево предохраняется покрытіемъ его жирными и смолистыми матеріалами (керосинъ, древесная смола).

Если червоточина началась, то дерево покрываютъ нѣсколько разъ мыльнымъ растворомъ (ѣдкаго натра съ жирами) и поварен. соли (26 объемовъ мыла : 3 объема соли) или покрываютъ карболовой кислотой, также впускаютъ въ червоточины соляную кислоту или растворъ сулемы.

Отъ пожара дерево можетъ быть предохранено лишь въ томъ смыслѣ, чтобы не допустить горѣнія пламенемъ. Для этой цѣли 5—6-кратная окраска жидкимъ растворимымъ стекломъ, смѣшаннымъ съ незначительнымъ количествомъ глины или мѣла. Также хорошъ растворъ хлористаго кальція, въ которомъ производилось гашеніе обожженной извести.

Продолжительность службы дерева. Въ совершенно сухихъ помѣщеніяхъ сосна, лиственница служатъ весьма долго, а дубъ—неограниченное время. При перемѣнномъ дѣйствіи сухости и сырости дубъ служитъ около 50 лѣтъ, сосна не болѣе 20 лѣтъ.

Въ грунтѣ глинистомъ и сыромъ пескѣ дерево держится очень хорошо, хуже въ сухомъ пескѣ, и всего хуже въ известковомъ грунтѣ.

Порода дерева.	Натуральное.	Пропитанное.
Сосна и лиственница .	7 до 9 лѣтъ	14 до 18 лѣтъ
Ель и пихта .	4 „ 5 „	9 „ 12 „
Букъ .	2½ „ 3 „	10 „ 14 „
Дубъ	15 „ 20 „	20 „ 25 „

Деревянныя рукоятки для ручного инструмента: молотковъ, киркъ, пикъ и топоровъ изъ ясени, бѣлаго бука и америк. кизиля (Hickory); для лопатъ, вилъ и т. д. изъ ясени.

Деревянныя трубы для колодцевъ имѣютъ длину 3,5 до 4,0 m.

Отверстіе въ свѣту mm	50	75	100	125	150	200	250	300
Толщина стѣнокъ mm	20	25	30	35	40	50	55	60

Шпалы (поперечины) см. ч. II, желѣзнодорожное дѣло.

НТБ ДНУЗТ

IX. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРІАЛЫ *).

Смазка имѣетъ цѣлью устранить непосредственное соприкосновеніе поверхностей, работающихъ другъ по другу, и въ значительной мѣрѣ ослабить появляющееся при этомъ треніе, съ тѣмъ, чтобы происходящая отъ этого потеря работы, нагрѣваніе поверхностей и износъ ихъ по возможности уменьшить. При достаточной смазкѣ явленіе тренія имѣетъ мѣсто не между скользящими поверхностями, а въ самомъ смазочномъ матеріалѣ (внутреннее треніе).

Отъ смазочнаго матеріала требуются слѣдующія качества:

1. Возможно большее сцѣпленіе частицъ (сцѣпленіе, клейкость).

Смазка должна хорошо приставать къ смазываемымъ поверхностямъ, для того, чтобы по возможности лучше отдѣлять другъ отъ друга трущіяся поверхности (малый износъ этихъ поверхностей) и вытекать только при постепенномъ увеличеніи давленія между этими поверхностями (небольшой расходъ смазки).

2. Достаточно жидкое строеніе.

Относительное взаимное перемѣщеніе частицъ должно происходить чрезвычайно легко, для того, чтобы частицы могли заполнить мельчайшія неровности трущихся поверхностей и чтобы вслѣдствіе чрезмѣрнаго внутренняго тренія въ матеріалѣ смазки не происходила потеря работы. Съ другой стороны, слишкомъ жидкая смазка легко выдавливается наружу, отчего расходъ ея увеличивается.

3. Возможно малая измѣняемость a) отъ дѣйствія воздуха и b) отъ измѣненія давленія и температуры.

a) Затвердѣваніе и образованіе твердыхъ оболочекъ — осмаливаніе (смоляныя масла, наиболѣе жидкія изъ нихъ представляютъ наихудшую смазку), b) испареніе (напр., минеральныя масла при 150° въ паровомъ цилиндрѣ и золотников. ящикѣ) и разложеніе особенно водянымъ паромъ.

4. Полное отсутствіе кислотъ **).

Трущіяся поверхности, равно и тѣ части, на которыя случайно попадаетъ смазка, сильно портятся отъ присутствія въ смазкѣ хотя бы небольшихъ слѣдовъ неорганическихъ кислотъ (сѣрной кислоты), а равно и отъ органическихъ жирныхъ кислотъ. Сѣрная кислота почти не встрѣчается въ маслахъ минеральныхъ, но почти всегда находится въ растительныхъ и животныхъ (жирныхъ) маслахъ; послѣднее происходитъ отъ несовершенной очистки. Жирныя кислоты содержатся въ жирахъ и выдѣляются изъ нихъ только при разложеніи, почему не такъ опасны.

5. Отсутствіе твердыхъ примѣсей, какъ растворенныхъ, такъ и нерастворенныхъ.

Подобныя примѣси (части тканей, кожи, частицы кокса въ маслахъ минеральныхъ и разныя фальсификаціонныя примѣси, имѣющія цѣлью увеличеніе вѣса) сами производятъ сильное треніе, засоряютъ каналъ, по которому протекаетъ масло.

6. Неизмѣняемость отъ холода.

7. Отсутствіе воды.

---

*) Подробности см. J. Grossmann, Die Schmiermittel und Lagermetalle; Wiesbaden 1894.—Anleitung zur Einrichtung und Instandhaltung von Triebwerken, herausgegeben von der Berlin-Anhaltischen-Maschinenbau-Akt.-Ges. in Berlin NW. und Dessau, 1894.—A. Künkler. Die Maschinenschmierung (die Schmiermittel und ihre Untersuchung); Mannheim 1893.—Zeitschr. d. V. d. Ing. 1898, стр. 553.

**) См. Keller, Z. d. V. d. Ing. 1888, стр. 676.

НТБ ДНУЗТ

Смазочные матеріалы для смазки фитилемъ могутъ содержать въ себѣ лишь слѣды воды (0,5%), такъ какъ вода значительно уменьшаетъ всасывающую способность фитиля. Если смазка можетъ принять большее количество воды, то это указываетъ, что къ смазкѣ прибавлена вода для фальсификаціи.

Для экономически **выгодной** смазки требуется, чтобы при возможно большемъ сцѣпленіи частицъ была соблюдена извѣстная тягучесть, въ такой степени, чтобы происходящее отъ этого увеличеніе внутренняго тренія (потеря работы и нагрѣваніе) не уничтожало бы выгоды отъ уменьшенія количества смазки.

При **выборѣ матеріала смазки** необходимо (кромѣ цѣны) принимать въ разсчетъ: 1) давленіе на единицу площади смазываемыхъ поверхностей, 2) скорость движенія поверхностей и 3) температуру при смазкѣ.

Для цапфы, медленно вращающейся и слабо нагруженной, выгоднѣе употреблять масло минеральное (достаточно тягучее еще при 50°), такъ какъ рѣпного масла будетъ расходоваться въ этомъ случаѣ много. При болѣе сильномъ давленіи (цапфы кривошиповъ большихъ паровыхъ машинъ) слѣдуетъ брать рѣнное масло, такъ какъ минеральное масло, въ виду малаго сцѣпленія частицъ, не будетъ сопротивляться въ достаточной мѣрѣ давленію.

При незначительномъ давленіи и большой скорости вращенія, напр,, шпульки прядильныхъ станковъ, главнымъ условіемъ является жидкая смазка, ибо съ увеличеніемъ скорости увеличивается внутреннее треніе; лучшая смазка—чистое минеральное масло или примѣсь его къ деревянному маслу въ количествѣ 75%. Для частей, работающихъ въ парѣ (поршни, золотники) смазка должна имѣть возможно большее сцѣпленіе частицъ (клейкость), такъ какъ при высокихъ температурахъ степень жидкости у различныхъ смазочныхъ матеріаловъ мало разнится.

При обыкновенныхъ температурахъ степень жидкости минеральныхъ маслъ значительно мѣняется съ измѣненіемъ температуры, почему послѣднюю слѣдуетъ принимать въ разсчетъ. Минеральныя масла, весьма тягучія и клейкія при 20°, оказываются при 35° до 40° на половину менѣе тягучими а при 50° и 60° вполнѣ жидкими.

Твердая смазка (мазь*) представляетъ весьма клейкую мазь и употребляется для смазки весьма рѣдко. Преимущества заключаются въ томъ, что смазка не стекаетъ и на стоянкѣ машинъ не вытекаетъ, препятствуетъ проникновенію пыли, почему расходъ смазки малъ. Неудобства: значительная клейкость даетъ значительное внутреннее треніе, отчего износъ трущихся частей значителенъ и происходитъ большая потеря работы**); смазка крайне неравномѣрна, смазочный матеріалъ подводится къ смазываемымъ поверхностямъ подъ давленіемъ, смазка непрозрачна, почему механическія въ ней примѣси не могутъ быть обнаружены, большой расходъ на чистку машинъ. Примѣняется только для медленно вращающихся, сильно нагруженныхъ цапфъ, длинныхъ, медленно вращающихся, валовъ, а равно и въ тѣхъ случаяхъ, когда жидкая смазка сильно разбрасывается.

На основаніи вышеизложеннаго, на каждомъ заводѣ слѣдуетъ употреблять различные смазочные матеріалы. Обыкновенно берутъ два сорта, изъ которыхъ одинъ—для паровыхъ цилиндровъ и золотниковыхъ ящиковъ.

Смазочные матеріалы слѣдуетъ покупать у извѣстныхъ фирмъ, не обращая большого вниманія на цѣны: дешевые смазочные матеріалы, иногда очень хорошіе по наружнему своему виду, оказываются большею частью вредными и поэтому дорогими.

Масло, стекающее изъ подшипниковъ (отработавшее), содержитъ въ себѣ весьма много пыли, металлическихъ частицъ и т. п.,

---

*) См. Heusinger von Waldegg, Schmiermittel der Eisenbahnen; Wiesbaden 1871.
**) См. Woodbury, Measurements of the friction of lubricating oils; New-York 1885.

НТБ ДНУЗТ

почему въ такомъ видѣ можетъ быть утилизировано только для шлифовки на наждачныхъ кругахъ, для сверленія дыръ и т. п. При обильной смазкѣ быстроходныхъ машинъ, газовыхъ двигателей и т. п. рекомендуется производить очистку отработаннаго масла. Это достигается осажденіемъ тяжелыхъ частицъ, фильтрованіемъ и т. п.

Отдѣленіе смазки изъ матеріаловъ чистки производится при помощи центрофугъ. Полное отдѣленіе смазочныхъ матеріаловъ достигается промывкой въ бензинѣ.

Къ числу главнѣйшихъ смазочныхъ матеріаловъ принадлежатъ:

1. Жирныя масла и жиры.

Растительные и животные жиры, особенно первые, разлагаются отъ дѣйствія кислорода воздуха и содержатъ тогда свободныя жирныя кислоты. При болѣе продолжительномъ дѣйствіи воздуха высыхаютъ въ тонкихъ слояхъ болѣе или менѣе быстро и дѣлаются прогорклыми. При варкѣ съ каліевою или натровою щелочью омыливаются, т. е. превращаются въ смазочное мыло (каліевое) или твердое мыло (натровое). Всѣ жирныя масла и жиры разлагаются болѣе или менѣе быстро при испареніи.

Сырыя **растительныя масла** получаются большею частью выжиманіемъ, рѣже извлеченіемъ при помощи сѣроуглерода, отъ присутствія бѣлковины и клейковины мутны, для выдѣленія послѣднихъ элементовъ обрабатываются сѣрной кислотой. Отдѣленіе кислоты производится растворомъ соды и промывкою въ водѣ. Цвѣтъ очищеннаго масла свѣтло-желтый до прозрачнаго.

Рѣпное масло (рапсовое) содержитъ 1,5% клейковины и подобныхъ примѣсей, въ сыромъ видѣ употребляется только послѣ осажденія всѣхъ находящихся въ немъ примѣсей. Лучше очищать сѣрною кислотой. Свѣтлое (очищенное) рѣпное масло лучше, чѣмъ менѣе свѣтлое (сырое). Рѣпное масло легко дѣлается прогорклымъ и слегка твердѣетъ, что, однако, не ограничиваетъ его примѣненія въ случаѣ, если мѣсто не теплое и безъ пыли. Масло это наиболѣе употребительно въ Европѣ (за исключ. Россіи), благодаря значительной смазывающей способности и дешевизнѣ. Уд. вѣсъ въ среднемъ 0,914, твердѣетъ при -1^0 до -10^0.

Оливковое или деревянное масло большей частью зеленовато, обладаетъ большею смазывающею способностью, чѣмъ масло рѣпное, не высыхаетъ и не образуетъ твердой коры, содержитъ въ себѣ наибольшее количество свободныхъ жирныхъ кислотъ. Большею частью употребляется для смазки прядильныхъ станковъ, а въ раффинированномъ состояніи также для болѣе мелкихъ и тонкихъ приборовъ. Вслѣдствіе высокой цѣны рѣдко употребляется безъ примѣси другихъ маслъ. Подмѣсей коноплянаго, льняного, маковаго масла, какъ скоро высыхающихъ, слѣдуетъ избѣгать. Уд вѣсъ 0,918. Уже при температурѣ выше нуля выдѣляетъ стеаринъ.

НТБ ДНУЗТ

Касторовое масло весьма тягуче и скоро высыхаетъ, но въ нѣкоторыхъ случаяхъ представляетъ хорошее средство для смазки. Уд. вѣсъ 0,965.

Масло сладкаго миндаля въ раффинированномъ состояніи прекрасно служитъ для смазки мелкихъ механизмовъ, геодезическихъ инструментовъ, часовъ.

Животные жиры получаются изъ сырья (сало) при помощи выварки на открытомъ огнѣ (часто съ сѣрною кислотой) или при помощи перегрѣтаго пара.

Саломъ бычачьимъ или бараньимъ можно смазывать, лишь когда оно совершенно свободно отъ сѣрной кислоты. Хорошее сало твердо, содержитъ мало жирной кислоты, не дѣлается легко прогорклымъ. Часто фальсифицируется другими жирами и посторонними предметами. Уд. вѣсъ въ среднемъ 0,948. Точка плавленія бычачьяго сала 45^0, а бараньяго 47^0.

Бычачье сало идетъ для смазки кожаныхъ приводныхъ ремней (стр. 475). Для увеличенія сцѣпленія ремней употребляется смѣсь изъ 3 частей ворвани и 1 части горячаго сала.

Ворвань и рыбій жиръ часто употребляются въ Америкѣ какъ смазочный матеріалъ.

Костяное масло лучше изъ ногъ быковъ и телятъ, хуже изъ лошадиныхъ ногъ. Не дѣлается прогорклымъ и не высыхаетъ, обладаетъ большимъ сцѣпленіемъ. Весьма дорого и употребляется только для весьма нѣжныхъ механизмовъ (часовъ), часто фальсифицируется.

Спермацетовое масло изъ спермацета представляетъ самую жидкую смазку, не дѣлается прогорклымъ и не высыхаетъ. Прекрасное смазочное масло для геодез. инструм. и т. п.

2. Минеральныя масла получаются изъ натуральныхъ сырыхъ минеральныхъ маслъ (нефть и т. п.) путемъ перегонки, причемъ получаются легкія масла (керосинъ, бензинъ и т. п.) и масла тяжелыя (смазочныя). Послѣднія очищаются путемъ фильтраціи (цилиндровое масло), перегонкой, обработкой сѣрною кислотой и затѣмъ натровою щелочью.

На воздухѣ минеральныя масла не измѣняются, т.-е. они не даютъ кислоты, не густѣютъ и не высыхаютъ, мѣняя однако цвѣтъ. Въ тепломъ помѣщеніи болѣе или менѣе испаряются, особенно тѣ масла, которыя имѣютъ низкую температуру кипѣнія. Цвѣтъ весьма разнообразенъ, свѣтло-желтый, желто-красный до черно-бураго. Отъ жирныхъ маслъ отличаются, при падающемъ свѣтѣ, особымъ отблескомъ—синеватымъ или зеленоватымъ. Нѣкоторыя масла (американскія) уже при 10^0 выдѣляютъ парафинъ и при 0^0 затвердѣваютъ въ мазь, другія масла (русскія) остаются жидкими при весьма низкихъ температурахъ.

При высокихъ температурахъ минеральныя масла весьма жидки. Уд. вѣсъ 0,885 до 0,932.

Способность испаряться (тѣмъ менѣе, чѣмъ выше температура вспышки) должна быть принимаема въ разсчетъ для маслъ, упо-

НТБ ДНУЗТ

требляемыхъ для смазыванія цилиндровъ паровыхъ машинъ. Температура испаренія легкихъ составныхъ частей минеральнаго масла должна быть значительно выше температуры пара въ паровомъ цилиндрѣ и золотниковой коробкѣ.

Лучшими смазочными минеральными маслами считаются масла русскія (кавказскія). Свойства минеральныхъ маслъ приведены въ слѣдующей таблицѣ Кюнклера;

Происхожденіе масла.	Уд. вѣсъ при 15°	Затвердѣваетъ при:	Цвѣтъ. при проходящемъ свѣтѣ.	Цвѣтъ. при падающемъ свѣтѣ.	Температура вспышки.	Температура при горѣніи.	Тягучесть при [1]) 50°	Тягучесть при [1]) 150°
Американское веретен. масло	0,885	— 2°	свѣтло-желт.	зелекый и слабо-синій	174°	202°	1,8	—
Русское свѣтлое машин. масло	0,909	ниже—10°	желтый	зеленый и синій	197°	234°	6,6	—
Русское темное цилиндр. масло	0,920	— 8°	черно-бурый	зеленоватый	210°	235°	—	1,53

[1]) Вода при 20° имѣетъ тягучесть = 1.

3. **Мазь для смазки машинныхъ частей**. Густая машинная мазь представляетъ смѣсь известковаго мыла и смазочнаго масла. Обладаетъ весьма большимъ внутреннимъ треніемъ, почему для смазки машинъ не рекомендуется. Мазь для зубцовъ зубчатыхъ колесъ составляется изъ сала и масла въ смѣси съ графитомъ или тальком.

Испытаніе смазочныхъ матеріаловъ производится различными механическими и химическими способами на сцѣпленіе частицъ, степень тягучести, температуру вспышки и т. д. *).

Техническія условія на поставку минеральныхъ маслъ, установл. прусск. мин. публ. работъ 4 февр. 1892 **):

Минеральное масло должно употребляться зимою и лѣтомъ для смазки подвижного состава, паровыхъ машинъ и станковъ и должно удовлетворять слѣдующимъ условіямъ. Удѣльный вѣсъ при 20° не менѣе 0,900 и не болѣе 0,925. Степень тягучести (густоты), отнесенная къ водѣ при 20° = 1, опредѣляется по вискозиметру Энглера и должна находиться для вышеуказанныхъ температуръ въ слѣдующихъ предѣлахъ.

Температуры.	20°	30°	40	50°	
Высшій предѣлъ . .	45	20	12	9	градусовъ жидкости,
Низшій „ .	25	12	8	6	„ „ .

Температура вспышки. При нагрѣвѣ до 160° масло не должно выдѣлять воспламеняющихся паровъ. Зимнее масло при — 15°, а лѣтнее при — 5° должно быть достаточно жидко, т.-е. налитое въ стеклянную трубку діам. 6 mm и подверженное въ ней постоянному давленію 50 mm водяного столба, масло должно подниматься въ трубкѣ на 10 mm въ 1 минуту. Масло не должно содержать въ себѣ

*) Болѣе подробно объ этомъ, а равно и о наиболѣе употребительныхъ способахъ фальсификаціи смазочныхъ матеріаловъ см. A. Künkler, Die Maschinenschmierung, Mannheim 1893.

**) Centralbl. d. Bauverw. 1892, стр. 87. Въ отдѣльномъ оттискѣ у Wilh. Ernst & Sohn, Berlin.

НТБ ДНУЗТ

воды и кислотъ, имѣть лишь слабый запахъ и вполнѣ растворяться въ бензинѣ уд. вѣсомъ 0,67 до 0,7. Въ маслѣ не должно быть никакихъ механическихъ примѣсей, и даже при продолжительномъ отстаиваніи масло не должно давать осадковъ. Подверженное дѣйствію воздуха въ тонкихъ слояхъ болѣе продолжительное время не должно дѣлаться смолистымъ и не должно высыхать.

Для нѣкоторыхъ цѣлей (напр. въ компрессорахъ) примѣняется **графитъ**, какъ смазочный матеріалъ.

X. КОЖАНЫЕ ПРИВОДНЫЕ РЕМНИ.

Наиболѣе тяжелая бычачья кожа въ дубленомъ состояніи имѣетъ толщину 5 до 8 mm; въ сыромъ состояніи обладаетъ наибольшимъ сопротивленіемъ разрыву, но весьма малою упругостью, нехорошо прилегаетъ къ окружности шкива и легко подвергается порчѣ. Коровья кожа, въ виду неравномѣрности ея строенія, не идетъ на выдѣлку приводныхъ ремней.

Шкура, имѣющая въ естественномъ состояніи форму бочки, вытягивается въ плоскія цѣльныя кожи. Часть кожи, идущая на выдѣлку ремней, имѣетъ въ спинной части ширину 1,2 m и длину 1,2 до 1,5 m по направленію отъ головы къ хвосту. Отъ линіи хребта по обѣ стороны, на полосѣ шириною 100 mm, толщина почти равномѣрная 5 mm, затѣмъ на разстояніи около 400 mm отъ хребта толщина постепенно увеличивается до 8 и 9 mm. Поэтому приводные ремни равномѣрной толщины при ширинѣ до 200 mm изготовляются изъ хребтовыхъ частей: одиночные—толщиною не болѣе 5 mm, а двойные—толщиною не болѣе 10 mm; изъ боковыхъ частей той же кожи получаются одиночные ремни толщиною 8 mm при ширинѣ 200 mm. Средняя линія приводнаго ремня всегда параллельна хребту.

Ремни, которые во время работы остаются плоскими и имѣютъ большую скорость ($\leqq$ 10 m въ сек.), изготовляются только изъ полосъ ближайшихъ къ хребту (для электродвигателей и динамо), уже начиная отъ ширины 100 mm. У этихъ ремней всѣ волокна расположены параллельно другъ другу и, поэтому, могутъ всѣ выдерживать одинаковое напряженіе. При небольшой скорости и не очень малыхъ діаметрахъ шкивовъ можно брать ремни изъ боковыхъ полосъ кожи. Необходимо принимать въ разсчетъ, изъ кожи какого животнаго выдѣланъ ремень, населяетъ-ли оно горныя страны или долины, а также способъ дубленія.

По вѣсу и толщинѣ ремня нельзя судить о степени его пригодности для передачи силы: качество толстаго ремня часто бываетъ хуже.

НТБ ДНУЗТ

По К. Баху *) нельзя судить о способности ремня передавать извѣстное усиліе исключительно по его сопротивленію разрыву: объ этой способности судятъ по его эластичности (упругости ремня), каковая упругость должна быть сохранена и во время работы.

Различными искусственными пріемами при выдѣлкѣ ремней можетъ быть достигнута большая толщина; равнымъ образомъ, заполняя поры кожи дубильнымъ матеріаломъ, можно получить плотное строеніе ремня; увеличеніе вѣса достигается также пропиткой виноградным̈ъ сахаромъ, тяжелымъ шпатомъ и т. п. Всѣ эти пріемы негодны и основаны на томъ, чтобы вводить покупателей въ заблужденіе. Сравнивать можно только ремни отъ быковъ одной породы, при однообразномъ способѣ ихъ выдѣлки.

Длина отдѣльныхъ кусковъ ремня по предыдущему равна 1200 до 1500 mm. Кожу со складками можно помѣщать только въ мѣстахъ соединенія отдѣльныхъ кусковъ. Мѣста соединенія въ ремняхъ большой ширины имѣютъ длину 200 до 400 mm, такъ что изъ каждой кожи можетъ быть изготовленъ ремень длиною 1000 до 1300 mm.

Соединеніе производится по ширинѣ (у двойныхъ ремней и по длинѣ) сшиваніемъ при помощи ремней-ушивальниковъ, препарированныхъ саломъ, а также склеиваніемъ и прессованіемъ (клей съ прибавленіемъ венеціанскаго скипидара и немного уксуса); на 1 qcm сѣченія ремня приходится 15 до 25 qcm поверхности склейки. Края скашиваются особымъ стругомъ. Временное сопротивленіе разрыву стыковъ 200 до 300 kg/qcm.

Приводные ремни слѣдуетъ чистить одинъ разъ въ годъ, ремни обмываются теплой водой (осторожно въ мѣстахъ склейки), просушиваются и смазываются теплою ременною мазью (см. стр. 1087).

Наиболѣе прочный слой кожи находится на $^1/_3$ толщины, считая отъ мясной стороны, передача усилія происходитъ главнымъ образомъ тою половиной толщины ремня, которая обращена вовнутрь. По этой причинѣ ремень прилегаетъ къ шкиву мясной стороной. Сопротивленіе ремней см. стр. 340.

Для выясненія главнѣйшихъ свойствъ цѣлой кожи быка въ отдѣльныхъ ея частяхъ С. О. Геркенсъ, въ Гамбургѣ, разрѣзалъ половину цѣлой кожи на 48 полосъ, длиною въ 30 cm и шириною 5 cm. и для каждой полосы опредѣлилъ разрывающій грузъ, удлиненіе, а таже и вѣсъ. Образцы, вырѣзанные изъ боковъ и находившіеся рядомъ, дали удлиненіе 5 и 10 mm, отсюда слѣдуетъ, что изготовленный изъ боковыхъ частей ремень на службѣ будетъ неравномѣрно вытягиваться и давать перекосъ. Прямыхъ ремней не слѣдуетъ изготовлять изъ боковыхъ частей кожи; напротивъ, весьма хорошо служатъ изъ этихъ частей кожи ремни полускрещенные.

Дальнѣйшее о ремняхъ см. стр. 472 и слѣд.

*) См. C. Bach Die Maschinen-Elemente, 7 изд.; Stuttgart 1899; его же, Elasticität von Treibriemen und Treibseilen, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1887, стр. 221 и 245.

НТБ ДНУЗТ

ПРИБАВЛЕНІЕ КЪ ВОСЬМОМУ ОТДѢЛУ.

Нормальныя техническія условія на поставку матеріаловъ и издѣлій для желѣзныхъ дорогъ.

Утверждены приказомъ Его Сіятельства Господина Министра Путей Сообщенія отъ 5-го іюля 1897 года, за **№ 113**.

(*Со всѣми измѣненіями и дополненіями по сентябрь 1901 года*).

1. Паровозы и тендеры.

§ 1. *Общія условія.* Матеріалы, употребляемые на изготовленіе паровозовъ и тендеровъ, должны по качеству соотвѣтствовать назначенію частей, для которыхъ они будутъ употреблены, и не имѣть пороковъ, вліяющихъ на ихъ прочность и долговѣчность службы.

Всѣ матеріалы могутъ быть подвергнуты испытаніямъ, причемъ количество испытаній во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда оно не оговорено настоящими техническими условіями, предоставляется усмотрѣнію пріемщика, но, однакоже, оно не должно превосходить 2% отъ предъявленнаго къ пріемкѣ количества.

Примѣчаніе. Если 2% отъ количества испытуемыхъ частей составляетъ менѣе единицы, то пріемщику предоставляется испытать одну часть.

Матеріалы, идущіе на изготовленіе частей, неотвѣтственныхъ въ смыслѣ прочности, по незначительности дѣйствующихъ на нихъ силъ (какъ, напр., желѣзо для обшивки, площадокъ, тендерныхъ баковъ и т. п.), не подлежатъ испытанію на разрывъ.

Запасныя части паровозовъ и тендерозъ должны быть настолько точно исполнены, чтобы онѣ могли быть употребляемы для всѣхъ паровозовъ одной серіи безъ особой пригонки, кромѣ пришабриванія и притирки.

Всѣ части движущаго и пораспредѣлительнаго механизмовъ, не подлежащія окраскѣ, а также всѣ рукоятки приводовъ и всѣ части арматуры, отдѣланныя на станкахъ, должны быть отшли-

НТБ
ДНУЗТ

фованы; однако, всѣ эти части могутъ ставиться и безъ дальнѣйшей отдѣлки, если онѣ чисто обработаны.

Остальныя части должны быть отдѣланы правильно и возможно чисто.

Всѣ гайки и головки болтовъ движущаго и пораспредѣлительнаго механизмовъ, цилиндровыхъ и золотниковыхъ крышекъ, а также гайки арматуры должны быть обработаны на станкахъ въ калибръ. Всѣ остальныя гайки или головки болтовъ могутъ быть оставлены и черными, если онѣ изготовлены способомъ штампованія съ точностью до 0,5 мм. въ болтахъ до 1 дюйма діаметромъ и до 1 мм. въ болтахъ большихъ размѣровъ, причемъ отступленія въ размѣрахъ допускаются лишь въ меньшую сторону; гайки, подлежащія частому отвинчиванію, должны быть цементованы и закалены. Гайки и болты должны быть по шкалѣ Витворта.

Размѣтка, обработка на станкахъ, точная пригонка и установка всѣхъ частей паровоза и тендера должны исполняться по шаблонамъ, калибрамъ, мѣркамъ, крючкамъ и провѣрочнымъ приборамъ.

Степень точности изготовленія частей паровозовъ и тендеровъ должна удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

а) части, приготовленныя отковкой, отливкой и прокаткой, за исключеніемъ тѣхъ, точность изготовленія коихъ оговорена особо въ настоящихъ техническихъ условіяхъ, а также тѣхъ, кои отдѣлываются по шаблонамъ и калибрамъ, не должны отступать отъ чертежа въ смыслѣ уменьшенія болѣе 10% площади поперечнаго сѣченія; въ смыслѣ же увеличенія размѣровъ должны: 1) не увеличивать общаго вѣса паровоза или тендера и проектной нагрузки на оси болѣе допускаемыхъ; 2) не затруднять постановку и сборку другихъ частей паровоза или тендера и 3) не вліять на правильность работы во время службы паровоза;

б) размѣры частей, обрабатываемыхъ на станкахъ, не подлежащіе отдѣлкѣ въ калибръ, могутъ отступать отъ чертежа до 1 мм. какъ въ сторону уменьшенія, такъ и увеличенія ихъ;

в) размѣры частей, отдѣлываемыхъ въ калибръ, принимаются по калибру, который изготовляется по чертежу.

Въ отдѣльныхъ случаяхъ пріемщикъ можетъ допустить отступленія отъ калибра, не вредящія правильной сборкѣ и работѣ паровоза; при этомъ, однако же, отступленія эти не должны нарушать плотности соединенія частей, пригоняющихся шабровкой, притиркой или инымъ способомъ (напр., поверхности соприкасанія золотника и лица, поверхности въ соединеніяхъ трубъ и т. п.).

Допускаемыя выше отступленія въ размѣрахъ отдѣльныхъ частей не должны вліять на правильность работы паровоза и тендера.

На всѣхъ отъемныхъ частяхъ каждаго паровоза и тендера долженъ быть выбитъ заводскій нумеръ паровоза.

Примѣчаніе. Ежели на чертежахъ паровоза и тендера будетъ обозначена нормальная нумерація отдѣльныхъ частей ихъ, то таковая должна быть выбита на соотвѣтственныхъ частяхъ.

§ 2. *Чертежи*. Паровозы и тендеры изготовляются по выдан-

НТБ ДНУЗТ

нымъ заводу чертежамъ. Чертежи должны быть провѣрены заводомъ до приступа къ работамъ. Независимо отъ сего, въ случаѣ обнаруженія во время работъ какихъ-либо несогласованій или неясностей въ чертежахъ, таковыя должны быть устранены по взаимному соглашенію завода и лица, на то уполномоченнаго заказчикомъ; если же такового нѣтъ, то по соглашенію завода съ пріемщикомъ.

§ 3. *Характеристика паровоза и тендера.*

а) Котелъ. Внутренній наименьшій діаметръ котла. Наружній діаметръ дымогарныхъ трубокъ. Число дымогарныхъ трубокъ. Поверх. нагрѣва (наруж.) дымог. трубокъ. Поверх. нагрѣва (внутренняя) топки. Поверх. нагрѣва полная. Площадь рѣшетки. Отопленіе. Давленіе пара по манометру. База паровоза. Нагрузка на ось. Число тормазныхъ осей. Процентъ тормаженія.

б) Паровая машина. Діаметръ цилиндра высокаго давленія. Діаметръ цилиндра низкаго давленія. Ходъ поршня.

в) Ходовая часть. Діаметръ ведущей оси. Число спаренныхъ осей. Діаметръ бѣгунка. Число бѣгунковъ.

г) Тендеръ. Діаметръ колеса. Число осей. Нагрузка на ось. Объемъ водяного бака. Тормаженіе: система, процентъ.

д) Вѣсъ. Паровоза: въ порожнемъ состояніи, въ рабочемъ состояніи. Тендера: въ порожнемъ состояніи, въ рабочемъ состояніи.

§ 4. *Котелъ.* Котелъ долженъ быть склепанъ изъ листовъ сварочнаго или литого желѣза. Листы по наружнему виду не должны имѣть недостатковъ, вредныхъ для котла.

Въ толщинѣ листовъ допускаются отступленія: въ меньшую сторону 0,5 мм. и въ большую $1^1/_2$ мм., что, однако, не должно увеличивать общаго вѣса паровоза и проектной нагрузки на ось болѣе допускаемыхъ.

Примѣчаніе 1. При заказѣ отдѣльныхъ листовъ котельнаго желѣза допуски противъ указанныхъ на чертежахъ или въ нарядѣ размѣровъ могутъ быть въ длинѣ 12 мм., а ширина 6 мм. Листы сварочнаго желѣза должны выдерживать не менѣе 34 килогр. вдоль и 30 килогр. сопротивленія на кв. мм. поперекъ прокатки съ удлиненіемъ не менѣе 15% вдоль и 8% поперекъ волоконъ. Испытаніе нормальнаго образца, шириною около 30 мм. и толщиною, равною толщинѣ испытуемаго листа, производится согласно установленной на сей предметъ инструкціи.

Примѣчаніе 2. Для листовъ, прокатываемыхъ въ обоихъ направленіяхъ, какъ то: передней рѣшетки, лобового, ухватнаго и верхняго листовъ, наружней топки и днища колпака—нормы эти берутся какъ среднія изъ результатовъ двухъ испытаній, взятыхъ въ двухъ направленіяхъ, составляющихъ прямой уголъ, причемъ онѣ должны быть не ниже 32 килогр. сопротивленія на кв. мм. и 12% удлиненія.

Испытанію подвергается 5% листовъ по выбору пріемщика, причемъ образцы берутся изъ излишковъ длины и ширины листовъ или изъ вырѣзовъ ихъ, когда таковые полагаются на чертежахъ. При неудовлетворительныхъ результатахъ испытаній число ихъ удваивается, а ежели и въ повторенныхъ испытаніяхъ окажется хотя бы одно, по результатамъ неудовлетворительное, то испыта-

НТБ ДНУЗТ

нію подвергается каждый листъ отдѣльно. Листы, давшіе неудовлетворительное переиспытаніе, бракуются.

Листы литого желѣза. Химическій анализъ на фосфоръ, сѣру и углеродъ дѣлается при одинаковыхъ чугунахъ отъ каждой десятой плавки, а при разныхъ чугунахъ—отъ каждой пятой плавки. Содержаніе фосфора не должно быть болѣе 0,05%. Химическій анализъ имѣетъ только факультативное значеніе, не долженъ вписываться въ акты и не можетъ служить причиной браковки листовъ и задержкой въ пріемкѣ ихъ.

Результаты произведенныхъ заводомъ химическихъ анализовъ представляются пріемщикомъ въ Главную Заводскую Инспекцію.

Всѣ листы литого желѣза испытываются на изгибъ въ холодномъ и горячемъ состояніи и разрывъ, причемъ пробные бруски берутся изъ оставленныхъ при нихъ припусковъ или вырѣзовъ, если таковые полагаются по чертежамъ.

Примѣчаніе. Нѣсколько листовъ, вырѣзанныхъ изъ одного прокатаннаго листа, при испытаніи принимаются за одинъ.

Проба на изгибъ. Кромки полосъ, предназначенныхъ на изгибъ, должны быть отдѣланы на станкахъ и ребра ихъ могутъ быть скруглены.

1. При испытаніи на изгибъ въ холодномъ состояніи пробная полоса, подвергнутая сгибанію для листовъ толщиною до 20 мм.—вплотную и для болѣе толстыхъ листовъ — на 180° около стержня равной имъ толщины, не должна давать на наружней поверхности сгиба трещинъ и разрывовъ.

2. При испытаніи на изгибъ въ горячемъ состояніи пробная полоса, нагрѣтая до темнокраснаго каленія и подвергнутая сгибанію до сдваиванія, не должна давать трещинъ на наружней поверхности сгиба

Пробамъ на изгибъ могутъ подвергаться полосы, нагрѣтыя до темнокраснаго каленія и охлажденныя въ водѣ.

Проба на разрывъ. При испытаніи на разрывъ литое котельное желѣзо должно давать: для листовъ толщиною до 20 мм. отъ 33 до 40 килогр. сопротивленія на кв. мм., при наименьшемъ удлиненіи 25%, а сумма цифръ сопротивленія и двойного удлиненія должна быть не менѣе 90; и для листовъ толщиною болѣе 20 мм. (верхушечный, рѣшетка и крышка парового колпака) сопротивленіе должно быть отъ 30 до 40 килогр. на кв. мм. при наименьшемъ удлиненіи 25%, причемъ сумма цифръ сопротивленія и двойного удлиненія должна быть не менѣе 90.

При сопротивленіи на разрывъ болѣе 40 килогр. на кв. мм. удлиненіе должно увеличиваться не менѣе 2% на каждый килогр. сопротивленія сверхъ минимальныхъ 25% удлиненія.

Указанныя нормы сопротивленій и удлиненій относятся согласно инструкціи къ образцамъ нормальнаго типа, шириною около 30 мм. и толщиною равною толщинѣ испытуемаго листа. Если при испытаніи два образца дали неудовлетворительные разультаты, то листъ бракуется; если же только одинъ образецъ, то листъ подвергается

НТБ ДНУЗТ

переиспытанію того же рода, какому первоначально онъ не удовлетворилъ. Листъ, не выдержавшій переиспытанія, бракуется.

Примѣчаніе. Вырѣзанные для испытаній кривые бруски могутъ выпрямляться подъ молотомъ при темно-красномъ нагрѣвѣ.

Желѣзо накладокъ по качеству должно быть не ниже желѣза листовъ, соединяемыхъ этими накладками. Отверстія для заклепокъ должны быть совершенно точныя, для чего передъ клепкой они должны быть пройдены развертками или же образованы сверленіемъ черезъ собранные вмѣстѣ листы; подъ головками заклепокъ должны быть образованы конусные буртики, соотвѣтственно которымъ должны быть раззенкованы съ обѣихъ сторонъ заклепочныя дыры. Передъ клепкой листы должны быть пригнаны настолько тщательно, чтобы по окончаніи клепки кромки верхнихъ листовъ прилегали къ нижнимъ плотно, безъ зазоровъ. Тѣло заклепки должно вполнѣ выполнять дыру, назначенную для заклепки.

Для склепки котловъ могутъ употребляться заклепки изъ сварочнаго или литого желѣза. Сварочное желѣзо для заклепокъ должно имѣть сопротивленіе на разрывъ не менѣе 36 килогр. на кв. мм., при удлиненіи не менѣе $20^0/_0$. Литое желѣзо должно выдерживать отъ 36 до 40 килогр. сопротивленія на кв. мм., при наименьшемъ удлиненіи $25^0/_0$, причемъ сумма цифръ сопротивленія и двойного удлиненія должна быть не менѣе 90; при сопротивленіи на разрывъ болѣе 40 килогр. на кв. мм. удлиненіе должно увеличиваться не менѣе $2^1/_2{}^0/_0$ на каждый килограммъ сопротивленія, сверхъ минимальныхъ $25^0/_0$ удлиненія. Кромѣ того, стержень заклепочнаго желѣза испытывается на изгибъ въ холодномъ и горячемъ состояніи и, согнутый вплотную, не долженъ давать на наружней поверхности сгиба трещинъ. На головкахъ заклепокъ, образованныхъ въ горячемъ состояніи, трещинъ не допускается.

Кромки листовъ, для удобства чеканки, должны быть скошены и швы обчеканены внутри и снаружи.

Листы огневой коробки и матеріалъ топочныхъ связей, изготовляемыхъ изъ красной мѣди, должны удовлетворять техническимъ условіямъ на сей предметъ (см. ниже технич. услов. на красную листовую мѣдь).

Связи должны быть просверлены или пробиты съ обоихъ концовъ на длину не менѣе 35 мм.

До расклепки головокъ, связи должны быть туго завернуты, причемъ рѣзьба связей должна быть чистая, безъ заусеницъ, и строго соотвѣтствовать рѣзьбѣ отверстій.

Топочныя связи и анкерные болты могутъ быть желѣзные изъ сварочнаго или литого желѣза, выдерживающаго: отъ 32 до 40 килогр. на кв. мм. сопротивленія, при удлиненіи не менѣе $20^0/_0$ для сварочнаго и $28^0/_0$ для литого желѣза; пробу на изгибъ вплотную и сплющиваніе на $^1/_2$ первоначальнаго діаметра безъ поврежденій металла.

Кольцо топочнаго отверстія, нижняя топочная рама, крышки кол-

НТБ ДНУЗТ

паковъ, сѣдалища люковъ, втулки поперечныхъ связей, анкерные болты, боковыя опоры топки, колосниковыя балки и т. п. части изготовляются изъ сварочнаго или литого желѣза, или отливаются изъ стали; въ случаѣ изготовленія ихъ отливкой, онѣ должны быть отожжены.

Заклепки для скрѣпленія рамы съ топочными листами должны быть точеныя, причемъ діаметръ ихъ въ холодномъ состояніи не долженъ отличаться отъ діаметра отверстія болѣе чѣмъ на $^1/_2$ мм.

Гидравлическое испытаніе котла съ поставленной на немъ арматурой производится при манометрическомъ давленіи на пять атмосферъ выше рабочаго давленія пара въ котлѣ.

Каждый котелъ, выдерживающій означенное испытаніе безъ остающагося измѣненія формы и течи швовъ, долженъ быть заштемпелеванъ на видномъ мѣстѣ, съ показаніемъ предѣльнаго давленія пара въ атмосферахъ, года, мѣсяца и дня испытанія, и имѣть надлежащее свидѣтельство испытанія котла пріемщикомъ.

§ 5. *Дымогарныя трубы.* Дымогарныя трубы должны удовлетворять установленнымъ на сей предметъ техническимъ условіямъ (см ниже технич. усл. на жел. дымог. трубы).

Укрѣпленіе трубъ въ обѣихъ рѣшеткахъ производится обжатіемъ вальцевымъ приборомъ.

§ 6. *Принадлежности котла и арматура.* Типъ дымовой трубы долженъ быть указанъ при выдачѣ заказа; заводу же предоставляется для пробныхъ поѣздокъ изготовить одну трубу по своему усмотрѣнію.

Одновременно съ выборомъ дымовой трубы должно быть указано, нужно-ли изготовленіе искроудержательныхъ сѣтокъ въ поддувалѣ и дымовой коробкѣ.

Зольникъ, клапаны его, дверца дымовой коробки и топочная дверца должны быть возможно плотно пригнаны.

Всѣ фланцевыя соединенія, какъ-то: фланцы парового колпака, предохранительныхъ клапановъ, круглыхъ люковъ котла, соединенія паровыхъ трубъ, патрубковъ, инжекторовъ и т. п., должны быть сдѣланы на притиркѣ безъ всякихъ мягкихъ прокладокъ.

Паровыя трубы, послѣ напайки фланцевыхъ колецъ, должны подвергаться гидравлическому давленію: паропроводная на 20 атмосферъ, ресиверная на 12 и паровыпускная на 8 атмосферъ.

Предохранительные клапаны должны вывѣряться съ точностью до 5 (пяти) фунтовъ на манометрическое давленіе, равное рабочему давленію пара въ котлѣ, послѣ чего должны быть поставлены контрольныя шайбы и трубки съ назначенными на нихъ мм. длинами.

Пружинные клапаны должны быть испытаны грузами (по требованію заказчика).

Всѣ соединенія арматуры съ котлами и частей ея между собою должны быть вполнѣ герметичны противу пара давленіемъ на од-

НТБ ДНУЗТ

ну атмосферу выше рабочаго; мягкія прокладки въ соединеніяхъ, образованныхъ рѣзьбою или притирочными кольцами, не допускаются.

Всѣ клапаны и краны, регуляторные золотники и т. п. должны плотно закрываться и не пропускать пара или воды. Манипуляція ими, равно какъ всѣми другими приводами конуса, сифона, водомѣрнаго стекла и т. д., должна производиться легко, съ малыми усиліями руки.

Инжекторы должны качать чисто, безъ утери воды, всѣ клапаны ихъ должны быть тщательно притерты.

Всѣ арматурныя части въ мѣстахъ, не подлежащихъ окраскѣ, должны быть тщательно отдѣланы, грани гаекъ правильны. Всѣ отливки для арматуры должны быть вполнѣ плотны, безъ поръ и свищей.

Всѣ ребра и углы какъ арматурныхъ частей, такъ равно и частей приводовъ должны быть настолько сглажены, чтобы не производить царапинъ на рукахъ.

Манометръ долженъ быть системы по требованію заказчика, противъ цифры рабочаго давленія пара должна быть поставлена красная черта; нуль шкалы манометра долженъ соотвѣтствовать одной абсолютной атмосферѣ.

Водомѣрное стекло должно быть снабжено футляромъ системы Горделичка или подобнымъ ему устройствомъ, защищающимъ паровозную прислугу отъ пораненія осколками стекла, а также приспособленіемъ для одновременнаго закрытія крановъ и водомѣрнаго стекла на разстояніи, если не примѣнена къ нимъ клапанная система.

Конусъ и сифонная трубка должны быть тщательно вывѣрены при постановкѣ.

Желѣзная обшивка котла и топки должна имѣть возможно правильную форму, а стыки ея тщательно пригнаны. Котелъ предварительно обшивается (по требованію заказчика).

Всѣ шпильки, поставленныя въ стѣнки котла или топки, должны завертываться безъ сурика или бѣлилъ, имѣть хорошую рѣзьбу и въ соединеніяхъ быть совершенно непроницаемыми для пара и воды, при наибольшихъ допущенныхъ для котла пробныхъ давленіяхъ. Чеканка около соединеній ихъ до окончательной пріемки котла воспрещается.

Бронза арматурныхъ частей, кромѣ конусныхъ пробокъ и вентильныхъ клапановъ, подлежащихъ притиркѣ, должна быть состава: мѣди 88 ч., олова 12 ч. или другого соотвѣтствующаго по качеству сплава.

Конусныя пробки и клапаны вентилей должны отливаться изъ сплава нѣсколько мягче противу означеннаго, такъ, чтобы притирка болѣе дѣйствовала на нихъ, нежели на стаканы и сѣдалища клапановъ.

§ 7. *Цилиндры и механизмъ.* Цилиндры должны быть изго-

НТБ ДНУЗТ

товлены изъ свѣтло-сѣраго чугуна, показывающаго въ изломѣ мелко-зернистое и однородное строеніе, безъ недостатковъ въ отливкѣ, вліяющихъ на прочность ихъ и исправность службы, причемъ небольшія отдѣльныя раковины допускается задѣлывать съ разрѣшенія на то пріемщика.

Вполнѣ готовые и собранные съ крышками цилиндры подвергаются испытанію гидравлическимъ прессомъ на давленіе пятью атмосферами выше рабочаго давленія пара въ котлѣ; цилиндры низкаго давленія системы „Компаундъ“ испытываются давленіемъ, равнымъ давленію пара въ котлѣ.

Всѣ части цилиндровъ должны быть отдѣланы по шаблонамъ и калибрамъ. Цилиндровыя и золотниковыя крышки должны быть притерты и поставлены безъ всякихъ прокладокъ, за исключеніемъ переднихъ золотниковыхъ крышекъ, постановка которыхъ допускается на тонкихъ (около 1 мм.) азбестовыхъ прокладкахъ. Золотники, изготовляемые изъ фосфористой бронзы, должны соотвѣтствовать шаблонамъ.

Поршни должны быть желѣзные штампованные или литые.

Кольца поршней должны быть изготовлены изъ мягкаго чугуна.

Поршневыя скалки должны быть кованныя изъ стали съ сопротивленіемъ не менѣе 55 килогр. на кв. мм. при удлиненіи не менѣе 18%.

Параллели должны быть кованныя или литыя изъ стали съ сопротивленіемъ не менѣе 60 килогр. на кв. мм. при удлиненіи не менѣе 10%. На концахъ параллелей должны быть поставлены риски, соотвѣтствующія крайнимъ положеніямъ поршня.

Крейцкопфъ—желѣзный штампованный или литой стали. Вкладыши крейцкопфа изготовляются изъ бронзы: 82 ч. красной мѣди, 10 ч. олова и 8 ч. цинка, или другого соотвѣтствующаго по качествамъ сплава.

Продувательные краны цилиндровъ не должны пропускать пара въ закрытомъ состояніи; приводъ ихъ долженъ дѣйствовать свободно съ малымъ усиліемъ на рукоятку.

Цилиндровыя и золотниковыя масленки должны дѣйствовать вполнѣ исправно, не пропуская пара въ соединеніяхъ и клапанахъ.

Цилиндры должны быть обложены деревомъ и обшиты желѣзомъ.

Дышла (шатуны) изготовляются изъ кованной стали, выдерживающей на разрывъ не менѣе 48 килогр. при удлиненіи не менѣе 20%.

Подшипники дышловые дѣлаются изъ бронзы состава: 82 ч. красной мѣди, 16 ч. олова и 2 ч. ципка, или другого соотвѣтствующаго по качествамъ сплава. Дышловыя пряжки, камни крейцкопфныхъ подшипниковъ, крейцкопфные клинья, сцѣпные валки, ихъ кольца и головки нажимныхъ болтовъ должны быть цементованы и закалены.

Всѣ тяги парораспредѣленія и золотниковыя рамы съ тягами изготовляются изъ хорошаго сварочнаго желѣза или мягкой стали; кулиссы и ихъ валъ—стальные литые или кованные.

НТБ ДНУЗТ

Примѣчаніе 1. При пароораспредѣленіи Джоя кулиссные камни и всѣ кольца пароораспредѣлительнаго механизма должны быть изъ твердой фосфористой бронзы, кромѣ колецъ золотниковыхъ тягъ, которыя дѣлаются изъ мягкой стали, цементованной и закаленной. Нулиссы, кулиссные валки и кулачки золотниковой тяги должны быть цементованы и закалены.

Примѣчаніе 2. Во всѣхъ случаяхъ, когда по настоящимъ условіямъ или по чертежамъ требуется цементація или закалка, части, подвергнутыя калкѣ, должны быть настолько тверды, чтобы шлифная пила не оставляла на нихъ царапинъ.

Всѣ части движущаго и пароораспредѣлительнаго механизма должны изготовляться съ особой тщательностью по калибрамъ и шаблонамъ.

Золотники должны быть тщательно вывѣрены, послѣ чего на золотниковой тягѣ и скалкѣ должны быть поставлены провѣрочные кернера на разстояніи 300 мм. одинъ отъ другого.

§ 8. ***Паровозная рама.*** Продольныя рамы должны быть изъ сварочнаго или литого желѣза, безъ наружнихъ пороковъ, вредящихъ ихъ прочности, причемъ допускается отступленіе противъ указанной на чертежѣ толщины ихъ до 1,5 мм. въ большую и 1 мм. въ меньшую сторону.

Пробные нормальные образцы, прямоугольные, шириною равною толщинѣ рамы и толщиною около 10 мм., или круглые, діаметромъ около 15 м., должны при испытаніи на разрывъ давать: для сварочнаго желѣза 32 кил. вдоль и 30 килогр. сопротивленія на кв. мм. поперекъ прокатки при удлиненіи не менѣе $8^0/_0$; и для литого желѣза: отъ 32 до 42 килогр. сопротивленія на кв. мм. при удлиненіи не менѣе $20^0/_0$; причемъ сумма цифръ сопротивленія и двойного удлиненія должна быть не менѣе 80, и, кромѣ того, пробная полоса съ отдѣланными кромками должна въ холодномъ состояніи изгибаться на 180^0 около стержня, діаметромъ, равнымъ ея толщинѣ, безъ трещинъ.

Испытанію на разрывъ подвергается одна изъ пяти предъявленныхъ къ пріемкѣ рамъ; если хотя одно испытаніе дастъ неудовлетворительные результаты, то переиспытанію подвергаются всѣ предъявленныя рамы.

Испытанію на изгибъ подвергаются всѣ рамы, причемъ пробныя полосы могутъ быть взяты изъ припусковъ или кусковъ, выдолбленныхъ при отдѣлкѣ рамъ.

Поперечныя и иныя (кромѣ продольныхъ) крѣпленія рамъ изготовляются изъ литого и сварочнаго желѣза или литыя изъ стали.

Продольныя рамы должны изготовляться по шаблонамъ, причемъ верхняя кромка рамъ должна быть отдѣлана подъ линейку. Во всѣхъ поперечныхъ скрѣпленіяхъ кромки угольниковъ, прилегающія къ продольнымъ рамамъ, должны быть отдѣланы на станкахъ съ соблюденіемъ возможно точнаго разстоянія между рамами. Всѣ дыры въ соединеніяхъ, какъ для болтовъ, такъ и для заклепокъ, должны быть точныя, пройденныя развертками, причемъ болты должны входить съ молотка и заклепки должны быть плотно высажены въ дырахъ.

Всѣ части тягового прибора и запасныя цѣпи должны быть изъ

НТБ ДНУЗТ

сварочнаго желѣза 1-го сорта или литого желѣза, дающаго при разрывѣ отъ 36 до 42 килогр. сопротивленія на кв. мм. при наименьшемъ удлиненіи 25%, причемъ сумма цифръ сопротивленія и двойного удлиненія должна быть не менѣе 90; кромѣ того, литое желѣзо, должно хорошо свариваться и не давать закалки. Собранный тяговый приборъ подвергается испытанію на растяженіе усиліемъ 12300 килогр. (750 пудовъ), причемъ онъ не долженъ обнаруживать остающагося измѣненія въ своихъ частяхъ.

§ 9. Бандажи, оси, колеса и скаты должны удовлетворять техническимъ условіямъ на поставку сихъ предметовъ (см. ниже технич. условія на бандажи, оси, колеса и скаты).

Подвѣсныя рессоры должны быть изготовлены изъ литой стали согласно съ чертежами, причемъ допускаются слѣдующія отступленія: а) въ длинѣ хорды рессоры (разстояніе между центрами ушковъ) не болѣе 0,5%, и б) въ высотѣ фабричной стрѣлы рессоры не болѣе 6 мм. Передъ сборкою вогнутыя поверхности рессоръ смазываются смѣсью сала съ масломъ и графитомъ. Всѣ рессоры подвергаются слѣдующимъ испытаніямъ на изгибъ: а) рессора съ заранѣе измѣренною стрѣлкою подвергается дѣйствію груза, вызывающаго напряженіе въ листахъ около 100 килгр. на кв. мм.; измѣренный по снятіи сей нагрузки остающійся прогибъ не долженъ быть болѣе 3% отъ величины прогиба рессоры подъ пробнымъ грузомъ, и б) рессора, дважды нагруженная послѣ перваго испытанія тѣмъ же грузомъ, не должна давать остающагося прогиба болѣе $^1/_2$ мм.

Хомуты кованные желѣзные или стальные литые должны быть натянуты настолько прочно, чтобы при ударахъ молотка вѣсомъ около 4 фунтовъ не замѣчалось сдвига ихъ по листамъ. На верхнемъ листѣ рессоры должна быть выбита заводская марка.

Подвѣсные рессорные стержни изготовляются изъ мягкаго сварочнаго или литого желѣза.

Упорные рессорные стержни и скобы ихъ, изготовляемые изъ желѣза или стали, должны быть цементованы и закалепы.

Буксы должны быть желѣзныя кованныя или стальныя литыя.

Буксовыя челюсти дѣлаются изъ твердой стали. Буксовые клинья, изготовляемые изъ литого желѣза или стали, должны быть цементованы и закалены.

Буксовые подшинники отливаются изъ бронзы состава: 82 ч. красной мѣди, 10 ч. олова, 8 ч. цинка, или изъ другого соотвѣтствующаго по качествамъ сплава. На внутренней поверхности подшипники имѣютъ углубленія, заливаемыя бабитомъ.

§ 10. *Будка.* Будка, изготовленная изъ листового желѣза, должна быть собрана изъ листовъ, хорошо выправленныхъ.

Площадка, изготовляемая изъ листовъ рифленаго желѣза, должна быть хорошо выправлена.

Перила должны имѣть точеныя или чисто откованныя колонки, прутья перилъ, равно какъ и штанги котла должны имѣть гладкую поверхность, хотя и могутъ ставиться безъ отдѣлки на станкахъ.

НТБ ДНУЗТ

Перила и штанги котла должны быть крашеныя.

На паровомъ колпакѣ и тендерѣ каждаго паровоза должны быть съ обѣихъ сторонъ поставлены нумерныя доски съ обозначеніемъ фирмы завода, заводскаго нумера и года постройки.

§ 11. *Тендеръ*. Тендеръ изготовляется по утвержденнымъ чертежамъ.

Качество матеріаловъ и сборка рамъ должны отвѣчать условіямъ, поставленнымъ для рамъ паровозовъ.

Колеса, оси, бандажи должны удовлетворять техническимъ условіямъ на ихъ поставку (см. ниже технич. условія на колеса, оси и бандажи).

Рессоры должны удовлетворять тѣмъ же условіямъ, какъ и рессоры для паровозовъ.

Закалка частей должна быть произведена въ тѣхъ случахъ, которые предусмотрѣны на утвержденныхъ чертежахъ.

Буксы и ихъ направляющія должны быть чугунныя или стальныя.

Подшипники буксовые—бронзовые состава: 82 ч. мѣди красной, 10 ч. олова и 8 ч. цинка, или другого соотвѣтствующаго по качеству сплава.

На внутренней поверхности подшипники имѣютъ углубленія, заливаемыя бабитомъ. Передъ заливкой бабита боковыя грани углубленій должны быть подчищены зубиломъ или другимъ способомъ, дабы предупредить образованіе по краямъ заливокъ прошлаковокъ.

Примѣчаніе. Замѣчанія относительно заливокъ бабита должны примѣняться и къ изготовленію подшипниковъ паровоза.

Всѣ части тормазного прибора должны быть тщательно урегулированы и настолько хорошо собраны, чтобы при оттормаживаніи всѣ колодки свободно отходили отъ колесъ.

Водяной бакъ изготовляется изъ литого или сварочнаго желѣза.

Въ мѣстахъ опоры бака на рамы должны быть проложены просмоленныя дубовыя прокладки, стыки внутренней деревянной обшивки бака—проконопачены и просмолены.

§ 12. *Окраска*. Наружняя и внутренняя поверхность котла, внутренняя поверхность тендернаго бака, обшивка котла должны быть покрыты сурикомъ: котелъ за три раза, тендерный бакъ и обшивка за два раза. Всѣ видныя неполированныя части паровоза и тендера, а также рамы и колеса должны быть окрашены въ указанный заблаговременно цвѣтъ. Окраска должна быть произведена на хорошей загрунтовкѣ за три раза и покрыта лакомъ за два раза.

§ 13. *Инструменты*. Заводъ обязуется поставить съ каждымъ паровозомъ нижеслѣдующіе инструменты и принадлежности:

1) Пику. 2) Рѣзакъ. 3) Скребокъ для золы. 4) Вилку для очистки шлака. 5) Трамбовку для заколачиванія пробокъ. 6) Угольную лопату. 7) Шлаковую лопату. 8) Щипцы для колосниковъ. 9) Прутъ для прочистки дымогарныхъ трубъ. 10) Прутъ для промывки котла. 11) Скребокъ для чистки накипи. 12) 12 желѣзныхъ

НТБ ДНУЗТ

пробокъ для дымогарныхъ трубъ. 13) 12 деревянныхъ пробокъ для дымогариыхъ трубъ. 14) 2 желѣзныхъ домкрата съ боковымъ движеніемъ, съ массивною колонкой и принадлежностями на 15 тоннъ подъемной силы каждый. 15) Топоръ съ топорищемъ. 16) Желѣзную кувалду въ 18 фунтовъ. 17) Ручной молотокъ въ 2,5 ф. 18) Мѣдный молотокъ въ 4,5 фунта. 19) Свинцовый молотокъ въ 8 фунтовъ. 20) Французскій ключъ (универсальный). 21) Наборъ гаечныхъ ключей. 22) 2 отжимки для крышекъ цилиндровъ. 23) Штоporъ для набивки сальниковъ. 24) Штоporъ для грундбуксы. 25) Два зубила плоскихъ. 36) 2 зубила острыхъ. 27) 1 бастардовый большой напильникъ. 28) 3 плоскихъ напильника. 29) 3 полукруглыхъ напильника. 30) 3 круглыхъ напильника. 31) 2 круглыхъ пробоя для шпилекъ. 32) Отвертку. 33) 2 боксовальныхъ лома. 34) Круглый ломикъ. 35) 1 бидонъ для масла въ 30 фунтовъ. 36) 1 бидонъ для масла въ 5 фунтовъ. 37) 1 смазочную масленку въ 2,5 фунта. 38) 1 спринцовку для масла. 39) 1 ведро для сала съ крышкою въ 25 фунт. 40) Кастрюлю для сала. 41) 2 желѣзныхъ ведра для воды. 42) 1 американскій фонарь. 43) 2 буферныхъ фонаря. 44) Футляръ съ сигнальными стеклами. 45) Фонари для манометра и водомѣрнаго стекла. 46) Ручной фонарь для машиниста. 47) Ламповую щетку. 48) Ножницы. 49) Ящикъ съ 3 водомѣрными стеклами. 50) 2 наконечника съ гайками къ пожарнымъ кранамъ. 51) Бранспойтъ съ пеньковымъ рукавомъ и резиновой прокладкою длиною въ 10 саженъ. 52) Наконечникъ съ гайкой къ водовыпускному крану. 53) Метлу. 54) Запасное винтовое сцѣпленіе со шкворнемъ для сцѣпленія паровоза съ тендеромъ. 55) Запасный винтовой приборъ для сцѣпленія тендера съ вагонами. 56) Веревку толщиною въ 50 мм. и длиною 15 метровъ. 57) Одинъ запасный комплектъ колосниковъ (цѣлая рѣшетка) на 10 паровозовъ, а также одинъ комплектъ на остатокъ отъ дѣленія числа заказываемыхъ паровозовъ на десять. 58) 6 висячихъ замковъ для ящиковъ тендера.

§ 14. *Матеріалы.* Пріемщикъ имѣетъ право потребовать отъ завода предъявленія документовъ пріобрѣтенія всѣхъ матеріаловъ, входящихъ въ постройку паровозовъ и тендеровъ.

§ 15. Модели всѣхъ чугунныхъ, бронзовыхъ и мелкихъ стальныхъ отливовъ паровозныхъ и тендерныхъ частей, за исключеніемъ патентованныхъ, а главнымъ образомъ и чертежи всѣхъ частей должны быть доставляемы безплатно въ количествѣ комплектовъ, опредѣленномъ въ договорѣ.

§ 16. *Испытаніе паровозовъ.* Для выясненія доброкачественности сборки, всѣ паровозы, до обшивки и окраски ихъ, должны быть подвергнуты провѣрочному испытанію съ очереднымъ поѣздомъ между ближайшими къ заводу станціями на пути протяженіемъ не менѣе 10 верстъ.

Кромѣ означенныхъ провѣрочныхъ испытаній, производимыхъ на путяхъ дороги, прилегающей къ заводу, каждый паровозъ

НТБ ДНУЗТ

подвергается окончательному испытанію, смотря по условіямъ договора, на дорогѣ, на которую паровозъ сей будетъ назначенъ, или на ближайшей къ заводу дорогѣ. Испытанія эти производятся на пути протяженіемъ не менѣе 50 верстъ въ присутствіи пріемщиковъ и уполномоченнаго завода, и о нихъ составляются надлежащіе акты.

При окончательныхъ испытаніяхъ паровозы должны удовлетворять условіямъ, соотвѣтствующимъ типу ихъ.

Пріемщику предоставляется право уменьшать составы пробныхъ поѣздовъ.

2. Оси *).

§ 1. Оси должны быть изготовлены изъ литой стали, по всей массѣ однородной, безъ вредныхъ для ихъ службы недостатковъ въ матеріалѣ, при чемъ оси должны быть прокованы или прессованы. Оси послѣ изготовленія ихъ должны быть надлежащимъ образомъ ограждены отъ быстраго и неравномѣрнаго охлажденія.

§ 2. Оси должны быть изготовлены согласно съ чертежами, причемъ для осей, изготовляемыхъ въ черномъ видѣ, допускаются слѣдующія отступленія: въ діаметрахъ средней ихъ части, не подлежащей обточкѣ, до 2 мм. болѣе и до 1 мм. менѣе заданныхъ, въ длинѣ осей до 10 мм. болѣе; въ діаметрахъ же частей, подлежащихъ обточкѣ, до 5 мм. болѣе противъ размѣровъ чертежа оси въ черномъ видѣ; для полуобточенныхъ осей, въ мѣстахъ неотдѣланныхъ, допускаются вышеуказанныя отступленія, въ остальныхъ же онѣ должны соотвѣтствовать чертежу. Вообще принимаются только такія осевыя болванки, изъ которыхъ возможно выточить ось по чертежу въ чистомъ видѣ безъ черновинъ на мѣстахъ обработки.

Примѣчаніе. На чертежахъ осей полуобточенныхъ и въ черномъ видѣ должны быть показаны размѣры ихъ въ чистомъ видѣ.

§ 3. Оси вагонныя и тендерныя, удовлетворяющія условіямъ наружняго осмотра и обмѣра, испытываются на разрывъ въ количествѣ двухъ (2) процентовъ, предъявленной къ пріемкѣ партіи (см. § 4). Вагонныя оси, кромѣ испытанія на разрывъ, подвергаются въ количествѣ половины процента (0,5%), но не менѣе одной оси, ударной пробѣ (см. § 5). По взаимному соглашенію часть образцовъ для испытанія на разрывъ вагонныхъ осей, соотвѣтствующая 0,5%, можетъ быть взята изъ концовъ осей, испытанныхъ раньше ударной пробой.

Если при испытаніи вагонныхъ и тендерныхъ осей получится неудовлетворительный результатъ, то переиспытывается изъ каждой плавки одна ось; всѣ оси плавки, которая дала неудовлетворительное испытаніе, бракуются.

Паровозныя оси, удовлетворяющія условіямъ наружняго осмотра и обмѣра, предъявляются къ испытанію каждая съ прибылью, изъ

*) Измѣнено согласно Приказа М. П. С. отъ 4 іюня 1900 г. за № 84.

НТБ ДНУЗТ

каковой вытачивается брусокъ установленной длины для испытанія на разрывъ. При предъявленіи паровозныхъ осей въ количествѣ четырехъ штукъ или менѣе, каждая изъ нихъ подвергается испытанію на разрывъ; при предъявленіи больше четырехъ штукъ осей, на каждыя четыре оси или менѣе, сверхъ первыхъ четырехъ, испытывается одна ось.

Если при испытаніи паровозныхъ осей, предъявленныхъ въ количествѣ 4 или менѣе осей, получится неудовлетворительный результатъ, то соотвѣтственная ось бракуется.

Если же неудовлетворительный результатъ испытанія будетъ относиться къ оси, выбранной изъ группы въ 4 оси, то изъ представляемой ею группы въ 4 оси берется для переиспытанія еще одна ось, и, въ случаѣ неудовлетворительнаго результата такого переиспытанія, бракуется вся группа четырехъ осей.

§ 4. Для испытанія на разрывъ изъ куска тендерной или вагонной оси и изъ прибыльной части паровозной оси вырѣзается, въ холодномъ состояніи, нормальный круглый образецъ установленной длины, діаметромъ въ 20 мм., причемъ въ діаметрѣ образца допускаются отступленія отъ указаннаго размѣра до $^1/_2$ мм. въ ту или другую сторону. Указанный образецъ при испытаніи на разрывъ долженъ давать отъ 50 до 60 кил. на кв. мм. сопротивленія и не менѣе 15% удлиненія, причемъ сумма цифръ сопротивленія и удвоеннаго удлиненія должна быть не менѣе 90.

Примѣчаніе. Если испытываемый образецъ покажетъ временное сопротивленіе разрыву свыше 60 клгр. на кв. мм., то ось подлежитъ пріемкѣ лишь въ томъ случаѣ, когда избытку временнаго сопротивленія, сверхъ 60 клгр. на кв. мм., будетъ отвѣчать на каждый килограммъ сопротивленія избытокъ удлиненія не менѣе $1^1/_2$%, сверхъ 15% требуемаго удлиненія.

§ 5. При ударной пробѣ вагонныхъ осей, таковыя помѣщаются на двѣ неупругія подставки, расположенныя одна отъ другой на 4 фута, и, будучи послѣ каждаго удара поворачиваемы въ обратную сторону, онѣ должны выдерживать безъ всякихъ признаковъ поврежденія 5 ударовъ бабы вѣсомъ 30 пудовъ, падающей съ высоты 15 футъ.

Примѣчаніе. Коперъ, бабы и опоры для ударной пробы осей должны быть устроены по чертежамъ, утвержденнымъ Министерствомъ Путей Сообщенія. Чугунная опора для означенной пробы должна быть вѣсомъ не менѣе 750 пуд. и установлена на прочномъ фундаментѣ, заложенномъ въ глубинѣ не менѣе 0,66 саж.

§ 6. Заводъ при предъявленіи осей къ пріемкѣ долженъ представлять засвидѣтельствованную заводской администраціей вѣдомость ихъ по плавкамъ и результаты химическаго анализа послѣднихъ, причемъ содержаніе фосфора не должно превышать 0,15%.

При заказѣ вагонныхъ и тендерныхъ осей менѣе пятидесяти штукъ, онѣ включаются для пріемки и испытанія въ общую партію съ осями по другимъ заказамъ. Въ случаѣ же невозможности сдѣлать это, заказъ увеличивается на одну ось, и изъ всей партіи заказа выбирается одна ось, которая и подвергается испытанію.

§ 7. Въ мѣстахъ центровъ чисто и грубо обточенныхъ осей

НТБ ДНУЗТ

должны быть высверлены цилиндрическія отверстія глубиною до 20 мм. и діаметромъ въ 6 мм.; края ихъ растачиваются на конусъ.

§ 8. На осяхъ должны быть выбиты, пока металлъ въ горячемъ состояніи: марка завода, время изготовленія, заводскій номеръ оси и номеръ плавки.

§ 9. Оси, удовлетворяющія вышеозначеннымъ условіямъ, принимаются по дѣйствительному вѣсу ихъ.

Въ случаѣ, если оси откованы съ напусками, превосходящими допускаемые § 2 сихъ условій предѣлы, то онѣ должны быть приняты, съ неоплатой за излишній вѣсъ противъ нормальнаго, опредѣляемаго вышеуказанными допусками.

§ 10. Заводъ гарантируетъ удовлетворительную службу осей въ теченіе 5 лѣтъ, считая этотъ срокъ гарантіи съ 1-го января, наступающаго послѣ дня пріемки осей на заводѣ.

Всѣ оси, лопнувшія или сломавшіяся въ теченіе вышеуказаннаго срока гарантіи, за исключеніемъ осей, поврежденныхъ при столкновеніи поѣздовъ, сходѣ съ рельсовъ и другихъ тому подобныхъ случаяхъ, замѣняются заводомъ безплатно штука за штуку. Изъятіе изъ службы осей, подлежащихъ замѣнѣ на основаніи условій гарантій, должно быть удостовѣрено актами за подписью начальниковъ мастерскихъ или депо.

Поврежденныя оси должны быть замѣнены новыми не позже четырехъ мѣсяцевъ со дня полученія о томъ письменнаго извѣщенія съ доставкою на дорогу за счетъ завода. Если въ указанный срокъ оси не будутъ доставлены на дорогу, то онѣ заказываются за счетъ завода. Пришедшія въ негодность оси хранятся въ теченіе 4-хъ мѣсяцевъ со дня извѣщенія о томъ заводу, а затѣмъ, если отъ завода не послѣдовало никакого распоряженія объ этихъ осяхъ, то онѣ продаются и вырученная сумма, за вычетомъ расходовъ по продажѣ и храненію сверхъ четырехъ мѣсяцевъ, выдается заводу.

3. Шины.

§ 1. Шины должны быть изготовлены изъ литой стали однороднаго мелкозернистаго сложенія, прокаткой цѣльной штуки безъ всякой сварки, и не имѣть видимыхъ недостатковъ въ матеріалѣ, вредныхъ для ихъ службы.

Шины послѣ прокатки должны быть надлежащимъ образомъ ограждены отъ быстраго и неравномѣрнаго охлажденія.

§ 2. Размѣры отдѣльныхъ шинъ должны соотвѣтствовать чертежамъ (въ черномъ видѣ) съ точностью во внутреннемъ діаметрѣ до 2 мм. меньше и до 1,5 мм. больше заданнаго—для шинъ діаметромъ по кругу катанія до 1,250 мм.; до 3 мм. меньше и 2 мм. больше заданнаго—для шинъ наружняго діаметра болѣе 1,250 мм.; въ толщинѣ до 2 мм. въ обѣ стороны и въ ширинѣ до 2 мм. болѣе и 1 мм. менѣе заданныхъ. Боковыя поверхности шинъ должны быть параллельны между собою и перпендикулярны къ оси. Вооб-

НТБ ДНУЗТ

ще принимаются только такія шины, изъ коихъ можно выточить шину по чертежу въ чистомъ видѣ.

§ 3. Шины, удовлетворяющія условіямъ наружняго осмотра и обмѣра, испытываются въ количествѣ одного процента ($1^0/_0$) отъ предъявленной къ пріемкѣ партіи на разрывъ и ударъ бабой.

Проба на разрывъ. Изъ каждой пробной шины выдѣлывается по одному нормальному образцу діаметромъ около 20 мм.; бруски для нихъ вырѣзываются въ холодномъ состояніи изъ куска шинъ, выправленнаго подъ молотомъ при нагрѣваніи не свыше темно-краснаго каленія.

При испытаніи на разрывъ пробные образцы должны давать сопротивленіе не менѣе 65 клгр. на кв. мм. для вагонныхъ шинъ и 70 клгр. на кв. мм. для паровозныхъ и тендерныхъ шинъ, причемъ сумма цифръ сопротивленія и удвоеннаго удлиненія должна быть не менѣе 90, при наименьшемъ удлиненіи $8^0/_0$.

Проба на ударъ бабой. Приспособленіе (коперъ) для испытанія бандажей, наковальня и фундаментъ ея должны быть устроены согласно требованіямъ, изложеннымъ въ циркулярѣ относительно устройства аналогичнаго приспособленія для испытанія рельсовъ.

Ударная поверхность бабы должна быть закруглена по дугѣ круга, описанной радіусомъ не менѣе 150 мм

Прокладка, по которой ударяется бабой, должна быть ограничена сверху плоскою поверхностью, а профиль нижняго очертанія должна соотвѣтствовать поперечной профили шинъ. Прокладка эта должна быть по возможности не тяжелѣе 20 кил

Приспособленіе для опусканія бабы должно быть устроено такъ, чтобы оно не препятствовало свободному паденію бабы и предохраняло отъ случайнаго ея паденія: рекомендуется устройство прибора, показанное на чертежѣ, приложенномъ къ „Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens“ за 1892 г., листъ XXV

Для испытанія шинъ подставка должна имѣть очертаніе по кривой, описанной радіусомъ въ 150 мм. Необходимо озаботиться, чтобы опорная поверхность для испытуемыхъ шинъ была приспособлена къ удержанію ихъ на мѣстѣ.

Пробныя шины, при толщинѣ ихъ въ 65 мм., подвергаются 3-мъ ударамъ бабы вѣсомъ 30 пудовъ, развивающимъ работу въ 420 пудо-футовъ; при этомъ, послѣ 3-го удара шина не должна показывать признаковъ разрушенія; при большей или меньшей толщинѣ шины высота удара должна быть соотвѣтственно увеличена и уменьшена въ размѣрѣ 0,1 фута на каждый миллиметръ излишней или меньшей толщины.

Заводъ при предъявленіи шинъ для испытанія даетъ вѣдомость ихъ по плавкамъ.

Если при испытаніи партіи шинъ получится неудовлетворительный результатъ, то переиспытывается изъ каждой плавки одна шина; если и при такомъ повторительномъ испытаніи получатся

НТБ ДНУЗТ

неудовлетворительные результаты, то всѣ шины изъ плавки, которая дала неудовлетворительное переиспытаніе, бракуются.

§ 4. На каждой шинѣ, на плоской ея грани, со стороны противоположной гребню, должны быть выбиты: марка завода, время изготовленія и заводскій нумеръ шины; буквы и цифры эти, высотою 10 мм. и глубиною 4 мм., выбиваются приблизительно на разстояніи 15 мм. отъ внутренней окружности шины.

§ 5. Шины, удовлетворяющія вышеозначеннымъ условіямъ, принимаются по дѣйствительному ихъ вѣсу.

Въ случаѣ, если шины прокатаны съ напусками, превосходящими допускаемые § 2 условій предѣлы, то онѣ должны быть приняты съ неоплатой за лишній вѣсъ противъ нормальнаго, опредѣляемаго вышеуказанными допусками.

§ 6. При заказѣ менѣе 50 шинъ, онѣ включаются для пріемки и испытанія въ общую партію съ шинами по другимъ заказамъ; въ случаѣ же невозможности сдѣлать это, заказъ увеличивается на одну шину, и изъ всей партіи заказа выбирается одна шина, которая и подвергается испытанію.

§ 7. Заводъ гарантируетъ удовлетворительную службу шинъ въ теченіе слѣдующихъ сроковъ, начиная съ 1-го января слѣдующаго за поставкой года: шины паровозныя и тендерныя—въ теченіе 2-хъ лѣтъ и вагонныя шины – въ теченіе трехъ лѣтъ.

Означенный срокъ гарантіи паровозныхъ шинъ обязателенъ лишь при условіи, что дороги-потребительницы не будутъ допускать выбоинъ болѣе 7 мм. Всѣ шины, лопнувшія или сломавшіяся въ теченіе срока гарантіи, за исключеніемъ шинъ, поврежденныхъ при столкновеніи поѣздовъ, сходахъ съ рельсъ и другихъ тому подобныхъ случаяхъ, замѣняются заводомъ новыми штука за штуку.

Шины, изъятыя изъ службы раньше истеченія срока гарантіи вслѣдствіе износа ихъ, замѣняются заводомъ новыми въ количествѣ, пропорціональномъ недослуженнымъ изношенными шинами срокамъ, такъ, чтобы количество прежде доставленныхъ и не выдержавшихъ гарантій шинъ со вновь доставленными прослужило установленный срокъ, причемъ дроби 0,5 и болѣе считаются за единицу, а менѣе 0,5 отбрасываются.

Изъятіе изъ службы шинъ, подлежащихъ замѣнѣ на основаніи условій гарантіи, должно быть удостовѣрено актами за подписью начальниковъ мастерскихъ или депо.

Поврежденныя шины должны быть замѣнены новыми не позже четырехъ мѣсяцевъ со дня полученія о томъ письменнаго извѣщенія, съ доставкою на дорогу за счетъ завода. Если въ указанный срокъ шины не будутъ доставлены на дорогу, то онѣ заказываются на счетъ завода.

Пришедшія въ негодность шины въ количествѣ, равнымъ числу доставленныхъ заводомъ новыхъ, хранятся на дорогѣ безплатно въ теченіе четырехъ мѣсяцевъ со дня извѣщенія о томъ завода,

НТБ ДНУЗТ

и затѣмъ, если отъ завода не послѣдовало никакого распоряженія объ этихъ шинахъ, онѣ продаются дорогой и вырученная сумма, за вычетомъ расходовъ по продажѣ и храненію сверхъ четырехъ мѣсяцевъ, выдается заводу. Остальныя же пришедшія въ негодность шины (т.-е. разность между общимъ числомъ пришедшихъ въ негодность шинъ и числомъ ихъ, подлежащихъ возврату заводу) поступаютъ въ собственность дороги *).

4. Желѣзныя и стальныя колеса.

§ 1. Колеса могутъ быть кованыя изъ сварочнаго или литого желѣза, или стальныя литыя.

§ 2. Размѣры колеса должны соотвѣтствовать чертежамъ, причемъ въ частяхъ, не подлежащихъ обработкѣ (внутр. поверх. обода, спицы, наружній діаметръ ступицы и пр.), допускается отступленіе въ сторону уменьшенія ихъ до 5% и въ сторону увеличенія до 10%; въ отдѣланныхъ же частяхъ допускается въ обѣ стороны: по наружнему діаметру обода—1 мм., по ширинѣ его—0,5 мм., во внутреннемъ діаметрѣ ступицы—0,5 мм., и по ширинѣ ея—1 мм.

§ 3. Кованныя колеса могутъ быть сдѣланы изъ сварочнаго или литого желѣза; они должны быть хорошо прокованы и настолько тщательно проварены, чтобы на мѣстахъ сварки не было видимыхъ недостатковъ, вредящихъ прочности колеса.

§ 4. Литыя колеса должны быть отлиты изъ мягкой однородной стали безъ видныхъ пороковъ, вредящихъ ихъ прочности, и послѣ снятія формъ отожжены.

§ 5 **). Колеса въ количествѣ 1% отъ предъявленной къ пріемкѣ партіи подвергаются слѣдующимъ пробамъ.

а) Проба на ударъ. Колесо вчернѣ или, по усмотрѣнію завода, въ обточенномъ видѣ, устанавливается въ вертикальномъ положеніи на опорѣ, устроенной согласно циркуляра Технически-Инспекторскаго Комитета отъ 30 марта 1878 г. за № 4201, и по нему производятся удары бабой, вѣсомъ въ 30 пудовъ, падающей съ высоты 3,5 футовъ для вагонныхъ и 5 футовъ для паровозныхъ и тендерныхъ колесъ, безъ употребленія прокладокъ между бабой и ободомъ колеса. Дисковыя колеса подвергаются всего двумъ ударамъ, спицевыя же двумъ ударамъ вдоль спицъ и двумъ ударамъ между спицъ.

Колесо считается выдержавшимъ пробу, если на немъ, хотя бы оно изогнулось, не проявилось трещинъ и признаковъ излома.

Примѣчаніе. Если тендерныя колеса имѣютъ размѣры вагонныхъ, то испытываются какъ эти послѣднія.

б) Проба на раздачу ступицы.

---

*) Приказъ М. П. С. отъ 20-го марта 1898 г.
**) Приказъ М. П. С. отъ 27-го января 1901 года, за № 18.

НТБ ДНУЗТ

На стержень, проходящій въ центрѣ секторовъ, производятся удары бабой до момента увеличенія діаметра ступицы на 3% противъ первоначальнаго, причемъ на ступицѣ не должно проявляться трещинъ. Эта проба обязательна какъ для стальныхъ, такъ и для желѣзныхъ колесъ.

Въ случаѣ неудовлетворительныхъ результатовъ, количество испытаній удваивается; партія колесъ, давшая неудовлетворительное переиспытаніе, бракуется. При заказѣ менѣе 50 колесъ они включаются для пріемки и испытанія въ общую партію съ колесами по другимъ заказамъ; въ случаѣ же невозможности сдѣлать это заказъ увеличивается на одно колесо и, выбранное изъ всей партіи заказа, колесо подвергается испытанію.

§ 6. На ступицѣ каждаго колеса, съ наружней стороны, должны быть выбиты: марка завода, время изготовленія и заводскій нумеръ колеса.

§ 7. Колеса, удовлетворяющія вышеозначеннымъ условіямъ, принимаются по дѣйствительному ихъ вѣсу.

§ 8. Заводъ гарантируетъ удовлетворительную службу колесъ въ теченіе шести лѣтъ съ 1 января слѣдующаго за поставкой года. Всѣ колеса, пришедшія въ теченіе срока гарантіи въ негодность по неудовлетворительности матеріала или работы, замѣняются заводомъ новыми безплатно штука за штуку, за исключеніемъ колесъ, поврежденныхъ при столкновеніи поѣздовъ, сходѣ съ рельсъ и другихъ тому подобныхъ случаяхъ.

Причина изъятія изъ службы колесъ, подлежащихъ замѣнѣ на основаніи условій гарантіи, должна быть удостовѣрена актами за подписью начальниковъ мастерскихъ или депо.

Поврежденныя колеса должны быть замѣнены новыми не позже четырехъ мѣсяцевъ со дня полученія о томъ письменнаго извѣщенія, съ доставкою на дорогу за счетъ завода. Если въ указанный срокъ колеса не будутъ доставлены на дорогу, то они заказываются за счетъ завода.

Пришедшія въ негодность колеса хранятся на дорогѣ безплатно въ теченіе 4-хъ мѣсяцевъ со дня извѣщенія о томъ завода, а затѣмъ, если отъ завода не послѣдовало никакого распоряженія объ этихъ колесахъ, они продаются дорогой, и вырученная сумма, за вычетомъ расходовъ по продажѣ и храненію сверхъ 4-хъ мѣсяцевъ, возвращается заводу.

5. Колесные скаты.

§ 1. Скаты должны быть изготовлены согласно съ чертежами; входящія въ составъ ихъ колеса, оси и шины должны удовлетворять техническимъ условіямъ на поставку означенныхъ предметовъ, для чего они испытываются до сборки скатовъ.

§ 2. Надѣваніе шинъ на колеса паровозныя, тендерныя и всякія литыя производится до насадки колесъ на оси; надѣваніе шинъ

НТБ ДНУЗТ

на вагонныя кованыя колеса производится послѣ насадки колесъ на оси.

Помѣщеніе какихъ-либо прокладокъ между ободомъ и насаженною на него шиною не допускается.

§ 3. Насадка колесъ на оси производится подъ давленіемъ отъ 85 до 120 тоннъ для паровозныхъ и тендерныхъ колесъ, отъ 50 до 80 тоннъ для вагонныхъ колесъ при насадкѣ на ось колеса съ шиной, и отъ 40 до 70 тоннъ при насадкѣ колеса на ось до надѣванія шины на колесо. Давленія эти опредѣляются по діаграммамъ индикаторнаго прибора; на индикаторныхъ діаграммахъ отмѣчается только наибольшее давленіе, полученное до момента упиранія буртика оси въ ступицу колеса.

Примѣчаніе. Соприкасающіяся поверхности ступицы должны быть гладко обточены мелкой стружкою.

§ 4. Надѣваніе шинъ на колеса должно производиться при помощи нагрѣва ихъ въ горячемъ воздухѣ безъ доступа продуктовъ горѣнія, въ мазутѣ, маслѣ, газовымъ пламенемъ *) или инымъ способомъ, если таковой способъ будетъ разрѣшенъ Министромъ Путей Сообщенія, дающимъ равномѣрный нагрѣвъ шины; разность въ діаметрахъ шины и обода, опредѣляющая натягъ шины, должна заключаться въ предѣлахъ 0,75 – 1 мм. на одинъ метръ діаметра.

§ 5. Шины послѣ сборки скатовъ обтачиваются согласно чертежа.

§ 6. Заводъ гарантируетъ удовлетворительную службу частей, входящихъ въ составъ скатовъ (шины, оси и колеса), согласно указаній, изложенныхъ въ техническихъ условіяхъ на поставку сихъ частей.

6. Кривошипы.

§ 1. Размѣры пальцевъ кривошиповъ, а равно и расположеніе ихъ на колесахъ должны соотвѣтствовать чертежу.

§ 2. Пальцы кривошиповъ должны быть изготовлены изъ литой, хорошо прокатанной или прокованной стали и до обточки отожжены.

§ 3. Матеріалъ пальцевъ при испытаніи на разрывъ пробнаго образца діаметромъ около 20 мм. долженъ давать не менѣе 60 килограммовъ на кв. мм. сопротивленія при удлиненіи не менѣе 12%. Причемъ сумма цифръ сопротивленія и удвоеннаго удлиненія должна быть не менѣе 85.

§ 4. Насадка пальцевъ должна производиться подъ давленіемъ отъ 30 до 50 тоннъ для сцѣпныхъ пальцевъ и отъ 50 до 80 тоннъ для ведущихъ (поршневыхъ) пальцевъ.

---

*) Циркуляръ отъ 1-го ноября 1897 г.

НТБ ДНУЗТ

7. Желѣзныя дымогарныя трубы.

§ 1. Трубы должны быть тяпутыя, изготовленныя свариваніемъ изъ одной полосы мягкаго сварочнаго или литого желѣза *).

§ 2. Трубы должны быть прямыя и на поверхностяхъ ихъ не должно быть пороковъ, вредныхъ для ихъ службы.

§ 3. Размѣры трубъ должны согласоваться съ размѣрами, указанными на чертежѣ или въ заказѣ, причемъ отступленія въ сихъ размѣрахъ не должны превосходить слѣдующихъ предѣловъ:

а) длина трубъ можетъ быть на 3 мм. болѣе или менѣе обозначенной въ заказѣ **);

б) наружній діаметръ трубъ можетъ быть на 1% болѣе или менѣе обозначеннаго въ заказѣ;

в) толщина стѣнокъ можетъ быть до 10% болѣе и до 5% менѣе заданной.

§ 4. Толщина стѣнокъ трубъ провѣряется поштучнымъ взвѣшиваніемъ 10% предъявленныхъ къ пріемкѣ трубъ и сравненіемъ полученнаго вѣса съ ихъ нормальнымъ вѣсомъ.

Если пять или болѣе процентовъ взвѣшенныхъ трубъ окажутся слишкомъ легковѣсными или тяжеловѣсными, то провѣряется еще 20% предъявленныхъ къ пріемкѣ трубъ; въ случаѣ же неудовлетворительныхъ результатовъ второй провѣрки, взвѣшиваются поштучно всѣ трубы.

Нормальный вѣсъ трубъ обозначенъ въ прилагаемой таблицѣ; въ частныхъ же случаяхъ онъ опредѣляется по удѣльному вѣсу металла ихъ.

Наружн. діам. трубокъ и ихъ толщина въ мм.		45×2½	45.×3	46×3	47×2½	48×2½	48×4
Вѣсъ въ фун.	на метръ.	6.354	7.557	7.713	6.641	6.790	10.455
	на футъ	1.938	2.305	2.352	2.026	2.071	3.189
Наружн. діам. трубокъ и ихъ толщина въ мм.		50×2½	50×3	51×2½	51×2¾	51×3	51×4
Вѣсъ въ фун.	на метръ.	7.163	8.506	7.314	7.920	8.667	11.222
	на футъ	2.179	2.587	2.225	2.416	2.638	3.423

Наружн. діам. трубокъ и ихъ толщина въ мм.		53×3	54×2½	54×3	58×3	61×3	90×3½
Вѣсъ въ фун.	на метръ.	8.954	7.685	9.133	9.848	10.386	18.071
	на футъ .	2.731	2.344	2.786	3.001	3.168	5.512

Примѣчаніе. При предъявленіи къ пріемкѣ трубъ съ мѣдными наконечниками опредѣляется нормальный вѣсъ послѣднихъ и соотвѣтственно вычитается изъ общаго вѣса трубъ съ наконечниками.

*) Исправлено согласно приказа М. П. С. отъ 6 ноября 1897 г., за № 155.
**) Исправлено согласно приказа М. П. С. отъ 10 января 1899 г., за № 4.

НТБ ДНУЗТ

§ 5. Всѣ трубы, оказавшіяся по наружнему осмотру и размѣрамъ удовлетворительными, испытываются, послѣ напайки мѣдныхъ наконечниковъ или безъ оныхъ, гидравлическимъ прессомъ и при внутреннемъ давленіи въ 30 атмосферъ не должны оказывать течи.

§ 6. Опробованныя такимъ образомъ трубы раздѣляются на отдѣльныя партіи по 200 шт., и изъ каждой такой партіи 2 трубы подвергаются слѣдующимъ испытаніямъ:

1) Въ холодномъ состояніи:

а) на раздаваніе по діаметру,

б) на осаживаніе по діаметру,

в) на образованіе фланца изъ конца трубы.

Примѣчаніе. Каждая пробная труба подвергается всѣмъ тремъ испытаніямъ въ холодномъ состояніи, причемъ двумъ первымъ подвергаются концы трубъ (безъ мѣдныхъ наконечниковъ), а третье испытаніе производится надъ обрѣзкомъ трубы длиною 150—300 мм. Испытанія эти производятся въ теплыхъ помѣщеніяхъ, и если трубы лежали на морозѣ, то, въ случаѣ желанія завода, всѣ онѣ предварительно испытаній могутъ быть отожжены.

2) въ горячемъ состояніи:

а) на сплющиваніе части трубы,

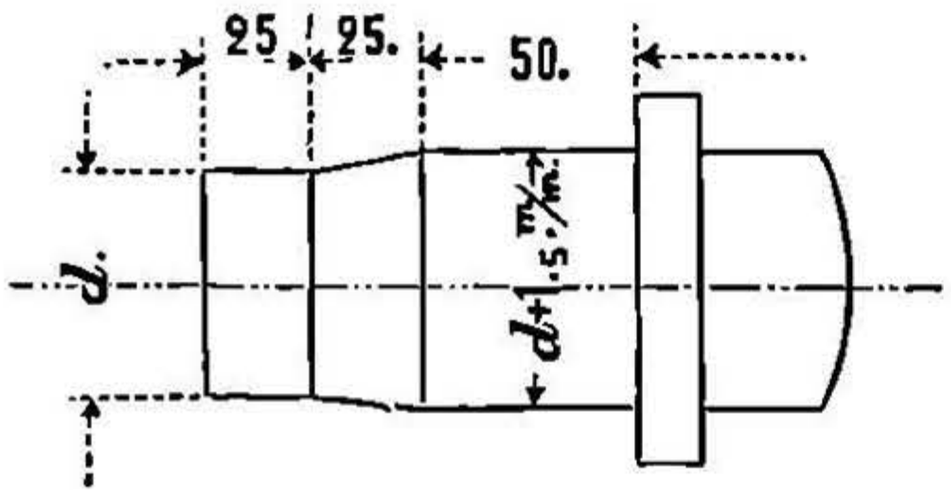
б) на сварку концовъ трубъ.

Примѣчаніе. Испытаніямъ въ горячемъ состояніи подвергается, по возможности, каждая пробная труба и, во всякомъ случаѣ, не менѣе половины ихъ.

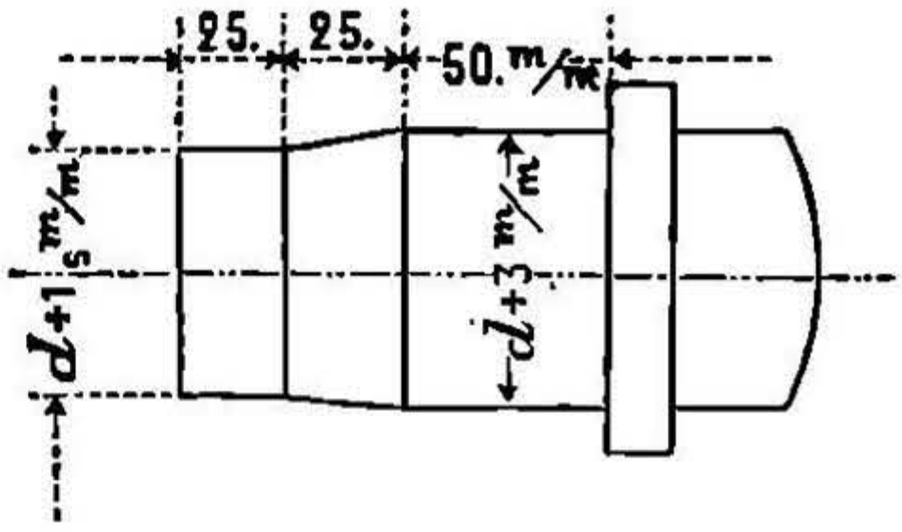
Остатокъ, полученный при раздѣленіи трубъ на партіи въ 200 штукъ, считается за особую партію.

§ 7. Раздаваніе по діаметру трубъ производится послѣдовательнымъ вколачиваніемъ двухъ оправокъ (черт. 838 и 839) до увеличенія его на 6% безъ поврежденій металла трубы.

Черт. 838.

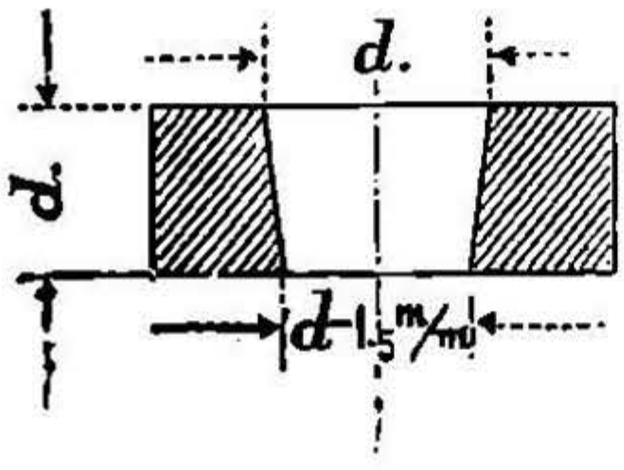


Черт. 839.

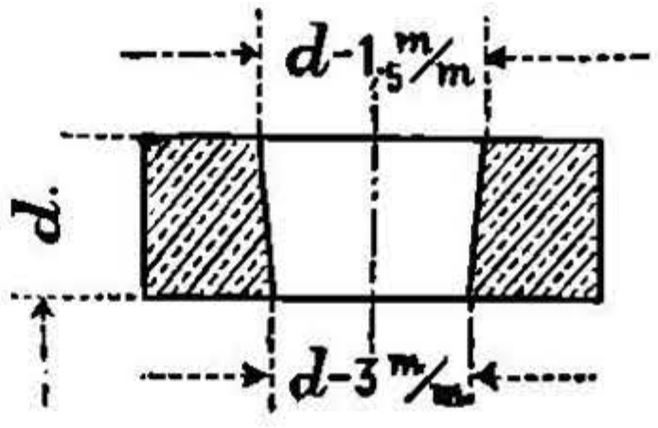


§ 8. Осаживаніе по діаметру трубы производится послѣдовательной нагонкой двухъ обжимочныхъ колецъ (черт. 840 и 841) до уменьшенія его на 6% безъ поврежденій металла трубы.

Черт. 840.



Черт. 841.



НТБ ДНУЗТ

§ 9. Конецъ трубы, образованный въ видѣ фланца послѣдовательнымъ отгибомъ съ одновременною расклепкою не на вѣсу, а на слегка скругленномъ ребрѣ наковальни, постепенными легкими ударами ручника, вѣсомъ не болѣе 1,5 фунта, при ширинѣ фланца отъ 8 до 10 мм., не долженъ давать трещинъ и разрывовъ.

§ 10. Отрѣзокъ трубы длиною около 200 мм. долженъ при темно-красномъ каленіи сплющиваться вплотную при легкой ковкѣ, безъ трещинъ и разрывовъ.

§ 11. Двѣ трубы, сваренныя при свѣтло-красномъ каленіи, должны выдерживать гидравлическое давленіе въ 30 атмосферъ безъ признаковъ течи въ мѣстахъ сварки.

§ 12. Если $^1/_5$ или болѣе испытаній дадутъ неудовлетворительные результаты, то переиспытанію всѣхъ родовъ подвергаются еще двѣ трубы изъ испытуемой партіи; если же менѣе $^1/_5$, то переиспытанію подвергается только одна труба изъ испытуемой партіи, причемъ производятся только тѣ испытанія, кои дали первоначально неудовлетворительные результаты.

Если при переиспытаніи получится хоть одинъ неудовлетворительный результатъ, то вся соотвѣтствующая партія бракуется.

§ 13. Если трубы заказываются съ мѣдными наконечниками, то послѣдніе должны быть взяты отъ трубъ, изготовленныхъ согласно техническихъ условій на ихъ поставку; припайка наконечниковъ должна быть выполнена согласно чертежа и настолько тщательно, чтобы при сплющиваніи спаеннаго мѣста желѣзо отъ мѣди не отдѣлялось, причемъ этому испытанію подвергается по возможности каждая пробная (§ 6) труба и, во всякомъ случаѣ не менѣе половины ихъ.

8. Трубы красной мѣди, предназначаемыя для наконечниковъ къ дымогарнымъ трубамъ.

§ 1. Трубы красной мѣди, предназначаемыя для наконечниковъ, должны быть изготовлены цѣльнотянутыя, не паянныя.

§ 2. По наружнему виду трубы должны быть, по возможности, прямыя, круглыя и чистыя, безъ недостатковъ, вредныхъ для ихъ службы.

§ 3. Размѣры трубъ должны согласоваться съ размѣрами, назначенными въ заказѣ или на чертежѣ, приложенномъ къ заказу; причемъ допускаются слѣдующія отступленія: а) наружній діаметръ можетъ быть болѣе или менѣе заданнаго на 0,25 мм.; б) длина трубъ можетъ быть болѣе или менѣе назначенной на 2 мм., при заказѣ ихъ въ видѣ нарѣзанныхъ наконечниковъ, и до 10 мм., если трубы заказываются въ неразрѣзанномъ видѣ, и в) толщина стѣнокъ по всей окружности трубъ должна быть одинакова съ точностью до 0,25 мм.

§ 4. Трубы, удовлетворяющія требованіямъ наружняго осмотра, подвергаются внутреннему гидравлическому давленію въ 30 атмосферъ, причемъ не должны оказывать ни малѣйшей течи.

НТБ ДНУЗТ

§ 5. Опробованныя такимъ образомъ трубы раздѣляются на партіи по 100 шт., изъ каждой партіи одна труба, по выбору пріемщика, подвергается слѣдующимъ кузнечнымъ испытаніямъ.

Послѣ отпуска конецъ трубы въ холодномъ состояніи долженъ выдержать: а) увеличеніе діаметра на 16% на разстояніи до 40 мм. отъ конца, увеличеніе производится вколачиваніемъ конической оправки въ трубу; б) уменьшеніе діаметра на 8% на разстояніи до 40 мм. отъ конца, уменьшеніе производится вколачиваніемъ трубы въ обжимное кольцо конической формы; в) образованіе фланца шириною отъ 14 до 20 мм.; г) сплющиваніе до полнаго прикосновенія внутреннихъ поверхностей трубъ; при всѣхъ этихъ испытаніяхъ на образцахъ не должно обнаруживаться трещинъ.

Въ случаѣ полученія неудовлетворительнаго результата испытаній, соотвѣтствующая партія раздѣляется на двѣ части по 50 штукъ, и изъ каждой части одна труба подвергается переиспытаніямъ тѣхъ родовъ, коимъ первоначально трубы не удовлетворили; часть партіи, давшая неудовлетворительное переиспытаніе, бракуется.

§ 6. За наконечники, удовлетворяющіе вышеуказаннымъ условіямъ, уплата производится по дѣйствительному вѣсу ихъ.

§ 7. При заказѣ наконечниковъ для дымогарныхъ трубъ, таковые нарѣзываются изъ трубъ, предварительно принятыхъ на основаніи сихъ техническихъ условій.

9. Дюймовыя трубы и соединительныя къ нимъ части для воздушныхъ тормазовъ *).

1) Трубы должны быть тянутыя, изготовленныя свариваніемъ изъ хорошо сваривающагося сварочнаго или литого желѣза.

2) Размѣры трубъ должны соотвѣтствовать по длинѣ предписаннымъ мѣрамъ, имѣть наружній діаметръ 33 мм., внутренній 25 мм., причемъ допускаются слѣдующія отступленія:

а) внутренній діаметръ трубы можетъ быть больше или меньше на $^1/_2$ мм., причемъ измѣреніе производится по концамъ трубы;

б) наружній діаметръ по всей длинѣ между нарѣзками можетъ быть больше на 1 мм., или меньше на $^1/_4$ мм;

в) длина трубы можетъ разниться отъ предписанной длины на $\pm$ 3 мм.

3) Трубы должны быть, на обоихъ концахъ, снабжены конической газовой нарѣзкой на длину 1″, считая 11 нитокъ на одинъ дюймъ, при этомъ наружній діаметръ наибольшей нарѣзки долженъ имѣть 33 мм.

4) Коничность упомянутыхъ въ пунктѣ 3-мъ нарѣзокъ должна составлять $^1/_{32}$, а допускаемые предѣлы отклоненій отъ нормальной коничности не болѣе $^1/_{24}$ и не менѣе $^1/_{40}$.

---

*) Утв. М. П. С. 11 ноября 1900 года.

НТБ ДНУЗТ

5) Соединительныя части, а именно: муфты, тройники и угольники, тоже изъ сварочнаго или литого желѣза, должны имѣть при цилиндрической нарѣзкѣ толщину стѣнокъ отъ $5^1/_2$ до 6 мм. (толщина стѣнокъ измѣряется поверхъ нарѣзки). Длина муфтъ и тройниковъ = 100 мм., длина угольниковъ, считая отъ центра одной вѣтки до конца другой = 45 мм., причемъ отступленіе въ длинѣ соединительныхъ частей $\pm 1^1/_2$ мм.

6) Соединительныя части должны навинчиваться на трубы не менѣе, какъ отъ 3 до 6 нитокъ.

7) Винтовыя нарѣзки какъ на трубахъ, такъ и въ соединительныхъ частяхъ, должны быть чисты.

8) Всѣ трубы предварительно, безъ насадки на нихъ соединительныхъ частей, испытываются гидравлическимъ давленіемъ на 20 атмосферъ и затѣмъ раздѣляются на партіи по 200 штукъ въ каждой партіи; точно также и всѣ соединительныя части, послѣ испытанія ихъ гидравлическимъ давленіемъ также на 20 атмосферъ, раздѣляются на соотвѣтственныя партіи по 200 штукъ.

9) Изъ каждой партіи трубъ и соединительныхъ частей выбирается для испытанія $2^0/_0$, и послѣ насадки на трубы соединительныхъ частей испытывается воздушнымъ давленіемъ на 10 атмосферъ въ теченіе 3 до 5 минутъ; для этого испытанія трубы съ соединеніями погружаются въ воду.

10. Красная листовая и болтовая мѣдь.

§ 1. Мѣдные листы. Предъявляемая къ сдачѣ мѣдь листовая, мѣдные топочные листы и мѣдныя рѣшетчатыя стѣнки въ видѣ отдѣльныхъ листовъ должны быть изготовлены изъ мягкой, ковкой, чистой и совершенно однородной мѣди.

Наружняя поверхность листовъ должна быть гладкая и не имѣть недостатковъ, вредныхъ для ихъ службы.

Листы должны быть обрѣзаны соотвѣтственно размѣрамъ, обозначеннымъ при заказѣ. Въ длинѣ и ширинѣ листовъ могутъ быть допущены отклоненія отъ назначенныхъ при заказѣ размѣровъ въ ту или другую сторону до 5 мм. для прямыхъ листовъ и для загнутыхъ по чертежу листовъ—до 3 мм. въ ширину и до 5 мм. въ длину.

Въ размѣрахъ толщины листовъ менѣе 1800 мм. ширины могутъ быть допущены отклоненія въ сторону увеличенія или уменьшенія: а) при толщинѣ до 20 мм. включительно не болѣе $5^0/_0$ и б) при толщинѣ болѣе 20 мм. не болѣе одного мм., отступленія болѣе значительныя должны быть не болѣе $3^0/_0$ толщины.

Примѣчаніе 1. При листахъ шириною болѣе 1800 мм. допуски въ длинѣ и ширинѣ повышаются до 8 мм. въ ту или другую сторону, допуски же въ толщинѣ увеличиваются до 8% въ большую или меньшую сторону.

Примѣчаніе 2. Если предъявленные къ пріемкѣ предметы будутъ въ размѣрахъ отличаться болѣе допускаемыхъ выше предѣловъ, но изъ нихъ возможно приготовить падѣліе по чертежу, то пріемщику предоставляется право принять таковые.

НТБ ДНУЗТ

Примѣчаніе 3. Химическій анализъ мѣдныхъ листовъ обязателенъ для завода, но результаты его не могутъ служить причиной браковки или задержки въ пріемкѣ. Произведенный заводомъ химическій анализъ не вписывается въ акты, но представляется пріемщикомъ въ Главную Заводскую Инспекцію.

§ 2. Удовлетворяющіе изложеннымъ въ § 1 условіямъ наружняго осмотра листы плоскіе и согнутые дѣлятся на партіи по 10 штукъ, остатокъ менѣе десяти листовъ считается за десять.

Для листовъ толщиною 6 и болѣе миллиметровъ пріемщикъ выбираетъ изъ каждой партіи по одной пробѣ на разрывъ; на изгибъ въ холодномъ и горячемъ состояніи испытывается каждый листъ.

Для листовъ толщиною менѣе 6 мм. и до 1,5 мм. пріемщикъ выбираетъ изъ каждой партіи по одной пробѣ на изгибъ въ холодномъ и горячемъ состояніи.

Для листовъ тоньше 1,5 мм. берется на изгибъ только одна проба изъ каждыхъ двухъ партій, причемъ, если при листахъ нѣтъ припусковъ, то разрѣшается для испытанія загибать углы ихъ.

Испытанія на разрывъ и на изгибъ въ горячемъ и холодномъ состояніи производятся слѣдующимъ образомъ:

А. Проба на разрывъ. При испытаніи на разрывъ нормальный образецъ шириною около 25 мм. долженъ выдерживать: а) для листовъ толщиною болѣе 10 мм. не менѣе 20 клгр. на кв. мм. сопротивленія при удлиненіи 36%, или 21 клгр. при удлиненіи 35% или сжатіи поперечнаго сѣченія 45%; б) для листовъ толщиною отъ 8 до 10 мм. не менѣе 30% удлиненія и в) для листовъ тоньше 8 мм. не менѣе 25% удлиненія.

Примѣчаніе. Листы толщиною въ 6 мм. и менѣе испытанію на разрывъ не подвергаются.

Б. Испытаніе на изгибъ. Пробные бруски, взятые въ холодномъ состояніи отъ предъявленныхъ къ сдачѣ листовъ, должны выдерживать безъ признаковъ надлома: а) изгибъ на 180° въ холодномъ состояніи и б) при началѣ краснаго каленія (450—500° Ц.) для листовъ толщиною до 20 мм. изгибъ вплотную, а для листовъ отъ 20 мм. до 32 мм. изгибъ на внѣшній уголъ 135°.

Примѣчаніе. Листы толще 32 мм. на изгибъ не испытываются.

Всѣ образцы должны быть взяты въ направленіи узкихъ кромокъ листовъ.

Образцы для разрыва должны быть приготовлены механической обработкой съ гладкими поверхностями.

Образцы для испытанія на изгибъ должны быть шириною около 30 мм. съ опиленными гладкими кромками.

Въ случаѣ, если испытаніе одного листа данной группы дало бы неудовлетворительные результаты, то всѣ листы этой группы подвергаются всѣмъ вышеуказаннымъ испытаніямъ.

Листы, давшіе при пробѣ на разрывъ или изгибъ неудовлетворительные результаты, могутъ быть отожжены и переиспытаны, причемъ листы, не выдержавшіе переиспытанія, бракуются.

§ 3. Топки. Топки должны быть исполнены во всемъ согласно

НТБ ДНУЗТ

съ выданными чертежами. Топочные листы должны удовлетворять §§ 1 и 2 настоящихъ условій. Родъ матеріала заклепокъ, расположеніе и форма головокъ ихъ должны быть исполнены согласно чертежу. Отверстія для заклепокъ въ двухъ склепываемыхъ листахъ должны быть передъ клепкой или пройдены развертками, или же образованы сверленіемъ черезъ собранные вмѣстѣ листы, Подъ головками заклепокъ образовываются конусные буртики, для которыхъ дѣлается съ обѣихъ сторонъ раззенковка дыръ. Передъ клепкой листы должны быть пригнаны настолько тщательно, чтобы по окончаніи клепки кромки верхнихъ листовъ прилегали къ нижнимъ совершенно плотно.

Чеканка дѣлается изнутри и снаружи. Тѣло заклепки должно вполнѣ заполнять дыру, назначенную для заклепки, на головкахъ не допускаются трещины, и чеканка ихъ обязательна. Матеріалъ мѣдныхъ заклепокъ долженъ удовлетворять техническимъ условіямъ для красной болтовой мѣди. Желѣзныя заклепки должны удовлетворять техническимъ условіямъ на испытаніе и пріемку заклепокъ для котловъ.

§ 4. Склепка можетъ быть машинная или ручная и должна производиться: а) машинная, при условіи, чтобы давленіе было не менѣе 90 клгр. на кв. мм. площади поперечнаго сѣченія заклепки, и б) ручная, такъ, чтобы она заканчивалась при темновишневомъ каленіи.

§ 5. Мѣдь болтовая. Подлежащая поставкѣ болтовая мѣдь должна быть отлита изъ чистой и совершенно однородной мѣди и чисто прокатана или тянута до требуемыхъ заказомъ размѣровъ. Въ размѣрахъ діаметровъ болтовой мѣди могутъ быть допущены отклоненія до 0,25 мм. въ сторону увеличенія и уменьшенія ихъ. Длина же ихъ можетъ быть на 10 мм. болѣе заказа, если болты заказаны опредѣленной длины. Если же они заказаны неопредѣленной длины, то они не должны быть короче 3 метровъ для болтовъ діаметромъ 35 мм. и любой длины для болтовъ діаметромъ свыше 35 мм. На наружней поверхности прутьевъ не должно быть недостатковъ, вредныхъ для ихъ службы.

§ 6. Изъ каждой партіи въ 100 штукъ прутьевъ одинаковаго діаметра, удовлетворяющихъ по наружнему осмотру вышесказаннымъ требованіямъ, выбирается пріемщикомъ одинъ прутъ, который подвергается слѣдующимъ испытаніямъ:

а) Пробѣ на разрывъ. При испытаніи на разрывъ нормальный образецъ діаметромъ, равнымъ діаметру испытуемаго прута, долженъ выдерживать не менѣе 21 клгр. на кв. мм. сопротивленія при удлиненіи не менѣе 38% или сжатіи поперечнаго сѣченія 50%.

Примѣчаніе. Болтовая мѣдь діаметромъ менѣе 15 мм. и болѣе 30 мм. испытанію на разрывъ не подвергается, за исключеніемъ случаевъ, особо оговоренныхъ въ заказѣ.

б) Пробѣ на изгибъ. Отрѣзокъ, взятый въ холодномъ состоя-

НТБ ДНУЗТ

ніи отъ выбраннаю пріемщикомъ прута, долженъ выдержать безъ признаковъ надлома въ холодномъ состояніи изгибъ на 180°, причемъ для образцовъ толщиною въ 30 мм. и менѣе изгибаніе должно быть вплотную.

Примѣчаніе. Прутья діаметромъ болѣе 30 мм. ніямъ не подвергаются.

в) Пробѣ на расклепываніе въ холодномъ состояніи. Отъ прута отрѣзывается цилиндрикъ длиною, равной двумъ діаметрамъ прута, и, будучи поставленъ на наковальню и осаженъ давленіемъ съ торца на половину первоначальной высоты, онъ не долженъ обнаруживать признаковъ надлома.

Примѣчаніе 1. Этому испытанію подвергается болтовая мѣдь діаметромъ въ предѣлахъ отъ 12 мм. до 30 мм.

Если образецъ не выдержитъ хотя одного изъ вышеописанныхъ испытаній, то берутся для испытанія два образца и таковые подвергаются тому испытанію, котораго образецъ не выдержалъ при первомъ испытаніи; если при переиспытаніи хотя одинъ образецъ дастъ неудовлетворительные результаты, то вся партія бракуется.

Примѣчаніе 2. Заводъ имѣетъ право, если найдетъ подвергнуть болты вторичному отжигу до переиспытанія.

§ 7. Мѣдныя трубы. Предъявляемыя къ сдачѣ трубы красной мѣди должны быть изготовлены цѣльно тянутыми (безъ спая), изъ чистой, совершенно однородной мѣди.

Поверхности трубъ должны быть чисты, безъ недостатковъ, вредныхъ для ихъ службы.

§ 8. Трубы должны быть изготовлены тѣхъ именно размѣровъ, какіе указаны въ чертежахъ и приложенной къ договору вѣдомости, причемъ допускаются слѣдующія отклоненія: 1) длина трубъ можетъ быть болѣе назначенной на 10 мм.; 2) наружній діаметръ трубъ можетъ быть болѣе или менѣе назначеннаго: а) для трубъ съ наружнимъ діаметромъ до 50 мм.—на 0,25 мм.; б) для трубъ съ наружнимъ діаметромъ болѣе 50 мм. и до 100 мм.—на 0,50 мм.; в) для трубъ съ наружнимъ діаметромъ болѣе 100 мм.—на 0,75 мм.; 3) толщина стѣнокъ трубъ наружнимъ діаметромъ до 50 мм. должна быть одинакова съ точностью до 0,25 мм. и наружнимъ діаметромъ болѣе 50 мм. она должна быть одинакова съ точностью до 0,35 мм.

§ 9. Трубы, удовлетворяющія требованіямъ наружняго осмотра, подвергаются испытанію внутреннимъ гидравлическимъ давленіемъ, руководствуясь нижеслѣдующимъ: трубы съ наружнимъ діаметромъ до 100 мм., при толщинѣ стѣнокъ 2,5 мм. и болѣе, испытываются на 35 атмосферъ и, при толщинѣ стѣнокъ менѣе 2,5 мм., испытываются на 25 атмосферъ; трубы съ наружнимъ діаметромъ отъ 100 до 150 мм. и при толщинѣ стѣнокъ въ 3 мм. и болѣе испытываются на 20 атмосферъ, и при толщинѣ стѣнокъ менѣе 3 мм.—на 15 атмосферъ; трубы съ наружнимъ діаметромъ болѣе 150 мм., при толщинѣ стѣнокъ въ 4 мм. и болѣе, испытываются на 20

НТБ ДНУЗТ

атмосферъ и при толщинѣ стѣнокъ отъ 3—4 мм. давленіемъ 15 атмосферъ.

При испытаніи гидравлическимъ давленіемъ не должно оказываться ни малѣйшей течи или просачиванія.

§ 10. Трубы наружнимъ діаметромъ болѣе 50 мм., выдержавшія гидравлическое испытаніе, раздѣляются на партіи по 100 штукъ каждая, изъ каждой партіи берется одна труба по выбору пріемщика и подвергается послѣ предварительнаго отжига слѣдующимъ испытаніямъ:

А. Кузнечному. 1) Для трубъ съ наружнимъ діаметромъ болѣе 50 мм. и до 75 мм — отгибанію фланца шириною отъ 16 до 20 мм. 2) Для трубъ съ наружнимъ діаметромъ болѣе 75 мм. и до 100 мм. и для трубъ діаметромъ болѣе 100 мм., по толщиною стѣнокъ менѣе 3,5 мм.,— отгибанію фланца шириною отъ 20 до 24 мм.

При этихъ испытаніяхъ на образцахъ не должно обнаруживаться признаковъ надлома.

Б. Разрывному. Взятая отъ трубы полоса мѣди шириною около 30 мм. и приготовленная по формѣ нормальнаго образца, должна, послѣ предварительнаго отжига, при испытаніи ея на разрывъ выдержать сопротивленіе не менѣе 21 клгр. на квадр. милл. при удлиненіи не менѣе 25% для образцовъ по длинѣ трубы и не менѣе 20% для образцовъ поперекъ трубы. Этому испытанію подвергаются лишь трубы съ наружнимъ діаметромъ болѣе 100 мм. и толщиною стѣнокъ въ 3,5 мм. и выше.

§ 11. Партія, удовлетворяющая всѣмъ вышеозначеннымъ требованіямъ, принимается; въ противномъ случаѣ, она дѣлится на двѣ части, и изъ каждой части вновь выбирается пріемщикомъ одна труба, которая подвергается тѣмъ же испытаніямъ; если при этомъ переиспытаніи получится неудовлетворительный результатъ, то соотвѣтственная часть партіи бракуется.

§ 12. За листы, топки, болты и трубы, удовлетворяющіе вышеуказаннымъ условіямъ, уплата производится по дѣйствительному вѣсу.

§ 13. Заводъ обязанъ сохранять испытанные образцы (сдѣлавши на нихъ надлежащія помѣтки) въ теченіе одного года со дня пріемки мѣди, и таковые образцы предъявляются по требованію.

11. Рессорная сталь.

Рессорная сталь, предъявленная къ пріемкѣ въ видѣ отдѣльныхъ полосъ, должна удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

а) снаружи не имѣть раковинъ, пленъ, трещинъ и другихъ недостатковъ;

б) въ изломѣ имѣть мелкозернистое, однородное сложеніе;

в) нормальный незакаленный образецъ, шириною около 30 мм., долженъ давать при разрывѣ не менѣе 70 килгр. на кв. мм. со-

НТБ ДНУЗТ

противленія при наименьшемъ удлиненіи 8%, причемъ сумма цифръ сопротивленія и удвоеннаго удлиненія должна быть не менѣе 90;

г) полоса рессорной стали, закаленная и отпущенная при условіяхъ изготовленія рессоръ, помѣщается на опоры съ разстояніемъ въ 600 мм. и подвергается дѣйствію груза, приложеннаго по срединѣ и опредѣленнаго по формулѣ:

$$P = \frac{19}{180} a b^2,$$

гдѣ P обозначаетъ грузъ въ клгр.,

a ширина
b толщина } рессорной стали въ мм.

Нагрузка эта соотвѣтствуетъ напряженію въ 95 клгр. на кв. мм.; по снятіи груза полоса не должна давать остающагося прогиба.

Вышеозначеннымъ механическимъ испытаніямъ подвергаются на разрывъ 2% и на изгибъ 1% отъ предъявленнаго къ пріему количества рессорной стали.

Въ случаѣ полученія неудовлетворительнаго результата испытаній, переиспытывается двойное количество образцовъ; партія, давшая неудовлетворительное переиспытаніе, бракуется.

12. Рессоры.

§ 1. Рессоры должны быть изготовлены изъ литой стали согласно съ чертежами, строго наблюдая, чтобы концы листовъ прилегали къ сосѣднимъ листамъ какъ при свободномъ, такъ и при нагруженномъ состояніи рессоры; отступленія же допускаются слѣдующія:

а) въ длинѣ хорды рессоры (разстояніе между центрами ушковъ) не болѣе 0,5% и

б) въ высотѣ фабричной стрѣлы рессоры не болѣе 6 мм.

§ 2. Передъ сборкою вогнутыя поверхности рессоры смазываются смѣсью сала съ масломъ и графитомъ.

§ 3. Рессоры подвергаются слѣдующимъ испытаніямъ на изгибъ:

а) рессора съ заранѣе измѣренною стрѣлкою подвергается дѣйствію груза, вызывающаго напряженіе въ листахъ ея около 100 клг. на кв. мм.; измѣренный по снятіи сей нагрузки остающійся прогибъ не долженъ быть болѣе 3% отъ величины прогиба рессоры подъ вышеозначеннымъ пробнымъ грузомъ;

б) рессора, дважды нагруженная, послѣ перваго испытанія, тѣмъ же грузомъ, не должна давать остающагося прогиба болѣе $^1/_2$ мм.

§ 4. Рессоры пассажирскихъ вагоновъ, кромѣ того, нагружаются $^2/_5$ вышеозначеннаго груза и затѣмъ подвергаются не менѣе 25 колебаніямъ дѣйствіемъ добавочной силы, равной половинѣ этой послѣдней нагрузки, т.-е. $^1/_5$ пробнаго груза; при этомъ онѣ не должны давать остающагося прогиба.

§ 5. Двумъ первымъ испытаніямъ подвергаются всѣ рессоры, третьему же испытанію — 5% отъ предъявленнаго къ пріему количества.

НТБ ДНУЗТ

§ 6. Цилиндрическія спиральныя рессоры изъ стали круглаго и прямоугольнаго сѣченія испытываются такъ же, какъ и подвѣсныя листовыя рессоры.

§ 7. Коническія спиральныя рессоры прямоугольнаго сѣченія для нормальныхъ товарныхъ вагоновъ испытываются на сжатіе прессомъ до полной осадки ихъ, причемъ рессора при третьемъ сжатіи должна возвращаться къ той же высотѣ, которую имѣла послѣ второго сжатія.

§ 8. Для спиральныхъ рессоръ, не подходящихъ къ означенымъ типамъ, заказчикъ заранѣе указываетъ требуемыя имъ техническія условія поставки ихъ.

13. Крытые товарные вагоны нормальнаго типа.

§ 1. Общія указанія. Крытые товарные вагоны должны быть построены вполнѣ согласно съ чертежами альбома и описаніемъ (пояснительною запискою) нормальнаго крытаго товарнаго вагона русскихъ желѣзныхъ дорогъ, утвержденными Министерствомъ Путей Сообщенія.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда въ чертежахъ указаны нѣсколько варіантовъ, выборъ варіанта предоставляется заказчику и онъ устанавливается при заказѣ. Неотъемлемыя воинскія приспособленія должны быть устроены согласно чертежамъ Министерства Путей Сообщенія.

§ 2. Колеса должны быть изъ сварочнаго или литого желѣза, или стальныя литыя, по указанію заказчика, и скаты должны быть исполнены согласно утвержденнаго чертежа и техническихъ условій, установленныхъ на сей предметъ.

§ 3. Осевыя буксы. Чугунъ для буксъ долженъ быть мягкій, въ изломѣ мелкозернистый и сѣраго цвѣта. Въ буксахъ, въ нижнихъ частяхъ, долженъ быть помѣщенъ упругій аппаратъ для смазыванія шейки оси снизу. Игра буксъ въ осевыхъ лапахъ должна быть согласована съ чертежемъ.

§ 4. Подшипники. Подшипники должны быть сдѣланы изъ фосфористой бронзы и залиты композиціей: изъ 3 частей красной мѣди, 7 частей антимонія и 90 ч. олова или какого-нибудь другого сплава соотвѣтственнаго качества, по указанію заказчика; они должны быть плотно пригнаны въ крышку смазочной коробки и притомъ такъ, чтобы подшипникъ, вынутый изъ одной коробки, плотно приходился во всякую другую коробку.

§ 5. Подвѣсныя рессоры должны быть изготовлены изъ литой стали, согласно съ чертежами, причемъ допускаются слѣдующія отступленія: а) въ длинѣ хорды рессоры (разстояніе между центрами ушковъ) не болѣе $0{,}5\%$ и б) въ высотѣ фабричной стрѣлы рессоры не болѣе 6 мм. Передъ сборкою выгнутыя поверхности рессоры смазываются смѣсью сала съ масломъ и графитомъ. Всѣ рессоры подвергаются слѣдующимъ испытаніямъ на изгибъ: а) рессора съ заранѣе измѣренною стрѣлкою подвергается дѣйствію груза, вызывающаго напряженіе въ листахъ около 100

НТБ ДНУЗТ

килогр. на кв. мм.; измѣренный по снятіи сей нагрузки остающійся прогибъ не долженъ быть болѣе 3% отъ величины прогиба рессоры подъ пробнымъ грузомъ; б) рессора, дважды нагруженная, послѣ перваго испытанія, тѣмъ же грузомъ, не должна давать остающагося прогиба болѣе 0,5 мм.

§ 6. Буксовыя рамы. Буксовыя рамы должны быть изъ сварочнаго или изъ хорошо сваривающагося литого желѣза; онѣ подвергаются пробѣ на изгибъ на наковальнѣ ударами ручного молотка какъ въ холодномъ, такъ и въ нагрѣтомъ состояніи: въ первомъ случаѣ желѣзо должно изгибаться на 90°, во второмъ на 180° безъ обнаруженія трещинъ и излома.

§ 7. Приборы тяговые и упряжные*). Всѣ части тягового прибора и запасныя цѣпи должны быть изъ сварочнаго или литого желѣза. Клинья и чеки изъ стали. Стяжныя скобки съ ушками, гайки стяжного винта съ ихъ цапфами и тяговой крюкъ съ придаточной частью, длиною около 300 мм., должны изготовляться изъ цѣльныхъ кусковъ.

Сварочное желѣзо должно дать при разрывѣ отъ 36 до 42 килогр. на кв. мм. сопротивленія, при наименьшемъ удлиненіи въ 25%, причемъ сумма цифръ сопротивленія и двойного удлиненія должна быть не менѣе 92. Литое желѣзо должно хорошо свариваться и не давать закалки.

Сталь должна имѣть временное сопротивленіе не менѣе 55 килогр. на кв. мм., при удлиненіи не менѣе 15%

Собранный тяговой приборъ подвергается испытанію на растяженіе усиліемъ 12 300 килогр. (750 пуд.), причемъ не долженъ обнаруживать остающихся измѣненій въ своихъ частяхъ.

Каждая запасная вагонная цѣпь должна испытываться на заводѣ растягивающимъ усиліемъ въ 6,5 тоннъ, при каковомъ усиліи не должно обнаруживаться остающихся измѣненій.

Упомянутое испытаніе должно быть засвидѣтельствовано надлежащими актами.

При пріемкѣ запасныхъ вагонныхъ цѣпей заводскому инспектору предоставляется, изъ партіи въ 100 штукъ и менѣе, испытывать по одной цѣпи на растяженіе грузомъ въ 10 тоннъ, причемъ цѣпи не должны оказывать признаковъ поврежденія.

Въ случаѣ, если какая-либо партія дастъ неудовлетворительные результаты, отъ той же партіи подвергается упомянутому испытанію по двѣ цѣпи, причемъ, если хотя одна цѣпь не выдержитъ сего испытанія, вся партія бракуется **).

§ 8. Буфера. Буферныя тарелки могутъ быть откованы изъ варочнаго или литого желѣза. Буферные стаканы могутъ быть

---

*) Измѣнено согласно приказу М. П. С. отъ 9 ноября 1900 г., за № 144.

**) Указанія настоящаго приказа должны быть примѣнены также къ запаснымъ цѣпямъ, устанавливаемымъ на пассажирскихъ вагонахъ, открытыхъ платформахъ и вагонахъ-цистернахъ, равно на тендерахъ и паровозахъ для сцѣпленія ихъ съ вагонами.

НТБ ДНУЗТ

желѣзные кованые или литые изъ стали. Прокладка между буфернымъ брусомъ и лапами буфернаго стакана должна быть чугунная или штампованная желѣзная, снабженная надлежащими выступами для удержанія на мѣстѣ спиральной пружины.

§ 9. Буферныя и тяговыя рессоры. Спиральныя, буферныя и тяговыя рессоры должны быть изготовлены изъ литой стали и удовлетворять слѣдующему испытанію: рессора, сжатая прессомъ два раза до полнаго сжатія, при слѣдующихъ сжатіяхъ тѣмъ же грузомъ должна возвращаться къ той же высотѣ, которую имѣла послѣ второго сжатія.

§ 10. Всѣ поковки могутъ изготовляться изъ сварочнаго или литого желѣза. Все сварочное желѣзо, идущее на отковку вагонныхъ частей, испытывается согласно техническимъ условіямъ на сортовое желѣзо 1-го или 2-го сорта, а именно: перваго сорта—для болтовъ, тормазныхъ валовъ и тягъ, второго сорта—для всѣхъ прочихъ поковокъ, кромѣ имѣющихъ спеціальныя техническія условія; если же поковки готовятся изъ литого желѣза, то оно должно удовлетворять условіямъ на поставку сортового литого желѣза. При предъявленіи къ пріемкѣ вмѣсто матеріала готовыхъ поковокъ, болты и тормазные валы и тяги испытываются по условіямъ для матеріала перваго сорта, остальныя же поковки принимаются по наружнему осмотру; въ случаѣ же сомнѣнія, онѣ подвергаются испытанію на изгибъ, установленному для желѣза втораго сорта, причемъ болты, тормазные валы и тяги испытываются въ количествѣ $^1/_5\,^0/_0$ всѣхъ частей по выбору пріемщика и, во всякомъ случаѣ, не менѣе двухъ штукъ. При полученіи неудовлетворительныхъ результатовъ, переиспытанію подвергается двойное количество образцовъ или штукъ. Партія, давшая неудовлетворительное переиспытаніе, бракуется.

§ 11. Рамы. Металлическія продольныя балки и поперечныя связи вагоновъ должны быть изъ сварочнаго или литого желѣза, причемъ литое желѣзо должно выдерживать на разрывъ не менѣе 32 и не болѣе 45 килогр. на кв. мм. при удлиненіи не менѣе $20^0/_0$, причемъ сумма разрывающаго груза и двойного удлиненія должна быть не менѣе 85. Сварочное желѣзо должно отвѣчать 2-му сорту. Испытаніе разныхъ частей производится въ количествѣ $1^0/_0$ изъ предъявленныхъ къ испытанію частей. При полученіи неудовлетворительныхъ результатовъ не выдержавшія испытанія части подвергаются переиспытанію въ двойномъ количествѣ. При повторительномъ полученіи неудовлетворительныхъ результатовъ, соотвѣтственныя части бракуются.

Примѣчаніе. Желѣзо для рамъ на изгибъ не испытывается.

§ 12. Деревянныя части. Дерево, употребляемое для постройки вагоновъ, должно быть сухое, лучшаго качества, безъ гнили, червоточинъ и табачныхъ сучьевъ, прямое, плотное; всѣ стойки и рамные брусья должны быть дубовые или другой указанной въ заказѣ породы дерева, имѣющей прочность, соотвѣтственную

НТБ ДНУЗТ

прочности дуба. Верхніе обвязочные брусья, концевыя кружала и потолочныя дуги могутъ быть сосновые. Отдѣлка деревянныхъ частей должна быть самая тщательная, ребра должны быть острыя и безъ жуковинъ. Поверхъ потолочныхъ дугъ долженъ быть уложенъ настилъ изъ шалевокъ, образующій крышу, которая затѣмъ обшивается желѣзомъ, вѣсомъ не менѣе 5 фунтовъ въ квадратномъ аршинѣ. Половой настилъ и обшивка должны быть сдѣланы изъ сосны или изъ другого дерева, по соглашенію заказчика съ заводомъ.

§ 13. Сборка. Всѣ винты и гайки должны имѣть нарѣзку по системѣ Витворта. При сборкѣ вагоновъ должно быть обращено вниманіе на правильное помѣщеніе осевыхъ лапъ и подвѣсныхъ рессоръ.

§ 14. Окраска. По ошпаклевкѣ и загрунтовкѣ, вагоны красятся внутри дважды масляною краскою стального цвѣта, а снаружи три раза краснымъ цвѣтомъ. Всѣ желѣзныя и чугунныя части, а равно рамы и ходъ должны быть окрашены въ черный цвѣтъ.

§ 15. Надписи. На продольныхъ швеллерахъ вагоновъ должны быть сдѣланы надписи вѣса нагрузки вагона и тары въ пудахъ и обозначено названіе завода и время постройки; на вагонахъ должны быть обозначены начальныя буквы названія дороги, № вагона и другія затребованныя заказчикомъ надписи. Угловыя стойки должны быть окрашены въ бѣлый цвѣтъ.

14. Стальные рельсы *).

§ 1. Общее указаніе относительно изготовленія стальныхъ рельсовъ.

Отъ каждаго выкатаннаго изъ болванки рельса, соотвѣтствующаго по длинѣ объему всей болванки, надлежитъ отрѣзать оба конца, а именно: одинъ конецъ, соотвѣтствующій усадочнымъ раковинамъ въ верхней части болванки, длиною не менѣе $2^1/_2$ фут., а другой конецъ длиною не менѣе $^3/_4$ фут. Если же болванка ранѣе прокатки разрѣзается на нѣсколько частей, то вышеупомянутыя длины въ $2^1/_2$ и $^3/_4$ фута относятся лишь къ рельсу, выкатанному изъ части болванки, соотвѣтствующей верхнему ея концу; въ рельсахъ, выкатанныхъ изъ остальныхъ частей болванки, отрѣзываются отъ обоихъ концовъ по $^3/_4$ фута.

Примѣчаніе. Если верхній конецъ рельсовой болванки, послѣ обжима и ранѣе передачи на рельсовый станъ, обрѣзывается подъ ножницами, и если вѣсъ отрѣзаннаго куска составляетъ не менѣе 20% вѣса болванки, то отъ прокатаннаго рельса разрѣшается отрѣзать съ обоихъ концовъ куски, длиною лишь въ $^3/_4$ фута. Размѣръ вышеупомянутаго условнаго отрѣзка можетъ быть уменьшенъ въ періодъ дѣйствія контракта, если заводъ представитъ удостовѣренныя Инспекціей доказательства, что имъ приняты мѣры

*) Временныя техническія условія; утверждены приказомъ Министра Путей Сообщенія отъ 22 декабря 1899 г., № 150.

НТБ ДНУЗТ

къ уменьшенію размѣра усадочныхъ раковинъ, причемъ размѣръ уменьшеннаго условно отрѣзка имѣетъ быть опредѣленъ на основаніи изслѣдованія усадочныхъ раковинъ въ болванкахъ, выбранныхъ Инспекціей изъ 10-ти плавокъ.

§ 2. Размѣры. Рельсы должны быть прокатаны согласно съ утвержденными Министерствомъ Путей Сообщенія чертежемъ и темплетами, причемъ въ ширинѣ подошвы рельса допускается отступленіе отъ утвержденнаго чертежа не болѣе, какъ въ 1 миллиметръ, а въ прочихъ измѣреніяхъ не болѣе 0,5 миллиметра, съ тѣмъ, однако, чтобы несимметричность поперечнаго сѣченія рельса относительно средней вертикальной оси была въ подошвѣ не болѣе 0,5 миллиметра и въ прочихъ измѣреніяхъ не болѣе 0,25 миллиметра.

Примѣчаніе. При заказѣ рельсовъ, у коихъ толщина кромокъ въ пятѣ менѣе 11 миллиметровъ, допускается отступленіе противъ темплета, въ размѣрахъ ширины подошвы на 2 миллиметра и несимметричность относительно вертикальной оси въ подошвѣ въ 1 мм.

Для рельсовъ, поперечное сѣченіе коихъ по утвержденному чертежу должно быть песимметрично относительно вертикальной оси, допускаемыя отступленія отъ утвержденнаго чертежа устанавливаются Министерствомъ Путей Сообщенія въ зависимости отъ профили рельса.

Профиль рельса должна быть одинакова по всей длинѣ.

Концы рельса должны быть обрѣзаны по наугольнику, согласно чертежу, а торцы должны быть съ обоихъ концовъ ошарошены.

Каждый рельсъ долженъ имѣть назначенное по чертежу число дыръ.

Форма и размѣръ дыръ и разстояніе какъ между ними, такъ и отъ края рельса, должны соотвѣтствовать чертежу, причемъ въ величинѣ дыръ, равно какъ и въ разстояніяхъ между ними и отъ конца рельса допускается отклоненіе отъ чертежа не болѣе какъ на 1 миллиметръ; дыры должны быть просверлены; поверхности дыръ должны быть гладкія, безъ рванинъ, и кромки ихъ должны быть ровныя, безъ заусеницъ.

Увеличеніе или уменьшеніе длины рельсовъ можетъ быть допущено не болѣе, какъ на 3 миллиметра для рельсовъ длиною до 28 футъ и на 4 миллиметра для рельсовъ, имѣющихъ длину отъ 28 до 35 футъ; причемъ длина рельсовъ повѣряется стальной линейкой, имѣющей ту же температуру, какъ и рельсъ и вѣрность длины которой засвидѣтельствована пріемщикомъ. Рельсы, въ коихъ разница въ длинѣ будетъ болѣе, чѣмъ на три или четыре миллиметра, не принимаются.

Уголъ наклоненія граней рельса, соприкасающихся съ накладками, долженъ быть исполненъ съ совершенною точностью.

§ 3. Вѣсъ. При подписаніи контракта заводу сообщается подробный чертежъ рельса, съ указаніемъ вычисленнаго по чертежу приблизительнаго вѣса погоннаго фута рельса.

НТБ ДНУЗТ

Нормальный вѣсъ погоннаго фута рельса опредѣляется взвѣшиваніемъ пятидесяти штукъ рельсовъ, выбранныхъ пріемщикомъ въ началѣ выдѣлки и притомъ наименѣе отличающихся отъ опредѣленныхъ по чертежу размѣровъ и, во всякомъ случаѣ, не отклоняющихся по своимъ размѣрамъ до предѣловъ, допускаемыхъ § 2 сихъ техническихъ условій. По среднему вѣсу взвѣшенныхъ такимъ образомъ рельсовъ, опредѣляется нормальный вѣсъ погоннаго фута рельса. Дѣйствительный вѣсъ погоннаго фута рельса опредѣляется посредствомъ взвѣшиванія не менѣе 20 штукъ рельсовъ, взятыхъ съ каждой тысячи рельсовъ.

Рельсы, съ перевѣсомъ противъ нормальнаго вѣса, а также съ недовѣсомъ до 2,5% допускаются къ пріемкѣ, если только въ обоихъ случаяхъ рельсы удовлетворяютъ всѣмъ остальнымъ условіямъ. Рельсы съ недовѣсомъ болѣе 2,5% не допускаются къ пріемкѣ, безъ особаго на сіе разрѣшенія Министерства Путей Сообщенія, хотя бы они и удовлетворяли всѣмъ остальнымъ условіямъ.

§ 4. Клейма. На каждомъ рельсѣ должны быть выкатаны выпуклыми (въ 1 миллиметръ) буквами, не менѣе $^3/_4$ дюйма длиною, клейма завода, съ означеніемъ года и мѣсяца приготовленія рельсовъ.

§ 5. Наружній видъ рельсовъ. Наружняя поверхность рельса (на пятѣ, шейкѣ и головкѣ) должна быть гладкая, чистая, безъ пленъ, прогаровъ, рванинъ и трещинъ, причемъ могутъ быть допускаемы пріемщикомъ рельсы съ недостатками въ видѣ волосовинъ или черновинъ.

На торцевомъ сѣченіи не должно быть замѣтно никакихъ слѣдовъ трещинъ или разслоеній, происходящихъ отъ усадочной раковины, пузырей или какихъ-либо другихъ причинъ. Нагрѣваніе какой-либо части рельса, равно и производство задѣлокъ какихъ бы то ни было недостатковъ въ рельсѣ не допускается.

Срубать или спиливать заусенцы и другіе случайные выступы и неровности, какъ на концахъ, такъ и на всей длинѣ рельса, дозволяется лишь съ вѣдома пріемщика и притомъ только въ холодномъ состояніи и при условіи, чтобы послѣ таковой обработки не было мѣстныхъ углубленій, нарушающихъ правильную, въ установленныхъ предѣлахъ, форму рельса.

Рельсы должны быть прямые и выправленные со всѣхъ сторонъ.

§ 6. Испытаніе. Рельсы, удовлетворяющіе условіямъ наружняго осмотра и обмѣра, раздѣляются заводомъ для производства механическихъ испытаній на отдѣльныя тысячи, которыя, въ свою очередь, раздѣляются на партіи по 250 штукъ въ каждой; остатокъ, полученный при раздѣленіи общаго количества рельсовъ на партіи въ 250 штукъ, считается за особую партію.

Изъ каждой партіи выбирается по одному рельсу, который раздѣляется (послѣдовательнымъ нажимомъ винта или пресса, послѣ предварительной надрубки рельса по всей поверхности головки) на пять кусковъ, изъ коихъ 4 должны быть каждый не коро-

НТБ ДНУЗТ

че 5 футъ и одинъ кусокъ отъ конца рельса для разрывной пробы долженъ имѣть длину, соотвѣтствующую условіямъ испытанія на разрывъ.

Одинъ изъ этихъ кусковъ рельсовъ, длиною 5 футъ, оставляется въ запасѣ на случай могущей потребоваться провѣрки испытаній.

Путевые рельсы короче 16 футъ испытываются согласно правиламъ для испытанія рельсовъ, назначенныхъ для изготовленія изъ нихъ переводовъ.

а) Проба на изгибъ посредствомъ нагрузки. Кусокъ рельса длиною не менѣе 5 футъ, положенный на двухъ опорахъ, взаимно удаленныхъ между собою на $3^1/_2$ фута, подвергается дѣйствію груза въ *A* пудовъ, приложеннаго посрединѣ между опорами.

Испытаніе это повторяется три раза, причемъ каждый разъ рельсъ остается подъ нагрузкою пять минутъ. По снятіи нагрузки остающійся прогибъ рельса не долженъ превосходить: послѣ перваго испытанія 0,5 мм., а послѣ второго и третьяго—0,1 мм.

Означенный выше буквою *A* грузъ опредѣляется по нижеслѣдующей таблицѣ:

Типъ рельсовъ (вѣсъ въ погон. футѣ).	Высота рельсовъ.	Моментъ сопротивленія.	Моментъ инерціи.	Грузъ *A*.
ФУНТЫ.	САНТИМЕТРЫ.			ПУДЫ.
18	10,7	87,39	463,6	700
20	10,8	95,80	528,9	770
$21^3/_3$	11,4	109,25	626,0	875
$22^1/_2$	11,925	118,11	707,0	945
24	11,925	119,13	736,5	955
24	12,4	124,80	793,7	1000
$24^1/_3$	12,7	137,19	884,8	1100
$24^1/_2$	12,7	140,25	906,5	1125

Въ тѣхъ случаяхъ когда съ измѣненіемъ типа рельсовъ величины момента сопротивленія заказываемыхъ рельсовъ будутъ иныя, чѣмъ тѣ, которыя соотвѣтствуютъ типамъ рельсовъ, указаннымъ въ таблицѣ величины груза *A* — опредѣляются Министерствомъ Путей Сообщенія.

Кусокъ рельса, выдержавшій указанное испытаніе, подвергается вторичвому испытанію подъ увеличенною въ $1^3/_4$ раза нагрузкою, которая затѣмъ постепеннымъ увеличеніемъ на $25^0/_0$ доводится до нагрузки, изламывающей рельсъ.—При этомъ наблюдается каждый разъ какъ временный, такъ и остающійся прогибы. Результаты сего послѣдняго испытанія не служатъ основаніемъ для браковки рельсовъ.

б) Пробы на изломъ посредствомъ удара. Два куска испытываемаго рельса, длиною каждый не менѣе пяти футовъ, подвергаются испытанію ударомъ.

НТБ ДНУЗТ

Означенные два куска испытываемаго рельса располагаются на опорахъ такимъ образомъ, какъ и при предшествовавшей пробѣ, и должны выдержать посрединѣ одинъ ударъ бабы вѣсомъ 30 пудовъ, падающей съ высоты *H* футовъ. При этомъ рельсъ можетъ изгибаться, но не долженъ представлять никакихъ наружнихъ признаковъ излома.

Означенныя выше буквою *H* высоты паденія бабы опредѣляются по нижеслѣдующей таблицѣ:

Типъ рельсовъ (вѣсъ въ погон. футѣ).	Высота рельсовъ.	Моментъ сопротивленія.	Моментъ инерціи.	Высота паденія бабы *H*.
ФУНТЫ.	САНТИМЕТРЫ.			ФУТЫ.
18	10,7	87,39	468,6	14
20	10,8	95,80	528,9	15
$21^2/_3$	11,4	109,25	626,0	16
$22^1/_2$	11,925	118,11	707,0	17
24	11,925	119,13	736,5	17
24	12,4	124,80	793,7	17
$24^1/_3$	12,7	137,19	884,8	18
$24^1/_2$	12,7	140,25	906,5	19

Въ тѣхъ случаяхъ, когда, съ измѣненіемъ типа рельсовъ, величины момента сопротивленія заказываемыхъ рельсовъ будутъ иныя, чѣмъ тѣ, которыя соотвѣтствуютъ типамъ рельсовъ, указаннымъ въ таблицѣ, величины *H* высоты паденія бабы опредѣляются Министерствомъ Путей Сообщенія.

Примѣчаніе. Приборъ въ видѣ неравноплечаго рычага для измѣренія прогиба, коперъ, бабы и опоры для обоихъ упомянутыхъ родовъ испытаній должны быть устроены по чертежамъ, утвержденнымъ Министерствомъ Путей Сообщенія. Чугунная опора для пробы подъ бабою должна быть вѣсомъ не менѣе 750 пудовъ и установлена на прочномъ каменномъ фундаментѣ, заложенномъ на глубинѣ не менѣе 0,66 саж. Для опредѣленія остающагося прогиба при статической нагрузкѣ должны быть употреблены приборы типа, одобреннаго Министерствомъ Путей Сообщенія.

в) Испытаніе на разрывъ. Изъ четвертаго куска каждаго испытываемаго рельса и именно изъ внутренней части головки рельса долженъ быть вырѣзанъ образецъ для испытанія на разрывъ.

Образецъ этотъ долженъ быть круглаго сѣченія, діаметромъ около 20 мм. и правильно обточенъ и соотвѣтствовать чертежу нормальнаго образца, согласно установленной на сей предметъ инструкціи.

При разрывѣ такого образца величины, какъ разрывающаго усилія (R) на кв мм., такъ и относительнаго удлиненія (i) образца, должны удовлетворять условію, чтобы сумма разрывающаго усилія, сложеннаго съ удвоеннымъ удлиненіемъ ($R + 2i$), была не менѣе 82; во всякомъ случаѣ, разрывающее усиліе R не должно быть менѣе 60 кгр. на кв. мм., а относительное удлиненіе i не должно быть менѣе $6^0/_0$.

НТБ ДНУЗТ

Примѣчаніе 1. При заказахъ, превышающихъ 4000 штукъ рельсовъ, заводы обязаны, сверхъ того, присылать въ Министерство Путей Сообщенія по одному куску рельса, длиною въ одинъ футъ, на каждыя 4000 штукъ рельсовъ, съ указаніемъ соотвѣтствующей поставки,—на случай производства дополнительныхъ испытаній.

Примѣчаніе 2. Остатки испытанныхъ рельсовъ должны быть сохраняемы на заводѣ въ распоряженіи заводской Инспекціи.

§ 7. Общія правила пріемки. Если при испытаніи какой-либо партіи рельсовъ два или болѣе куска дадутъ неудовлетворительные результаты, то соотвѣтствующая партія раздѣляется на двѣ части по 125 штукъ; изъ каждой такой части одинъ рельсъ подвергается тѣмъ испытаніямъ, кои первоначально дали неудовлетворительные результаты; если при семъ переиспытаніи получится хотя бы одинъ неудовлетворительный результатъ, то соотвѣтствующая часть въ 125 штукъ бракуется.

Если при испытаніи партіи въ 250 штукъ одинъ только кусокъ дастъ неудовлетворительный результатъ, то испытанію того же рода подвергается пятый запасный кусокъ рельса; если испытаніе пятаго куска дастъ удовлетворительный результатъ, то соотвѣтствующая партія принимается, въ противномъ случаѣ раздѣляется на двѣ части по 125 штукъ и переиспытывается, какъ сказано выше.

Рельсы, сломанные при испытаніи, не засчитываются въ число рельсовъ, обязательныхъ къ сдачѣ.

Принятые пріемщикомъ годные рельсы клеймятся каждый на торцахъ установленнымъ клеймомъ.

На рельсахъ, признанныхъ пріемщиковъ послѣ освидѣтельствованія и испытанія забраковашными, должны быть удалены заводомъ въ присутствіи пріемщика, въ холодномъ состояніи рельса, со всѣхъ имѣющихся на рельсѣ клеймъ цифры, обозначающія мѣсяцъ прокатки рельса.

§ 8. Химическій анализъ. Химическій анализъ поставляемыхъ стальныхъ рельсовъ обязателенъ для завода, но результаты его не служатъ основаніемъ для забракованія рельсовъ, если опи удовлетворяютъ вполнѣ условіямъ пріемки.

На каждую партію рельсовъ въ 2000 штукъ (часть менѣе 2000 шт. считается за цѣлую партію) производится въ заводской лабораторіи по одному полному химическому количественному анализу на углеродъ, кремній, марганецъ, фосфоръ и сѣру.

Результаты анализа съ указаніемъ соотвѣтственныхъ пробныхъ рельсовъ сообщаются пріемщику управленіемъ завода, не позже мѣсяца со дня составленія акта о результатахъ прочихъ испытаній рельсовъ.

Правила испытанія рельсовъ, назначаемыхъ для изготовленія изъ нихъ путевыхъ переводовъ, частей ихъ, уравнительныхъ приборовъ для мостовъ и вообще рельсовъ короче 16-ти футовъ длиною, предназначенныхъ для укладки въ путь.

§ 1. Если на рельсахъ, поступающихъ отъ желѣзныхъ дорогъ или отъ заводовъ на другой заводъ для изготовленія переводовъ. частей ихъ или уравнительныхъ приборовъ для мостовъ, выка-

НТБ ДНУЗТ

танныя буквы и цифры окажутся въ цѣлости и имѣется клеймо № 3 *), инженера отдѣла по испытанію и освидѣтельствованію заказовъ Министерствомъ, то таковые рельсы новому испытанію не подлежатъ и заводъ, по удостовѣреніи въ цѣлости клеймъ этихъ рельсовъ инженеромъ названнаго отдѣла, можетъ приступать къ изготовленію изъ нихъ переводовъ. Буквы и цифры на рельсахъ заносятся въ актъ о пріемкѣ помянутыхъ приборовъ.

Примѣчаніе. Желѣзная дорога должна посылать на заводъ для изготовленія вышеозначенныхъ принадлежностей только новые рельсы. Исключеніе можетъ быть сдѣлано для контръ-рельсовъ.

§ 2. Если переводы, части ихъ или уравнительные приборы для мостовъ изготовляются изъ неиспытанныхъ рельсовъ на томъ же заводѣ, на которомъ прокатываются рельсы,—то рельсы, назначаемые на переводы и т. п., должны быть предъявлены обрѣзанными въ мѣру, согласно спецификаціямъ, но не короче 6-ти футъ, которые и подвергаются освидѣтельствованію и испытаніямъ. Для испытанія всѣ предъявленные рельсы раздѣляются на партіи по 100 (сто) штукъ въ каждой; изъ каждой партіи должно быть взято четыре короткомѣрныхъ рельса; изъ этихъ кусковъ одинъ подвергается динамической, другой - статической и, наконецъ, третій разрывной пробамъ; четвертый же кусокъ оставляется въ запасъ, на случай, если понадобится контрольное испытаніе.

Испытаніе и переиспытаніе рельсовъ производится порядкомъ, указаннымъ въ дѣйствующихъ техническихъ условіяхъ на поставку стальныхъ рельсовъ, съ тѣми измѣненіями, которыя въ семъ порядкѣ могутъ послѣдовать по распоряженію Министерства Путей Сообщенія.

При этомъ партія менѣе 100 штукъ принимается за 100 штукъ, всѣ буквы и цифры, выкатанныя на рельсахъ, должны быть въ цѣлости, и куски, подвергающіеся динамической и статической пробамъ, должны имѣть длину пять футовъ.

15. Рельсовыя накладки и подкладки.

§ 1. Размѣры. Накладки и подкладки должны быть изготовлены согласно съ утвержденными чертежами; отступленія отъ показанныхъ на чертежѣ размѣровъ не должны превосходить: а) для накладокъ: въ діаметрахъ дыръ, глубинѣ и ширинѣ шпунтовъ и въ поперечныхъ измѣреніяхъ половины (0,5) мм., въ разстояніяхъ между центрами дыръ и шпунтами – одного миллиметра, въ длинѣ— двухъ миллиметровъ;

б) для подкладокъ: въ толщинѣ, измѣреніяхъ дыръ и разстояніяхъ между дырами — половины (0,5) миллиметра, въ ширинѣ и длинѣ—двухъ (2) миллиметровъ.

§ 2 Наружній видъ. Наружняя поверхность накладокъ и подкладокъ должна быть возможно чистая, безъ прогаровъ, трещинъ

*) См. приказъ Министра Путей Сообщенія отъ 20-го Іюля 1898 года, за № 93.

НТБ ДНУЗТ

и пузырей; задѣлка этихъ недостатковъ воспрещается, разрѣшается только срубать и спиливать незначительные выступы и неровности на поверхности ихъ. Поверхность граней накладокъ, прилегающихъ къ рельсамъ, должна быть правильная, съ безусловнымъ сохраненіемъ указаннаго на чертежѣ угла наклоненія. Дыры должны быть перпендикулярны къ боковымъ гранямъ. Концевыя грани накладокъ должны быть перпендикулярны къ ея продольной оси.

§ 3. Освидѣтельствованіе и пріемка. Предъявленныя къ пріемкѣ накладки и подкладки подвергаются: а) наружнему осмотру и обмѣру для удостовѣренія въ ихъ удовлетворительности по наружнему виду и въ соотвѣтствіи чертежамъ и б) механическому испытанію для удостовѣренія въ доброкачественности металла, изъ коего онѣ изготовлены.

а) Осмотръ и обмѣръ производятся поштучно въ количествѣ, опредѣляемомъ пріемщикомъ, но не менѣе 10% отъ предъявленной партіи, причемъ, если въ числѣ осмотрѣнныхъ и обмѣренныхъ накладокъ и подкладокъ окажется неудовлетворительныхъ не болѣе двухъ (2%) процентовъ, то, по исключеніи этихъ 2% изъ партіи, остальныя подвергаются испытанію; если же процентъ неудовлетворительныхъ предметовъ будетъ болѣе двухъ и не свыше десяти, то заводу предоставляется, ранѣе механическаго испытанія такой партіи, пересортировать ее и затѣмъ вторично предъявить къ пріемкѣ.

Если количество негодныхъ предметовъ, въ числѣ осмотрѣнныхъ пріемщикомъ, будетъ болѣе десяти процентовъ, то предъявленная партія бракуется *).

Забракованныя накладки и подкладки заводоуправленіе не должно убирать до окончанія пріемки всей предъявленной партіи.

б) Все количество предъявленныхъ накладокъ и подкладокъ, признанныхъ удовлетворительными по наружнему виду и размѣрамъ, разбивается заводомъ для производства механическихъ испытаній на отдѣльныя партіи, а именно: первыя десять тысячъ предъявленныхъ накладокъ—на партіи около двухъ тысячъ штукъ, и далѣе десяти тысячъ—на партіи по пяти тысячъ штукъ въ каждой; для подкладокъ партіи составляются въ тройномъ количествѣ противъ вышеуказаннаго количества штукъ накладокъ.

Остатокъ, полученный при раздѣленіи всего количества накладокъ и подкладокъ на партіи, составляетъ особую партію.

Составленныя такимъ образомъ партіи испытываются отдѣльно, и испытанію подвергаются по пяти накладокъ изъ литого желѣза, по три накладки изъ сварочнаго желѣза и по три подкладки изъ каждой партіи.

1) Три пробныхъ накладки изъ сварочнаго желѣза и подкладки изъ литого или сварочнаго желѣза испытываются на изгибъ слѣ-

---

*) Приказъ М. П. С. отъ 9 сентября 1898 г., № 120.

НТБ ДНУЗТ

дующимъ образомъ: онѣ въ холодномъ состояніи сгибаются постепеннымъ давленіемъ до прямого угла для подкладокъ изъ литого или сварочнаго желѣза и на уголъ 60^0 (внутренній уголъ 120^0) для накладокъ изъ сварочнаго желѣза, причемъ не должно обнаруживаться признаковъ поврежденія металла.

Фасонныя накладки, предварительно вышеуказанной пробы, разрѣзаются по углу на двѣ полки, и каждая такая полка съ опиленными краями испытывается, какъ плоская накладка.

Накладка и подкладка сварочнаго желѣза изгибаются вдоль волокон въ томъ направленіи, въ которомъ сварочное желѣзо можетъ выдержать наибольшее сопротивленіе. Сгибъ подкладки долженъ не проходить чрезъ отверстія.

Дополнительныя условія, согласно приказу М. П. С. отъ 10 января 1899 г., за № 5:

а) для подкладокъ изъ сварочнаго желѣза испытаніе сгибаніемъ, вообще, должно производиться поперекъ направленія прокатки, причемъ, въ случаѣ, если означенному изгибу мѣшаютъ реборды, таковыя допускается снять съ испытательнаго образца;

б) для подкладокъ изъ литого желѣза считается обязательнымъ условіемъ опиловка обрѣзныхъ кромокъ передъ испытаніемъ, и

в) подкладки испытываются на сгибъ въ готовомъ видѣ, т.-е. съ пробитыми дырами.

Сверхъ сего, какъ общее разъясненіе къ нормальнымъ техническимъ условіямъ на поставку желѣзно-дорожныхъ принадлежностей:

г) во всѣхъ случаяхъ, когда изготовленіе пробныхъ образцовъ (для растяженія, сгибанія и проч.) исполняется посредствомъ ножницъ, продавливаніемъ и тому подобными способами, кромки образцовъ должны быть предъ испытаніемъ опиливаемы.

2) Одна пробная накладка изъ литого желѣза испытывается до пробивки дыръ на разрывъ. Изготовленный изъ нея нормальный образецъ, шириною около 30 мм. и толщиною, равною толщинѣ подкладки, долженъ давать сопротивленіе на разрывъ не менѣе 42 клгр. на квад. мм., причемъ сумма цифръ сопротивленія и удвоеннаго удлиненія $(R+2i)$ должна быть не менѣе 75.

3) Остальныя четыре пробныя накладки изъ литого желѣза употребляются для приготовленія двухъ рельсовыхъ стыковъ, состоящихъ каждый изъ двухъ обрубковъ рельсовъ, длиною по три фута, и двухъ испытуемыхъ накладокъ, плотно свинченныхъ болтами; составленные такимъ образомъ стыки, расположенные на опорахъ, взаимно удаленныхъ на три съ половиною фута, должны выдержать посединѣ два удара бабы вѣсомъ 30 пудовъ, падающей съ высоты равной $^1/_2\ H$ (буква H означаетъ ударную высоту для пробы рельсовъ соотвѣтственнаго типа согласно установленныхъ техническихъ условій на ихъ поставку, если высота эта не оговорена въ условіяхъ заказа); при этихъ испытаніяхъ накладки не должны давать трещинъ или разрывовъ, хотя бы стыкъ изгибался и болты ломались.

НТБ ДНУЗТ

Если при означенныхъ испытаніяхъ двѣ пробы дадутъ неудовлетворительные результаты, то соотвѣтствующая партія бракуется; если же только одна проба не выдержитъ испытанія, то партія раздѣляется на четыре части, и каждая такая часть подвергается, какъ отдѣльная партія, тѣмъ же испытаніямъ, коимъ не удовлетворила первоначальная партія.

Если въ какой-либо части хотя одно испытаніе дастъ неудовлетворительные результаты, то эта часть бракуется.

§ 4. Нормальный вѣсъ *). Нормальный вѣсъ каждаго типа накладокъ, подкладокъ, болтовъ съ гайками, шуруповъ и костылей опредѣляется взвѣшиваніемъ 100 шт. накладокъ и 200 шт. остальныхъ родовъ скрѣпленій, выбранныхъ пріемщикомъ въ началѣ выдѣлки и наименѣе отличающихся отъ опредѣленныхъ по чертежу размѣровъ и, во всякомъ случаѣ, не отклоняющихся по своимъ размѣрамъ до предѣловъ, допускаемыхъ § 1 сихъ технических условій.

Для каждаго заказа опредѣленіе нормальнаго вѣса повторяется послѣ пріемки не болѣе 10 000 пуд. каждаго рода и типа скрѣпленій.

Дѣйствительный вѣсъ скрѣпленій опредѣляется взвѣшиваніемъ всего предъявленнаго количества скрѣпленій, по предварительномъ раздѣленіи такового на партіи въ 1000 шт. для накладокъ и подкладокъ и въ 3000 шт. для остальныхъ родовъ скрѣпленій, или же части сего количества, по усмотрѣнію принимающаго агента, но, во всякомъ случаѣ, не менѣе $2^0/_0$ отъ каждой партіи накладокъ и подкладокъ въ 1000 шт. и не менѣе $^2/_3\,^0/_0$ отъ каждой партіи шуруповъ, костылей, болтовъ и гаекъ въ 3000 шт. Скрѣпленія съ перевѣсомъ, а также недовѣсомъ до $2^0/_0$ противъ соотвѣтствующаго нормальнаго вѣса, опредѣляемаго періодически согласно вышеизложенному, допускаются къ пріемкѣ, если только въ обоихъ случаяхъ они удовлетворяютъ всѣмъ остальнымъ условіямъ. Вѣсъ, подлежащій оплатѣ, опредѣляется заказчикомъ въ договорѣ его съ заводчикомъ на изготовленіе скрѣпленій.

16. Болты, гайки и шурупы.

§ 1. Размѣры и наружній видъ. Болты и шурупы должны быть изготовлены согласно съ утвержденными чертежами; отступленія отъ показанныхъ на чертежахъ размѣровъ не должны превосходить въ длинѣ—трехъ миллиметровъ, въ прочихъ измѣреніяхъ—половины миллиметра. Головки ихъ должны быть не приваренныя, а выкованныя или выштампованныя изъ стержня. Нарѣзка болтовъ должна быть правая по шкалѣ Витворта, нарѣзка шуруповъ—полная согласно чертежу; она должна быть съ чистыми краями на длину, указанную на чертежѣ, и ось ея должна совпадать съ осью стержня.

---

*) Приказъ М. П. С. отъ 3 декабря 1899 г., № 146.

НТБ ДНУЗТ

Желѣзо, предназначенное для изготовленія гаекъ, должно быть въ изломѣ однородное и по наружнему виду не представлять никакихъ пороковъ. Гайки должны быть изготовлены правильно и чисто; дыры должны быть сдѣланы въ центрѣ ихъ тѣла и въ направленіи, перпендикулярномъ къ нижней грани; винтовая нарѣзка гаекъ должна совершено совпадать съ нарѣзкою въ болтахъ; каждая гайка должна подходить ко всѣмъ болтамъ безъ заѣданія и подвинчиваться обыкновеннымъ гаечнымъ ключемъ легко, по безъ хлябанія, до конца нарѣзки; будучи же подвинчена на шесть нитокъ нарѣзки, она должна сидѣть плотно, не шатаясь.

Примѣчаніе. Болты, гайки и шурупы непосредственно послѣ нарѣзки должны быть смазаны погруженіемъ въ растопленное сало или инымъ подобнымъ способомъ.

§ 2. Освидѣтельствованіе и пріемка. Предъявленные къ пріемкѣ болты, гайки и шурупы подвергаются:

а) наружнему осмотру и обмѣру для удостовѣренія въ ихъ удовлетворительности по наружнему виду и въ соотвѣтствіи чертежамъ и

в) механическому испытанію для удостовѣренія въ доброкачественности металла, изъ коего они изготовлены.

а. Осмотръ и обмѣръ ихъ производятся поштучно въ количествѣ, опредѣляемомъ пріемщикомъ, но не менѣе 10% отъ предъявленной партіи, причемъ, если въ числѣ осмотрѣнныхъ предметовъ окажется неудовлетворительныхъ не свыше двухъ процентовъ то, по исключеніи этихъ 2% изъ партіи, остальные подвергаются испытаніямъ; если же процентъ неудовлетворительныхъ предметовъ окажется болѣе двухъ и не свыше десяти, то заводу предоставляется, ранѣе механическаго испытанія такой партіи, пересортировать ее и затѣмъ вторично предъявить къ пріемкѣ.

Если количество негодныхъ предметовъ, въ числѣ осмотрѣнныхъ пріемщикомъ, будетъ болѣе десяти процентовъ, то предъявленная партія бракуется *).

Забракованные предметы заводоуправленіе не должно убирать до окончанія пріемки всей предъявленной партіи.

б. Все количество предъявленныхъ болтовъ, шуруповъ и гаекъ, признанныхъ удовлетворительными по наружнему виду и размѣрамъ, разбивается заводомъ для производства механическихъ испытаній на отдѣльныя партіи, а именно: первыя 10 000 предъявленныхъ предметовъ каждаго рода на партіи около 2000 шт.; слѣдующія отъ 10 000 до 100 000 на партіи около 5000 шт. и далѣе 100 000 на партіи около 8000 шт. въ каждой. Остатокъ, полученный при раздѣленіи всего количества предметовъ на партіи, составляетъ особую партію.

Составленныя такимъ образомъ партіи испытываются отдѣльно и испытанію подвергаются по 3 штуки изъ каждаго рода издѣлій, т.-е. 3 болта, 3 гайки и 3 шурупа. Болты и шурупы испыты-

*) Приказъ М. П. С. отъ 9 сентября 1898 г., № 120.

НТБ ДНУЗТ

ваются до нарѣзки, перегибаніемъ стержня на наковальнѣ съ округленными краями, безъ признаковъ поврежденія металла, на 90° для болтовъ и шуруповъ изъ сварочнаго желѣза и на 120° (внутренній уголъ) изъ литого желѣза. Въ случаѣ предъявленія заводомъ болтовъ или шуруповъ для испытанія послѣ нарѣзки,— они должны перегибаться безъ поврежденія металла на 45° (внѣшній уголъ). Гайки изъ литого или сварочнаго желѣза испытываются осадкой, въ холодномъ состояніи, ударами молота по наружней грани до сплющиванія на 20% діаметра гайки безъ признаковъ разрушенія металла.

Если изъ числа пробныхъ болтовъ, гаекъ или шуруповъ данной партіи хотя одинъ испытываемый образецъ каждаго рода издѣлій не удовлетворитъ требуемымъ качествамъ, то эта партія раздѣляется на 4 части и каждая такая часть испытывается, какъ отдѣльная партія. Если въ какой либо части хотя одинъ болтъ, гайка или шурупъ не выдержатъ испытанія, то эта часть бракуется *).

§ 3. Принятые болты, гайки и шурупы отмѣчаются выжиганіемъ или выставленіемъ трафаретами нумеровъ партій на ящикахъ и бочкахъ, въ которыхъ они упаковываются.

§ 4. Нормальный вѣсъ. См. стр. 1133.

17. Костыли.

§ 1. Размѣры. Костыли должны быть изготовлены согласно съ утвержденными чертежами. Отступленія отъ показанныхъ на чертежѣ размѣровъ не должны превосходить въ длинѣ трехъ миллиметровъ, въ ширинѣ и толщинѣ стержня половины миллиметра, въ прочихъ измѣреніяхъ костыли не должны быть меньше показанныхъ на чертежахъ. Размѣры ушей повѣряются особо отъ прочихъ размѣровъ и не должны быть меньше показанныхъ на чертежѣ. Очертаніе поверхности примыканія бородки костыля къ рельсу повѣряется по шаблону, и отступленія въ этомъ очертаніи не допускаются. Утолщеніе стержня подъ головкой костыля на длинѣ до 10 мм. допускается и болѣе половины миллиметра.

§ 2. Наружній видъ. Костыли должны быть безъ прогаровъ, рванинъ и пузырей, причемъ поверхностныя, но не идущія въ глубь складки у головки костыля со стороны ушей, полученныя при отковкѣ и не имѣющія вліянія на прочность ихъ, не признаются за пороки. Въ костыляхъ не требуется рѣзкихъ реберъ и плоскихъ граней, но они должны быть откованы возможно чисто. Головки костылей должны быть сдѣланы изъ одного куска со стержнемъ. Костыли, изготовленные изъ литого желѣза, подвергаются медленному охлажденію, для чего послѣ отковки слѣдуетъ ихъ складывать возможно большими кучами.

---

*) Циркуляръ Упр. жел. дор. отъ 8/9 ноября 1899 г., за № 45525/123.

НТБ ДНУЗТ

§ 3. Освидѣтельствованіе и пріемка. Предъявленные къ пріемкѣ костыли подвергаются: а) наружнему осмотру и обмѣру—для удостовѣренія въ ихъ удовлетворительности по наружнему виду и въ соотвѣтствіи чертежамъ; б) механическому испытанію—для удостовѣренія къ доброкачественности металла, изъ котораго костыли изготовлены.

а. Осмотръ и обмѣръ костылей производится поштучно, въ количествѣ, опредѣленномъ пріемщикомъ, но не менѣе 10% отъ предъявленной партіи, причемъ, если въ числѣ осмотрѣнныхъ и обмѣренныхъ костылей окажется неудовлетворительныхъ не свыше двухъ процентовъ всей предъявленной партіи, то, по исключеніи этихъ 2% изъ партіи, остальные подвергаются испытаніямъ; если же процентъ неудовлетворительныхъ костылей будетъ болѣе двухъ и не свыше десяти, то заводу предоставляется, ранѣе механическаго испытанія такой партіи, пересортировать ее и затѣмъ вторично предъявить ее къ пріему *).

Если количество негодныхъ костылей въ числѣ осмотрѣнныхъ пріемщикомъ будетъ превосходить десять процентовъ, то предъявленная партія бракуется.

Забракованные костыли заводоуправленіе не должно убирать до окончанія пріемки всей предъявленной партіи.

Принятые костыли отмѣчаются выжиганіемъ или выставленіемъ трафаретами нумеровъ партій на ящикахъ или бочкахъ, въ которыхъ они упаковываются.

б. Все количество предъявленныхъ костылей, признанныхъ удовлетворительными по наружнему виду и размѣрамъ, разбивается заводомъ для производства механическихъ испытаній на отдѣльныя партіи, а именно: первыя десять тысячъ предъявленныхъ костылей—на партіи около двухъ тысячъ штукъ, слѣдующія отъ десяти до ста тысячъ—на партіи около пяти тысячъ штукъ, и далѣе ста тысячъ костылей—на партіи около восьми тысячъ штукъ въ каждой.

Остатокъ, полученный при раздѣленіи всего количества костылей на партіи, составляетъ особую партію.

Составленныя такимъ образомъ партіи испытываются отдѣльно, и испытанію подвергается по три костыля изъ каждой партіи.

Два пробныхъ костыля испытываются на изгибъ въ холодномъ состояніи, причемъ костыли изъ литого желѣза сгибаются въ кольцо до тѣхъ поръ, пока бородка коснется стержня, костыли же изъ сварочнаго желѣза сгибаются на наковальнѣ съ округленными краями на 45° (внутренній уголъ 135°) съ обратнымъ выпрямленіемъ.

Третій пробный костыль долженъ выдерживать шестикратную забивку въ дубовую шпалу съ выдергиваніемъ.

Какъ при первомъ, такъ и при послѣднемъ родѣ испытаній не должно обнаруживаться признаковъ поврежденій металла.

---

*) Приказъ М. П. С. отъ 9 сентября 1898 г., № 120.

НТБ ДНУЗТ

Если изъ числа пробныхъ костылей два не выдержатъ испытанія, то соотвѣтствующая партія бракуется; если же только одинъ костыль не выдержитъ испытанія, то эта партія раздѣляется на четыре части, и каждая такая часть испытывается какъ отдѣльная партія костылей. Если въ какой-либо части хоть одинъ костыль не выдержитъ испытанія, то эта часть бракуется.

§ 4. Нормальный вѣсъ см. стр. 1133.

18. Литое желѣзо, чугунъ и сталь для мостовъ.

Литое желѣзо. Литое желѣзо, предназначенное для изготовленія мостовъ и отдѣльныхъ частей ихъ, должно удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

§ 1. На поверхности желѣза не должно обнаруживаться разслоеній, непроваровъ, трещинъ, пленъ, иныхъ нецѣльныхъ мѣстъ и, вообще, недостатковъ, могущихъ вредить прочности поставляемаго желѣза. На ребрахъ граней желѣза не должно быть рванинъ.

§ 2. По выходѣ желѣза изъ вальцовъ, заводъ обязанъ устранять всѣ причины быстраго мѣстнаго охлажденія, принимая къ тому мѣры по своему усмотрѣнію.

§ 3. Профиль сортового и фасоннаго желѣза должна быть согласна со спецификаціей заказчика. Кромки должны быть чистыя, причемъ разрѣшаются допуски, смотря по толщинѣ, до 13 мм.—0,5 мм., а при большей толщинѣ—1 мм. въ ту или другую сторону, допуски въ ширину могутъ быть до 3 миллиметровъ, а въ длину до 10 миллиметровъ и болѣе; смотря по требованію точности въ обоихъ случаяхъ, допуски разрѣшаются въ ту или другую сторону. Мостовое желѣзо должно имѣть размѣры, соотвѣтствующіе заводской спецификаціи, причемъ допуски могутъ колебаться въ такихъ предѣлахъ, чтобы вѣсъ штуки отличался не болѣе, какъ на $5^0/_0$ въ ту или другую сторону отъ требуемаго вѣса.

§ 4. Прокатанное литое желѣзо не должно ни ломаться, ни давать трещинъ при сгибаніи полосъ въ холодномъ состояніи ударами молотка такимъ образомъ, чтобы внутреннія поверхности согнутой полосы, при толщинѣ ея отъ 9 миллиметровъ до 20 миллиметровъ, соприкасались на всемъ протяженіи, при толщинѣ же полосъ, меньшей 9 миллиметровъ, или отъ 20 миллиметровъ до 30 мм., внутреннія поверхности согнутой полосы должны отстоять на всемъ своемъ протяженіи на толщину полосы, а при толщинѣ полосы, большей 30 миллиметровъ, внутреннія поверхности согнутой полосы должны отстоять на всемъ протяженіи на двойную толщину полосы.

Литое желѣзо не должно принимать закалки, въ удостовѣреніе чего пробныя полосы, нагрѣтыя до вишнево-краснаго цвѣта и охлажденныя затѣмъ въ холодной водѣ, должны сгибаться безъ обнаруженія надрывовъ, трещинъ или разслоеній; при этомъ сги-

НТБ ДНУЗТ

баніе полосъ различной толщины производится, какъ выше указано при пробѣ на изгибъ, въ незакаленномъ состояніи.

Примѣчаніе. Желѣзо для подкладокъ и шайбъ никакимъ испытаніямъ не подвергается.

§ 5. Литое желѣзо, выдержавшее вышеуказанныя испытанія, подвергается вслѣдъ затѣмъ испытанію разрывомъ.

Усиліе, способное разорвать желѣзо при плавномъ увеличеніи растягивающихъ силъ, должно быть отъ 35 до 45 килограммовъ на квадратный миллиметръ, при толщинѣ желѣза отъ 8 миллиметровъ и выше. При этомъ удлиненіе должно быть не менѣе 20% и сумма цифръ сопротивленія съ удвоеннымъ удлиненіемъ должна быть не менѣе 85, или иначе $R+2i$ должно быть равно или болѣе 85.

Для желѣза толщиною менѣе 8 миллиметровъ, при томъ же сопротивленіи отъ 35 до 45 килограммовъ на квадратный миллиметръ, допускаются при разрывной пробѣ въ вышеупомянутыхъ предѣлахъ слѣдующія удлиненія:

при	толщинѣ въ	7	мм.	не менѣе	18%
„	„	6			17%
		5		„ „	16%
„	„ „	4	„	„ „	15%

Желѣзо толщиною менѣе 4-хъ миллиметровъ пробѣ на разрывъ не подвергается.

Если бы при испытаніи на разрывъ образца, взятаго изъ какой-либо штуки, получилось временное сопротивленіе менѣе 35, но не ниже 34 килограммовъ, то слѣдуетъ повторить разрывную пробу надъ другимъ образцомъ той же штуки, и если при этомъ низшій предѣлъ окажется не менѣе 35 килограммовъ, то таковые результаты признаются удовлетворительными.

Примѣчаніе. При пробѣ на разрывъ отсчетъ удлиненія производится по правиламъ, установленнымъ общею для сего инструкціею.

§ 6. Для производства механическихъ испытаній литое желѣзо разбивается пріемщикомъ на партіи по 100 шт. въ каждой, если предъявленныя къ сдачѣ части одного и того же сорта не превышаютъ 300 шт., причемъ остатокъ менѣе 100 шт. считается за партію.

При сдачѣ свыше 300 шт. одного и того же сорта по размѣрамъ, излишекъ свыше 300 шт. можетъ быть разбитъ, по усмотрѣнію пріемщика, для облегченія пріемки, на партіи не болѣе какъ въ 300 шт.

Партіи составляются отдѣльно для листового, полосового, углового и прочаго желѣза, разнящагося между собою по толщинѣ не свыше 2,5 мм., а по ширинѣ не свыше 75 мм. для листового желѣза и не свыше 25 мм. для полосового, углового, тавроваго и другого фасоннаго желѣза.

Если хотя одинъ изъ образцовъ данной партіи не удовлетворяетъ требуемымъ качествамъ, то изъ этой же партіи выбираются для переиспытанія еще двѣ штуки, и изъ каждой штуки пригото-

НТБ ДНУЗТ

вляется число образцовъ, соотвѣтственно числу неудовлетворительныхъ испытаній.

Если бы при этомъ переиспытаніи хотя одинъ изъ образцовъ оказался неудовлетворительнымъ, то соотвѣтствующая партія бракуется.

§ 7. Образцы для испытанія на изгибъ, закалку и разрывъ вырѣзаются изъ пробныхъ концовъ, оставленныхъ при обрѣзаніи штукъ въ мѣру. Такіе концы должны быть оставлены на противоположныхъ концахъ по направленію прокатки и, если позволяетъ ширина, то и на сторонѣ штукъ, приходящихся поперекъ прокатки, образцы должны быть вырѣзаемы только сверломъ или рѣзцомъ безъ сгибанія, ударовъ, рѣзки ножницами, нагрѣванія и отжиганія.

Число оставленныхъ припусковъ не должно быть менѣе 5% числа штукъ въ партіи, причемъ количество образцовъ берется согласно предыдущаго пункта.

Въ исключительныхъ случаяхъ, при достаточно мотивированномъ сомнѣніи пріемщика, ему предоставляется брать образцы и отъ вполнѣ готовыхъ штукъ, ограничивая число образцовъ указаніями пункта шестого.

§ 8. Заводы, вырабатывающіе литое мостовое желѣзо, должны производить химическіе анализы такового на содержаніе въ немъ углерода, фосфора и сѣры. Эти анализы должны дѣлаться при употребленіи на изготовленіе желѣза одинаковыхъ чугуновъ изъ каждой 10-ой плавки, а при разныхъ чугунахъ—изъ каждой пятой плавки.

Результаты произведенныхъ на заводѣ анализовъ представляются пріемщикомъ въ Главную Заводскую Инспекцію.

Эти химическіе анализы имѣютъ только факультативное значеніе, не должны вписываться въ акты или служить условіемъ браковки, а равно вліять на уплату причитающихся заводу денегъ.

§ 9. **Литое заклепочное желѣзо**. Литое желѣзо для заклепокъ должно быть мягкое, лучшаго качества и діаметромъ, соотвѣтственнымъ діаметру, показанному на чертежѣ дыръ, для которыхъ таковое предназначается, причемъ заклепочное желѣзо можетъ быть на $^1/_{20}$ долю, но не свыше какъ на 1 мм., менѣе проектнаго діаметра, и ни въ какомъ случаѣ не болѣе такового.

§ 10. Заклепочное литое желѣзо при изгибѣ въ холодномъ состояніи должно согнуться настолько, чтобы согнутые концы были между собой параллельны, и разстояніе между ними равнялось бы толщинѣ прута, при этомъ не должно обнаружиться никакихъ признаковъ разрушенія.

Въ горячемъ состояніи заклепочное желѣзо должно согнуться вплотную на 180°, не обнаруживая признаковъ разрушенія.

При образованіи пробныхъ головокъ въ горячемъ состояніи послѣднія должны быть чисты, безъ трещинъ.

§ 11. При пробѣ на разрывъ заклепочнаго желѣза, нормальные

НТБ ДНУЗТ

образцы должны давать сопротивленіе отъ 34 до 40 килограммовъ на квадратный миллиметръ, при удлиненіи не менѣе 25%, съ тѣмъ, чтобы сопротивленіе, сложенное съ удвоеннымъ удлиненіемъ, т. е. $R+2i$, было равно или болѣе девяносто (90).

§ 12. Для производства испытаній заклепочное желѣзо разбивается на партіи по величинѣ діаметра отдѣльныхъ сортовъ, причемъ изъ каждой партіи избирается не менѣе трехъ (3) кусковъ и не болѣе одной четверти процента ($^1/_4\%$) по счету. Изъ нихъ изготовляются образцы для испытанія, согласно пунктовъ 10-го и 11-го, и при томъ въ количествѣ не менѣе трехъ образцовъ отъ каждой партіи для каждаго испытанія.

Если одинъ изъ образцовъ для какого-либо испытанія не удовлетворитъ требуемымъ качествамъ, то соотвѣтствующее испытаніе повторяется надъ тремя образцами, взятыми дополнительно изъ тѣхъ же партій, но если и при этомъ хотя бы одинъ образецъ оказался неудовлетворительнымъ, то вся соотвѣтствующая партія желѣза бракуется.

§ 13. **Чугунъ.** Чугунъ для опорныхъ частей верхняго строенія мостовъ долженъ быть лучшаго достоинства, второго литья, мягкій, легко обрабатываемый зубиломъ и сверломъ, и представлять изломъ мелкозернистый, однородный, безъ малѣйшихъ раковинъ, пузырей и другихъ недостатковъ, способныхъ вредить его сопротивленію.

Ударъ молоткомъ о край чугуна долженъ оставлять впечатлѣніе, причемъ кромки, однако, не должны крошиться.

§ 14. При пробѣ на разрывъ чугунъ долженъ выдержать не менѣе 10 килограммовъ на квадратный миллиметръ.

Испытаніе производится надъ образцами круглаго сѣченія, діаметромъ 20 миллиметровъ и длиною между кернами 200 миллиметровъ, съ нормальною головкою, какъ для круглыхъ желѣзныхъ образцовъ.

Отъ каждой испытуемой плавки должно быть изготовлено и испытано не менѣе трехъ образцовъ.

Образцы изготовляются изъ спеціально отлитыхъ брусковъ той самой плавки, изъ которой изготовляются чугунныя части, причемъ бруски для образцовъ отливаются длиною 1 метръ и діаметромъ 32 миллиметра. Бруски эти отливаются горизонтально, съ производствомъ литья изъ двухъ воронокъ, размѣщенныхъ въ одной трети ($^1/_3$) отъ концовъ.

§ 15. **Сталь.** Примѣняемая для опорныхъ частей сталь должна быть мелкозернистаго сложенія, безъ пузырей и прочихъ недостатковъ, и послѣ обточки имѣть совершенно гладкія поверхности, безъ пленъ, раковинъ и другихъ неровностей.

§ 16. Сталь подвергается пробѣ на разрывъ, причемъ требуется для кованной стали временное сопротивленіе отъ 50 до 60 килограммовъ на квадратный миллиметръ при удлиненіи не менѣе 12%, а для отливокъ временное сопротивленіе не менѣе 45 килограммовъ на квадратный миллиметръ при удлиненіи не менѣе 8%.

Образцы изготовляются согласно инструкціи.

НТБ ДНУЗТ

§ 17. Вѣсъ. Независимо отъ указанныхъ выше качествъ металловъ, предназначаемыхъ для изготовленія мостовъ, они вмѣстѣ съ тѣмъ должны обладать слѣдующими удѣльными вѣсами:

литое желѣзо и сталь	7,85
чугунъ.	7,2,

каковыя величины принимаются въ основаніе исчисленія теоретическаго или разсчетнаго вѣса.

19. Сварочное желѣзо, чугунъ и сталь для мостовъ.

Сварочное желѣзо, предназначаемое для изготовленія мостовъ и отдѣльныхъ частей ихъ, должно удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

§ 1. Сварочное желѣзо всѣхъ сортовъ должно быть хорошо сваренное, мягкое какъ въ холодномъ, такъ и нагрѣтомъ состояніи, въ изломѣ представлять сложеніе волокнистое и должно быть хорошо прокатано по направленію тѣхъ усилій, которымъ будетъ подвергаться въ постройкѣ. Наружнія поверхности прокатаннаго желѣза должны быть чисты и не имѣть недостатковъ, вредящихъ прочности сооруженія, для котораго матеріалъ предназначается.

§ 2. Профиль сортового и фасоннаго желѣза должна быть согласна съ спецификаціей заказчика. Кромки должны быть чистыя, причемъ разрѣшаются допуски, смотря по толщинѣ желѣза, а именно: при толщинѣ до 13 мм.—0,5 мм., а при большей толщинѣ 1 мм. въ ту или другую сторону, допуски въ ширинѣ могутъ быть до 3 мм., а въ длину 10 мм. и болѣе; смотря по требованію точности, въ обоихъ случаяхъ допуски разрѣшаются въ ту или другую сторону. Листовое желѣзо должно имѣть размѣры, соотвѣтственно заводской спецификаціи, причемъ допуски могутъ колебаться въ такихъ предѣлахъ, чтобы вѣсъ штуки отличался не болѣе какъ на $5^0/_0$ въ ту или другую сторону отъ требуемаго вѣса.

§ 3. Листовое желѣзо должно изгибаться въ холодномъ состояніи безъ всякихъ трещинъ до опредѣленнаго ниже внѣшняго угла между одной стороной и продолженіемъ другой, причемъ изгибаніе дѣлается съ помощью валика 25 мм. діаметромъ.

Толщина листовъ въ миллиметрахъ.	Внѣшній уголъ изгиба въ градусахъ.	
	При изгибаніи по направленію волоконъ.	При изгибаніи поперекъ волоконъ.
20—16	25^0	10^0
15—12	35^0	15^0
11—7	50^0	20^0

Кромѣ того, въ листахъ пробиваются въ холодномъ состояніи дыры отъ $^3/_4$ до одного дюйма въ разстояніи отъ края листа до края дыры на діаметръ дыры, причемъ въ пробиваемыхъ листахъ не должно оказываться трещинъ, а выдавливаемые куски должны быть плотны и не оказывать слоистаго сложенія.

НТБ ДНУЗТ

Полосовое, угловое, тавровое и прочее желѣзо должно подчиняться тѣмъ же условіямъ, какъ и листовое желѣзо относительно изгибанія вдоль волоконъ, причемъ, для испытанія углового и вообще фасоннаго желѣза, таковое разрѣзывается по углу.

Примѣчаніе. Желѣзо для подкладокъ и шайбъ никакимъ испытаніямъ не подвергается.

§ 4. Листовое, полосовое и фасонное жнлѣзо, разрѣзанное по углу, при темнокрасномъ каленіи должно, при толщинѣ желѣза до 20 мм., складываться вплотную, а при большей толщинѣ обогнуть стержень, равный толщинѣ испытуемаго желѣза, до параллельности сторонъ, безъ обнаруженія притомъ трещинъ въ мѣстахъ сгиба. Кромѣ того, желѣзо всѣхъ сортовъ должно хорошо свариваться, причемъ для тѣхъ образцовъ, которые при испытаніи на разрывъ, согласно § 5, дали временное сопротивленіе болѣе 31 килограмма на кв. мм. и удлиненіе около $12^0/_0$, производится обязательная проба на сварку и, въ случаѣ неудовлетворительныхъ результатовъ, соотвѣтственная партія желѣза переиспытывается, послѣ чего, въ случаѣ неудовлетворительныхъ результатовъ, все желѣзо этой партіи бракуется

§ 5. Сварочное желѣзо, выдержавшее вышеуказанныя въ пунктѣ 3 и 4 испытанія, подвергается вслѣдъ затѣмъ испытанію разрывомъ, при которомъ желѣзо должно давать временное сопротивленіе разрыву не менѣе 34 килограммовъ на квадратный миллиметръ вдоль прокатки и не менѣе 28 килограммовъ на квадратный миллиметръ пеперекъ прокатки. При такомъ разрывѣ удлиненіе желѣза должно быть при испытаніи вдоль прокатки не менѣе $12^0/_0$, а при испытаніи поперекъ прокатки $2^1/_2{}^0/_0$ для всякаго желѣза, кромѣ назначеннаго для листовъ поясовъ, балокъ проѣзжей части и планокъ въ связяхъ и раскосахъ фермъ, которое должно давать удлиненіе поперекъ не менѣе $3^0/_0$.

§ 6. Желѣзо для звѣздъ въ среднихъ раскосахъ должно давать сопротивленіе и удлиненіе по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ тѣ-же, что требуются для направленія вдоль волоконъ, т. е. не менѣе 34 килограммовъ временнаго сопротивленія и $12^0/_0$ удлиненія.

§ 7. Для производства механическихъ испытаній (на изгибъ, сварку и разрывъ), по выбору пріемщика, изъ предъявленной ему партіи берется не менѣе одного образца для каждаго испытанія, причемъ, при количествѣ не свыше 300 штукъ предъявленныхъ къ сдачѣ частей, поставка разбивается на партіи по 100 штукъ, а остатокъ менѣе 100 штукъ считается за цѣлую партію. Для облегченія пріема партій свыше 300 штукъ одного и того же сорта, каждыя 300 или 500 штукъ (по усмотрѣнію пріемщика) считаются отдѣльною партіею. Партіи составляются отдѣльно для полосового, углового, тавроваго и другого фасоннаго желѣза, разнящагося между собою по толщинѣ не свыше 2,5 мм., а по ширинѣ не свыше 25 мм., а для листового не свыше 150 мм.

НТБ ДНУЗТ

Въ случаѣ неудовлетворительныхъ разультатовъ по какому-либо роду испытанія, берутся вмѣсто каждаго неудовлетворившаго условіямъ образца два другихъ, и если хотя одинъ изъ этихъ послѣднихъ не выдержитъ испытанія, то соотвѣтствующая партія бракуется. Образцы для испытанія на изгибъ и разрывъ вырѣзываются изъ пробныхъ концовъ, оставленныхъ при обрѣзаніи штукъ въ мѣру. Такіе концы должны быть оставлены на противоположныхъ концахъ по направленію прокатки; если позволяетъ ширина, то и на сторонѣ штукъ, приходящихся поперекъ прокатки.

Число оставленныхъ припусковъ не должно быть менѣе 5% числа штукъ въ партіи, причемъ количество образцовъ берется, какъ выше сказано; въ исключительныхъ случаяхъ, при достаточно мотивированномъ сомнѣніи пріемщика, ему предоставляется брать образцы и отъ вполнѣ готовыхъ штукъ, ограничивая число образцовъ приведенными выше указаніями.

§ 8, 9, 10, 11. Заклепочное желѣзо — см. спеціальныя техническія условія, стр. 1144.

§ 12. Чугунъ. Чугунъ для опорныхъ частей пролетнаго строенія мостовъ долженъ быть лучшаго достоинства, второго литья, мягкій, легко обрабатываемый зубиломъ и сверломъ и представлять изломъ мелкозернистый, однородный, безъ малѣйшихъ раковинъ, пузырей и другихъ недостатковъ, способныхъ вредить его сопротивленію. Ударъ молоткомъ о край чугуна долженъ оставлять впечатлѣніе, причемъ кромка, однако, не должна крошиться.

§ 13. При пробѣ на разрывъ чугунъ долженъ выдерживать не менѣе 10 килограм. на квадратный миллиметръ. Испытаніе производится надъ образцами круглаго сѣченія діаметромъ 20 миллиметровъ, длиною между кернами 200 миллиметровъ, съ нормальною головкою, какъ для круглыхъ желѣзныхъ образцовъ. Отъ каждой отдѣльной плавки должно быть изготовлено и испытано не менѣе трехъ образцовъ. Образцы изготовляются изъ спеціально отлитыхъ брусковъ той самой плавки, изъ которой изготовляются чугунныя части, причемъ бруски для образцовъ отливаются длиною 1 метръ и діаметромъ 32 мм. Бруски эти отливаются горизонтально съ производствомъ литья изъ двухъ воронокъ, размѣщенныхъ въ одной трети ($^1/_3$) отъ концовъ.

§ 14. Сталь. Примѣняемая для опорныхъ частей сталь должна быть мелкозернистаго сложенія, безъ пузырей и прочихъ недостатковъ, и послѣ обточки имѣть совершенно гладкія поверхности, безъ пленъ, раковинъ и другихъ неровностей.

§ 15. Сталь подвергается пробѣ на разрывъ, причемъ требуется для кованной стали временное сопротивленіе отъ 50 до 60 килограммовъ на квадратный миллиметръ, при удлиненіи не менѣе 12%, а для отливокъ временное сопротивленіе не менѣе 45 килограмм. на квадратный миллиметръ при удлиненіи не менѣе 8%. Образцы изготовляются согласно инструкціи.

НТБ ДНУЗТ

§ 16. Независимо отъ указанныхъ выше качествъ металлонъ, предназначенныхъ на изготовленіе пролетнаго строенія мостовъ, они вмѣстѣ съ тѣмъ должны обладать слѣдующими удѣльными вѣсами:

сварочное желѣзо	7,7
сталь	7,85
чугунъ	7,2,

каковыя величины принимаются въ основаніе исчисленія теоретическаго или разсчетнаго вѣса.

20. Заклепочное желѣзо для мостовъ *).

§ 1. Общія указанія и размѣры. Сварочное и литое желѣзо для заклепокъ должно быть мягкое, лучшаго качества, и діаметромъ соотвѣтственнымъ показанному на чертежахъ діаметру дыръ, для которыхъ таковое предназначается, или согласно спесификаціи, причемъ заклепочное желѣзо можетъ быть на $^1/_{20}$ долю, вообще не болѣе 1 мм., менѣе проектнаго діаметра, но ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть болѣе проектнаго діаметра.

§ 2. Испытанія. Для производства испытаній заклепочное желѣзо разбивается на партіи по 100 прутковъ въ каждой, причемъ разрѣшается соединять въ одну партію прутки различныхъ діаметровъ, разнящихся до 3 миллиметровъ. Изъ каждой партіи выбирается пріемщикомъ 1 прутокъ, изъ котораго приготовляется 4 образца для нижеуказанныхъ испытаній—по одному образцу для каждаго рода испытанія; при этомъ, однако, число прутковъ, независимо отъ числа поставляемыхъ партій, не должно быть менѣе трехъ.

а) Испытаніе на изгибъ въ холодномъ состояніи. Образецъ сварочнаго или литого желѣза долженъ согнуться настолько, чтобы согнутые концы были между собою параллельны и разстояніе между ними равнялось толщинѣ прута; при этомъ не должно обнаруживаться никакихъ признаковъ разрушенія.

б) Испытаніе на изгибъ въ горячемъ состояніи. Въ горячемъ состояніи образецъ сварочнаго или литого желѣза долженъ согнуться вплотную на 180°, не обнаруживая признаковъ разрушенія.

в) Испытаніе на образованіе пробныхъ головокъ. При образованіи изъ третьяго образца пробныхъ головокъ въ горячемъ состояніи, послѣднія должны быть безъ трещинъ.

г) Испытаніе на разрывъ.

---

*) Утвержд. приказомъ Министра П. С. отъ 3 декабря 1899 г. № 146.

НТБ ДНУЗТ

При пробѣ на разрывъ образецъ сварочнагожелѣза долженъ давать сопротивленіе не менѣе 36 $\frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$, при удлиненіи не менѣе $18^1/_2\,^0/_0$.

При пробѣ на разрывъ образецъ литого желѣза долженъ давать сопротивленіе отъ 34 до 40 $\frac{\text{кил.}}{\text{мм.}^2}$ при удлиненіи не менѣе $25^0/_0$ съ тѣмъ, чтобы сопротивленіе, сложенное съ удвоеннымъ удлиненіемъ, т.-е. $R+2i$ было равно, или болѣе 90.

Примѣчаніе. Въ случаѣ изготовленія заклепочнаго желѣза однимъ заводомъ, а заклепокъ—другимъ, на первомъ должны быть произведены всѣ испытанія надъ матеріаломъ, а на послѣднемъ—надъ готовыми заклепками, какъ указано въ § 5 техническихъ условій на изготовленіе, поставку и сборку металлическихъ частей мостовъ.

§ 3. Оцѣнка результатовъ испытанія. Если хотя одинъ изъ образцовъ данной партіи не удовлетворяетъ требуемымъ качествамъ для какого либо рода испытанія, то изъ этой же партіи для переиспытанія выбирается еще два прута и изъ каждаго прута приготовляется число образцовъ, соотвѣтственно числу неудавшихся испытаній.

Если бы при этомъ переиспытаніи хотя одинъ изъ образцовъ оказался неудовлетворительнымъ, то соотвѣтственная партія бракуется.

21. Изготовленіе, поставка и сборка металлическихъ частей мостовъ.

§ 1. Общія опредѣленія. Металлическіе мосты изготовляются въ пролетныхъ частяхъ изъ сварочнаго или литого желѣза, а въ опорныхъ частяхъ изъ чугуна и стали, согласно указаніямъ, даваемымъ при заказѣ и обусловленнымъ договоромъ.

Употребляемые для изготовленія моста матеріалы должны отвѣчать нормальнымъ техническимъ условіямъ на ихъ изготовленіе.

Происхожденіе матеріаловъ удостовѣряется фабричными клеймами, обозначенными на самомъ желѣзѣ, и въ случаѣ заказа желѣза другимъ фирмамъ, таковыя должны сопровождать поставку заказаннаго имъ желѣза письменными обязательствами, что поставленные ими матеріалы должны соотвѣтствовать всѣмъ требованіямъ техническихъ для нихъ условій.

Металлическія части мостовъ должны быть изготовлены въ точности, согласно съ утвержденными проектами.

Каждый пролетъ при сборкѣ на мѣстѣ долженъ имѣть подъемъ, указанный заказчикомъ при выдачѣ чертежей.

§ 2. Обработка металлическихъ частей. Листовое и прочее желѣзо, для приведенія его къ требуемымъ для мостовыхъ частей размѣрамъ, можетъ быть обрабатываемо ножницами въ холодномъ состояніи, причемъ для литого желѣза послѣ обрѣзанія всѣ кромки обрабатываемаго желѣза какъ поперечныя, такъ и

НТБ ДНУЗТ

продольныя, должны быть удалены или пилою, или рѣзцомъ, или шарошкою, наждачнымъ кругомъ, или на точильномъ станкѣ, на толщину не менѣе 1,5 мм.; если же это не будетъ исполнено заводомъ по недостатку запаса въ размѣрахъ, то обработанныя ножницами части нагрѣваются до вишнево-краснаго цвѣта и затѣмъ охлаждаются въ горячей песчаной банѣ.

Пригонка разныхъ сортовъ листового, углового и полосового желѣза должна производиться по надлежащей выправкѣ и обрѣзкѣ оныхъ. Открытые торцы обрѣзанныхъ листовъ и ихъ накладокъ должны имѣть правильныя грани, и всѣ вообще торцы по всей толщинѣ своей не должны представлять никакихъ разрывовъ или недостатковъ матеріала. Торцы всѣхъ стыковъ въ мѣстахъ ихъ взаимнаго соприкасанія должны быть остроганы или пригнаны другимъ способомъ подъ угломъ, вполнѣ соотвѣтствующимъ проектнымъ опредѣленіямъ.

Неровности кромокъ слѣдуетъ сглаживать напильникомъ или зубиломъ.

Въ случаѣ изгибанія какого бы то ни было сорта желѣза, въ горячемъ состояніи, таковое должно производиться на металлическихъ формахъ съ медленнымъ охлажденіемъ.

§ 3. Всѣ дыры въ металлическихъ частяхъ пролетнаго строенія мостовъ должны быть просверлены или пробиты, но послѣ пробивки дыръ въ литомъ желѣзѣ онѣ должны быть развернуты на 4 мм. по діаметру, за исключеніемъ дыръ въ прокладкахъ, шайбахъ и вообще частяхъ, не участвующихъ въ напряженіяхъ, гдѣ дыры могутъ пробиваться безъ развертки.

Сверленіе дыръ должно быть исполнено при такомъ діаметрѣ, чтобы, послѣ общаго расправленія оныхъ въ свинченныхъ частяхъ, онѣ имѣли діаметръ, соотвѣтствующій размѣру, указанному въ проектѣ. Образующіеся при просверливаніи дыръ заусенцы должны быть обрубаемы зубиломъ или сглажены пилою настолько, чтобы соприкасающіяся части плотно прилегали другъ къ другу.

§ 4. Неправильность въ разстояніи смежныхъ дыръ допускается не болѣе, чѣмъ на 1,5 мм., а между крайними дырами цѣлаго листа или уголка не болѣе чѣмъ на 2,5 мм., въ направленіи же дыръ одного продольнаго ряда означенная неправильность не должна превышать 1,5 мм., т.-е. центры дыръ не должны выходить изъ предѣловъ двухъ параллельныхъ линій, отстоящихъ другъ отъ друга на 1,5 мм. Наконецъ, дыры нѣсколькихъ листовъ и частей, соединяющихся общею заклепкою, должны совпадать настолько точно, чтобы неправильность въ положеніи ихъ центровъ не составляла болѣе одной двадцатой доли діаметра стержня заклепки, каковая неправильность, однако, должна быть сглажена разверткою. При невозможности достигнуть означенной точности совпаденія дыръ соотвѣтственнымъ увеличеніемъ отверстій, означенные листы и полосы бракуются.

НТБ ДНУЗТ

§ 5. Заклепки должны имѣть размѣры и форму, согласные съ проектными опредѣленіями. Стержни заклепокъ должны быть прямые, соотвѣтственнаго діаметра, причемъ колебанія въ толщивѣ не должны превышать $^1/_{20}$ доли послѣдняго, головки же заклепокъ должны имѣть совершенно круглую форму и быть симметрическими относительно оси стержней. Діаметръ стержней заклепокъ можетъ быть меньше діаметра развернутыхъ дыръ на $^1/_{20}$ долю проектнаго діаметра, но во всякомъ случаѣ разница между обоими діаметрами не должна превосходить одного миллиметра.

Показанный на чертежѣ діаметръ заклепки соотвѣтствуетъ діаметру дыры.

Передъ употребленіемъ заклепокъ въ дѣло, таковыя подвергаются нижеуказаннымъ испытаніямъ, причемъ изъ каждой партіи въ 1000 заклепокъ выбирается для испытанія 9 заклепокъ, по-три заклепки на каждый родъ испытанія.

Три заклепки испытываются на изгибъ стержня въ холодномъ состояніи, съ приведеніемъ согнутыхъ концовъ во взаимно параллельное положеніе, слѣдующія три—на изгибъ въ горячемъ состояніи, вплотную на 180°, и послѣднія три—на образованіе пробныхъ головокъ въ горячемъ состояніи. При этихъ испытаніяхъ не должно получаться трещинъ на поверхности сгиба въ двухъ первыхъ испытаніяхъ и на головкѣ — при послѣднемъ испытаніи. Если хотя одна заклепка дастъ неудовлетворительный результатъ, то партія въ 1000 шт. подраздѣляется на партіи въ 250 шт. или менѣе, и изъ послѣднихъ берется по одной заклепкѣ для такого рода испытанія, которое дало неудовлетворительный результатъ. Если при этомъ одна заклепка не выдержитъ испытанія, то соотвѣтствующая партія въ 250 штукъ бракуется *).

§ 6. Склепываніе. До склепыванія сложенныхъ вмѣстѣ частей, таковыя должны быть хорошо очищены и плотно стянуты достаточнымъ количествомъ болтовъ, самыя же дыры должны быть предварительно выравнены стальными развертками. Заклепки должны быть примѣняемы въ дѣло въ состояніи бѣло-краснаго каленія такъ, чтобы при окончаніи склепыванія онѣ имѣли еще темно-красный цвѣтъ и въ этомъ видѣ плотно сжимали соединяемыя ими части. Головки поставленныхъ на мѣсто заклепокъ должны быть правильной формы, безъ зарубинъ и трещинъ. Заклепки должны заполнять все пространство въ дырахъ и при пробѣ ударами молотка не дрожать.

Заводу разрѣшается, кромѣ ручной клепки, также и машинное склепываніе, но воспрещается сплющиваніе головки непосредственно отъ руки котельнымъ молоткомъ или кувалдою.

§ 7. Сборка частей въ заводскихъ мастерскихъ. Для совершенства сборки металлическихъ частей, мостовъ, зависящей, главнымъ образомъ, отъ полнаго взаимнаго соприкасанія,

*) Приказъ М. П. С. отъ 3 декабря 1899 г. № 146.

НТБ ДНУЗТ

необходимо употреблять сжимы достаточной силы, а также принимать всѣ мѣры предосторожности, дабы не сдвинуть съ мѣста собираемыя части во время ихъ склепыванія и, въ случаѣ надобности, разрѣшается производить натяжку оправкою. Равнымъ образомъ, необходимо слѣдить за тѣмъ, чтобы входящіе въ составъ собранныхъ частей листы, полосы, уголки и прочіе сорта желѣза не покоробились и не измѣнили своего общаго расположенія, и чтобы линіи и поверхности представляли видъ, согласный съ проектными чертежами. Съ цѣлью убѣжденія въ надлежащей и вполнѣ тщательной пригонкѣ металлическихъ частей въ общемъ составѣ цѣлаго пролета, заказчикъ имѣетъ право требовать отъ завода полной предварительной сборки означенныхъ частей въ мастерскихъ завода и затѣмъ склепыванія настолько, чтобы получаемыя собранныя части удобно могли быть перевезены къ мѣсту установки оныхъ на линіи, причемъ заводу предоставляется право дѣлать такую пробную сборку и горизонтально.

§ 8. Опорныя части. Опорныя части должны быть отлиты такъ, чтобы, по надлежащей отдѣлкѣ оныхъ, размѣры ихъ соотвѣтствовали проектнымъ даннымъ. Поверхности опорныхъ частей, прикасающіяся между собою, должны быть остроганы и, гдѣ требуется, обточены. Равнымъ образомъ, поверхности соприкасанія опорныхъ частей съ фермами и подферменными камнями должны представлять правильныя плоскости, которыя повѣряются линейкою.

§ 9. Вѣсъ. Вѣсъ металлическихъ частей моста (полосъ, угольковъ и проч.) опредѣляется безъ вычета отверстій для заклепокъ, вѣсъ же заклепочныхъ головокъ опредѣляется въ 3,5% отъ вѣса желѣза, входящаго въ составъ пролетныхъ частей. Для провѣрки единичнаго вѣса поставленныхъ металловъ, а равно съ цѣлью удостовѣриться, что поставленныя части имѣютъ профиль и очертаніе и по удѣльному вѣсу соотвѣтствуютъ установленнымъ требованіямъ, пріемщикомъ производится періодическое контрольное взвѣшиваніе готовыхъ частей по 5% отъ каждой партіи, предъявленной къ пріемкѣ. При этомъ контрольный вѣсъ не долженъ быть ниже разсчетнаго въ отдѣльныхъ частяхъ болѣе, чѣмъ на 3%, а въ среднемъ не болѣе 2%. Превышеніе вѣса не должно быть болѣе 5% противъ теоретическаго вѣса. Въ противныхъ случаяхъ, взвѣшиваніе повторяется въ томъ же размѣрѣ съ другими частями соотвѣтственной партіи, и если при этомъ окажется, что недовѣсъ превзошелъ 2% въ среднемъ, то соотвѣтственная партія бракуется.

§ 10. Приготовленіе частей къ отправкѣ на линію. Послѣ осмотра и повѣрки пріемщикомъ на заводѣ отдѣльныхъ частей пролетовъ, таковыя должны быть загрунтованы, занумерованы и снабжены соотвѣтственными надписями и условными знаками по отдѣльнымъ пролетамъ.

§ 11. Сборка и установка пролетныхъ частей на мѣсто. Выборъ способа сборки и установки на мѣсто метал-

НТБ ДНУЗТ

лическихъ частей предоставляется заводу, но тотъ или другой способъ сборки, равно какъ проектъ подмостей и прочихъ при установкѣ пролетнаго строенія мостовъ приспособленій, должны быть представлены заблаговременно на одобреніе заказчика. Сборка и склепка частей на мѣстѣ должна производиться знающими свое дѣло рабочими подъ руководствомъ опытныхъ мастеровъ. Самыя же работы должны быть исполнены вполнѣ тщательно и чисто, такъ чтобы всѣ части имѣли правильное очертаніе, безъ неровностей и прочихъ недостатковъ. При окончательной склепкѣ частей мостовъ на мѣстѣ работы должны быть соблюдены всѣ условія, относящіяся къ сборкѣ ихъ на заводѣ. Сверхъ того, какъ при предварительной сборкѣ пролетныхъ частей въ заводскихъ мастерскихъ, такъ и при сборкѣ и установкѣ оныхъ на мѣстѣ работъ необходимо имѣть въ виду: а) что раскосы въ фермахъ и діагонали въ связяхъ по окончаніи склепочныхъ работъ должны обладать требуемою натянутостію и равномѣрностію натяженія, если они состоятъ изъ вѣтвей, и б) что продольныя балочки должны окончательно приклепываться къ поперечнымъ балкамъ лишь послѣ освобожденія фермъ отъ подмостей.

§ 12. Окраска. Всѣ металлическія части мостовъ должны быть окрашены два раза по загрунтовкѣ, сдѣланной на заводѣ. Составъ, цвѣтъ и порядокъ окраски своевременно устанавливаются заказчикомъ. Окрашиваемыя поверхности предварительно должны быть очищены отъ грязи и ржавчины, и если бы въ нихъ оказались неровности, то таковыя предварительно должны быть зашпаклеваны. Шпаклевка распространяется также на всѣ швы и щели, подверженные дѣйствію дождевой воды. Головки заклепокъ, поставленныхъ при сборкѣ частей на линіи, должны быть до окраски загрунтованы сурикомъ. Окраску должно производить въ хорошую погоду и по сухимъ поверхностямъ. Краски должны быть растираемы какъ можно тщательнѣе и приготовлены на хорошо проваренномъ конопляномъ маслѣ съ прибавленіемъ 3% зильберглету по вѣсу масла. Заводъ приступаетъ къ окраскѣ не иначе, какъ послѣ подробнаго осмотра окрашиваемыхъ частей мѣстными агентами техническаго надзора, которые имѣютъ право отсрочить окраску въ случаѣ необходимости предварительнаго исправленія замѣченныхъ въ металлическихъ частяхъ недостатковъ.

§ 13. Испытаніе верхняго строенія мостовъ. По совершенномъ окончаніи сборки и установки на мѣсто строенія моста и вслѣдъ за устройствомъ проѣзжей части, пролетныя части подвергаются испытанію согласно существующимъ и могущимъ быть изданными Министерствомъ Путей Сообщенія постановленіямъ. Испытанія производятся въ слѣдующемъ порядкѣ: а) Испытаніе статическое. Каждый пролетъ моста нагружается спокойною нагрузкою, расположенною такимъ образомъ, чтобы соотвѣтственная ей равномѣрная нагрузка имѣла величину, указанную въ разсчетахъ проекта моста; продолжительность пребыванія этой

НТБ ДНУЗТ

нагрузки на каждомъ пролетѣ должна быть не менѣе получаса. б) Испытаніе динамическое. Если въ проектѣ не оговоренъ способъ для сего испытанія, то по мосту пропускается поѣздъ, составленный изъ двухъ самыхъ тяжелыхъ, имѣющихся на дорогѣ, паровозовъ и столькихъ сполна нагруженныхъ товарныхъ вагоновъ, чтобы длина поѣзда была не менѣе двойной длины пролета, поѣздъ этотъ долженъ двигаться со скоростью отъ 20 до 30 верстъ въ часъ.

§ 14. Постоянный (остающійся) прогибъ послѣ испытанія не долженъ превосходить $^1/_{5000}$ части разсчетнаго пролета, а упругій (исчезающій) прогибъ не долженъ превосходить величинъ, обусловленныхъ заказчикомъ въ договорѣ или въ проектѣ. Ближайшія подробности относительно порядка и способовъ испытанія пролетнаго строенія мостовъ и измѣренія величинъ прогибовъ опредѣляются заказчикомъ.

§ 15. Если при испытаніи металлическихъ пролетныхъ частей временною статическою нагрузкою постоянный прогибъ окажется болѣе $^1/_{5000}$ части разсчетнаго пролета, то заказчику предоставляется право требовать усиленія за счетъ завода жесткости пролетнаго строенія или же забраковать оное, но послѣдняя мѣра можетъ быть примѣнена лишь на основаніи постановленія Министра Путей Сообщенія.

§ 16. Предварительный пріемъ. По выдержаніи мостомъ вышеприведенныхъ испытаній, по немъ открывается движеніе и, если въ продолженіе пятнадцати дней отъ производства послѣдняго испытанія, въ мосту не будетъ замѣчено ни малѣйшаго увеличенія постоянной стрѣлы прогиба фермъ и никакихъ общихъ или частныхъ поврежденій и измѣненій по причинѣ недоброкачественности матеріала или несовершенства изготовленія отдѣльныхъ частей, то пролетное строеніе мостовъ считается предварительно принятымъ.

§ 17. Окончательный пріемъ. Если затѣмъ въ теченіе послѣдующихъ шести мѣсяцевъ со дня послѣдняго испытанія въ пролетныхъ металлическихъ частяхъ не произойдетъ никакихъ вредныхъ перемѣнъ, замѣченныя же поврежденія и неисправности будутъ устранены заводомъ, то мостъ принимается окончательно. Въ случаѣ необходимости производства соотвѣтствующихъ исправленій, шестимѣсячный срокъ окончательной пріемки увеличивается на столько времени, сколько потребуется для приведенія пролетныхъ частей въ полную исправность.

22. Литое сортовое желѣзо (кромѣ листового и заклепочнаго).

§ 1. Сортовое желѣзо должно быть чистой прокатки, безъ недостатковъ, вредныхъ для его прочности.

§ 2. Размѣры сортового желѣза должны соотвѣтствовать дан-

НТБ ДНУЗТ

нымъ, обозначеннымъ въ заказѣ, причемъ разрѣшаются слѣдующіе допуски въ ту и въ другую сторону:

а) *для полосового желѣза:*

въ длинѣ:

15 мм. при толщинѣ	до 18 мм.
25 мм.	18 мм. и болѣе

въ ширинѣ:

10 мм. при толщинѣ	18 мм.
20 мм.	18 мм. и болѣе

въ толщинѣ:

$^1/_4$ мм. при толщинѣ	до 7 мм.
$^1/_2$ мм. „	7 мм. „ 13 мм.
1 мм.	13 мм. и болѣе.

Примѣчаніе 1. Измѣреніе толщины производится на разстояніи 40 мм. отъ края полосы и не ближе 100 мм. отъ угловъ ея.

Примѣчаніе 2. Толщина полосъ тоньше 7 мм. считается удовлетворительной, если толщина одного изъ краевъ полосы соотвѣтствуетъ заданной въ предѣлахъ допуска $^1/_4$ мм. въ обѣ стороны.

б) *для фасоннаго желѣза* *):

при ширинѣ полокъ менѣе 70 мм.

въ длинѣ .	10 мм.
ширинѣ	$^1/_2$
толщинѣ.	$^1/_4$

при ширинѣ полокъ 70 мм. и болѣе

въ длинѣ	50 мм.
ширинѣ	3 „
„ толщинѣ. .	$1^1/_2$ „

в) *для круглаго и квадратнаго желѣза.*

при толщинѣ до 18 мм.

въ длинѣ	10 мм.
поперечныхъ размѣрахъ.	$^1/_2$

при толщинѣ 18 мм. и болѣе

въ длинѣ . .	25 мм.
поперечныхъ. размѣрахъ	1

§ 3. Литое желѣзо, оказавшееся по наружнему осмотру и размѣрамъ удовлетворительнымъ, раздѣляется, для производства механическихъ испытаній, на партіи по сто (100) штукъ, остатокъ менѣе ста (100) штукъ составляетъ особую партію.

---

*) Фасоннымъ желѣзомъ слѣдуетъ считать всякое угловое. тавровое, двутавровое, корытообразное, зетъ-образное и т. п.

НТБ ДНУЗТ

При пріемкѣ большого количества литого желѣза (свыше 300 штукъ) разрѣшается, по усмотрѣнію пріемщика, раздѣлять таковое на партіи слѣдующимъ образомъ: первыя триста штукъ по сто (100) штукъ и слѣдующія по 300 до 500 штукъ въ каждой партіи.

Партіи составляются отдѣльно для полосового, каждаго фасоннаго, круглаго и квадратнаго желѣза, разнящагося между собою не свыше 5 мм. по толщинѣ и 25 мм. по ширинѣ.

Изъ каждой партіи пріемщикъ выбираетъ четыре образца для испытаній на разрывъ, изгибъ въ холодномъ и горячемъ состояніи и закалку.

При сихъ испытаніяхъ литое желѣзо должно удовлетворять условіямъ, изложеннымъ въ нижеслѣдующей таблицѣ (стр. 1153).

Изготовленіе и испытаніе образцовъ на разрывъ производится согласно установленной на сей предметъ инструкціи.

Для испытанія на изгибъ фасонное желѣзо разрѣзается по углу.

Для испытанія сортового желѣза профилей болѣе толстыхъ, нежели обозначенныя въ таблицѣ, пробные бруски могутъ изготовляться, по выбору пріемщика, послѣ предварительной прокатки или проковки такового до толщины, указанной въ таблицѣ, или послѣ раздѣленія его холоднымъ путемъ на части меньшей поперечной профили, но не менѣе 30 мм.; результаты испытанія такого желѣза должны удовлетворять условіямъ, установленнымъ въ таблицѣ для болѣе толстыхъ профилей.

Примѣчаніе. Число нагрѣвовъ при испытаніи литого желѣза на изгибъ въ горячемъ состояніи обусловливается лишь требованіемъ производства таковыхъ при темно-красномъ каленіи.

Въ случаѣ полученія неудовлетворительнаго результата при какой-либо пробѣ данной партіи, таковая проба повторяется надъ удвоеннымъ количествомъ образцовъ. Если партія состояла изъ 300 штукъ, то при переиспытаніи она принимается за одну партію; при большемъ же количествѣ штукъ она раздѣляется на части, которыя испытываются какъ отдѣльныя партіи.

Партія, давшая неудовлетворительное переиспытаніе, бракуется.

§ 4. Сортовое желѣзо принимается по дѣйствительному вѣсу.

23. Сварочное сортовое желѣзо (кромѣ листового и заклепочнаго).

§ 1. Сортовое желѣзо должно быть чистой прокатки, безъ недостатковъ, вредныхъ для его прочности, причемъ по качеству оно раздѣляется на три сорта.

§ 2. Размѣры сортового желѣза должны соотвѣтствовать даннымъ, обозначеннымъ въ заказѣ, причемъ разрѣшаются слѣдующіе допуски въ ту или другую сторону:

а) *для полосового желѣза*:

въ длинѣ:	15 мм.	при толщинѣ	до 18 мм.	
	25 „	„	18 „	и болѣе.

(Продолженіе на стр. 1154).

НТБ ДНУЗТ

Родъ.	Толщ. въ м/м.	Сопротивленіе въ клгрм. на кв. м/м. R.	Удлиненіе въ % i.	$R+2i$.	Внѣшніе углы въ градусахъ: при холодномъ изгибѣ.	Внѣшніе углы въ градусахъ: при горячемъ изгибѣ.	Испытаніе на закалку.
литого желѣза							
Полосовое..	4—20	не менѣе 33	не менѣе 20	76	180° около стержня діаметр. равной имъ толщины.	180° вплотную.	Пробные бруски, нагрѣтые до вишнево-краснаго каленія и охлажденные въ водѣ, должны удовлетворять нормамъ испытаній ихъ на изгибъ въ холодномъ состояніи.
Фасонное.	4—20						
Круглое и квадратное . .	4—20						
Полосовое.	20—35	не менѣе 31	не менѣе 16	66	120°	180° около стержня діаметр. равной имъ толщины.	
Фасонное.	20—35						
Круглое и квадратное	20—100						

Прибавленіе къ постановленію отдѣлу.

1153
НТБ ДНУЗТ

въ ширинѣ:	10 мм.	при	толщинѣ	до	18 мм.	
	20 „	„	„		18 „	и болѣе.
въ толщинѣ:	1/4 „	„	„	до	7 „	
	1/2 „	„	„		7 „	до 13 мм.
	1 „	„	„		13 мм.	и болѣе.

Примѣчаніе 1. Измѣреніе толщины производится на разстояніи 40 мм. отъ края полосы и не ближе 100 мм. отъ угловъ ея.

Примѣчаніе 2. Толщина полосъ тоньше 7 мм. считается удовлетворительной, если толщина одного изъ краевъ полосы соотвѣтствуетъ заданной въ предѣлахъ допуска 1/4 мм. въ обѣ стороны.

б) *для фасоннаго желѣза* *):

при ширинѣ полокъ менѣе 70 мм.:

въ длинѣ .	10 мм:
„ ширинѣ	1/2 „
„ толщинѣ . .	. . 1/4 „

при ширинѣ полокъ 70 мм. и болѣе.

въ длинѣ.	50 мм.
„ ширинѣ.	3 „
„ толщинѣ .	1 1/2 „

в) *для круглаго и квадратнаго желѣза:*

при толщинѣ до 18 мм.:

въ длинѣ	10 мм.
„ поперечныхъ размѣрахъ	1/2

при толщинѣ 18 мм. и болѣе:

въ длинѣ	25 мм.
„ поперечныхъ размѣрахъ	1 „

§ 3. Сварочное желѣзо, каждаго сорта отдѣльно, оказавшееся по наружному осмотру и размѣрамъ удовлетворительнымъ, раздѣляется, для производства механическихъ испытаній, на партіи по сто (100) штукъ; остатокъ менѣе ста (100) штукъ составляетъ особую партію.

При пріемкѣ большого количества сварочнаго желѣза (свыше 300 шт.) разрѣшается, по усмотрѣнію пріемщика, раздѣлять таковое на партіи слѣдующимъ образомъ: первыя триста штукъ по сто (100) штукъ и слѣдующія по 300 до 500 штукъ въ каждой партіи.

Партіи составляются отдѣльно для полосового, каждаго фасоннаго, круглаго и квадратнаго желѣза, разнящагося между собою не свыше 5 мм. по толщинѣ и 25 мм. по ширинѣ.

Изъ каждой партіи пріемщикъ выбираетъ для желѣза 1-го и 2-го сортовъ четыре образца для испытаній на разрывъ, изгибъ въ холодномъ и горячемъ состояніи и сварку, а для желѣза 3-го сорта три образца для испытанія на изгибъ въ холодномъ и горячемъ состояніи и сварку.

При сихъ испытаніяхъ сварочное желѣзо должно удовлетворять условіямъ, изложеннымъ въ нижеслѣдующей таблицѣ:

---

*) Фасоннымъ желѣзомъ слѣдуетъ считать всякое угловое, тавровое, двутавровое, корытообразное, зетъ-образное и т. п.

НТБ ДНУЗТ

Сортъ сварочнаго желѣза.	Толщина въ м/м.	Сопротивленіе въ клгр. на кв. м/м.	Удлиненіе въ %.	Внѣшніе углы въ градусахъ. при холодномъ изгибѣ.	Внѣшніе углы въ градусахъ. при горячемъ изгибѣ.	Испытаніе на сварку.	ПРИМѢЧАНІЕ.
1-й	до 30 вкл.	36	18	—	—	Желѣзо всѣхъ трехъ сортовъ должно хорошо свариваться.	При испытаніяхъ на изгибъ не должно обнаруживаться никакихъ надрывовъ, разслоеній и трещинъ.
	болѣе 30.	34	14	—	—		
	до 18 .	—	—	180° вплотную.	—		
	18 до 43.	—	—	180° около стержня діам. равной имъ толщ.	—		
	болѣе 43	—	—	180° около стержня діам. двойной толщины.	—		
	до 13 .	—	—		180° вплотную.		
	13 до 38.	—	—	—	смот. прим. *a*.		
	болѣе 38.	—	—	—	180° вплотную.		
2-й	до 30 вкл.	34	12	—	—		При испыт. на изгибъ не должно обнаруживаться никакихъ надрывовъ, разслоеній и трещинъ.
	болѣе 30.	32	10	—	—		
	всякая .	—	—	180° около стержня діам. равн. двойной толщ.	180° около стержня діам. равной имъ толщ.		
3-й	всякая .	—	—	Т о ж е.	Т о ж е.		При испыт. на изгибъ допускают. разрывы и трещины, но желѣзо не должно ломаться.

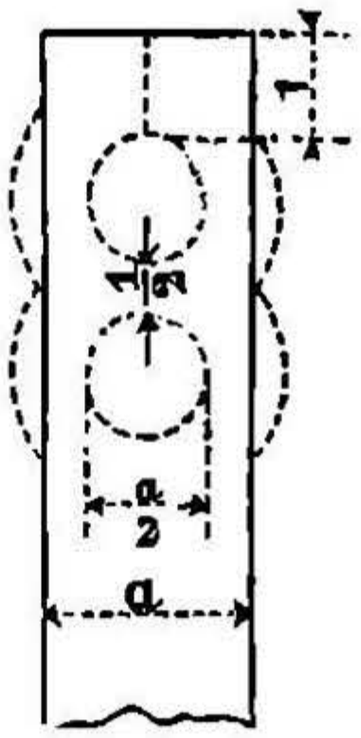
Прибавленіе къ восьмому отдѣлу.

НТБ ДНУЗТ

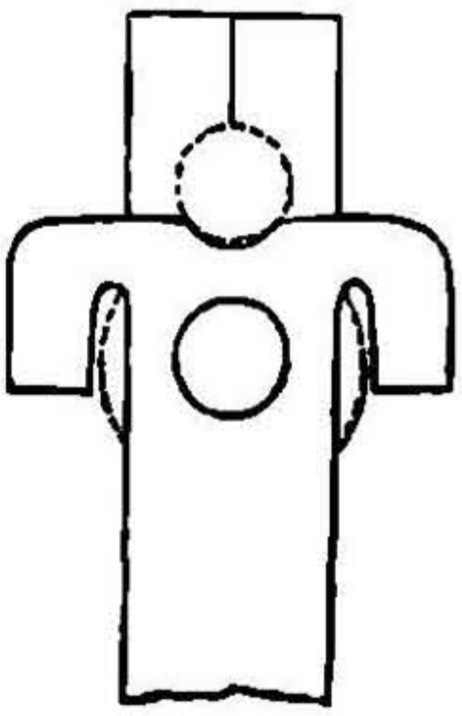
Примѣчаніе a. При свѣтлокрасномъ каленіи въ испытуемой полосѣ на разстояніи 25 мм., отъ конца, помощью конической продавки, пробивается по серединѣ отверстіе діаметромъ, равнымъ половинѣ ширины полосы, и затѣмъ второе такое же отверстіе по серединѣ ширины въ разстояніи 13 мм. отъ края перваго отверстія; затѣмъ конецъ полосы разсѣкается вдоль до края перваго отверстія, какъ показано на чертежѣ 842, и разсѣчка отворачивается съ обѣихъ сторонъ (черт. 843); при этомъ не должно обнаруживаться никакихъ надрывовъ, разслоевъ и трещинъ.

Если при испытаніи сварочнаго желѣза на разрывъ сопротивленіе будетъ ниже указанныхъ въ таблицѣ предѣловъ, но не менѣе, однако, для желѣза 1-го сорта 33 клгр. при толщинѣ до 30 мм. и 32 клгр. при большей толщинѣ, а для желѣза 2-го сорта 31 клгр. при толщинѣ до 30 мм. и 30 клгр. при большей толщинѣ, удлиненіе же будетъ превышать наименьшіе предѣлы, то допускается взаимный зачетъ ихъ, принимая одинъ процентъ увеличенія удлиненія эквивалентнымъ уменьшенію сопротивленія на $^1/_2$ клгр.

Черт. 842.



Черт. 843.



Изготовленіе и испытаніе образцовъ на разрывъ производится согласно установленной на сей предметъ инструкціи.

Для испытанія на изгибъ фасонное желѣзо разрѣзается по углу.

Для испытанія сортового желѣза профилей болѣе толстыхъ, нежели обозначенныя въ таблицѣ, пробные бруски могутъ изготовляться, по выбору пріемщика, послѣ предварительной прокатки или проковки такового до толщины, указанной въ таблицѣ, или послѣ раздѣленія его холоднымъ путемъ на части меньшей поперечной профили, но не менѣе 30 мм.; результаты испытанія такого желѣза должны удовлетворять условіямъ, установленнымъ въ таблицѣ для болѣе толстыхъ профилей.

Примѣчаніе b. Число нагрѣвовъ при испытаніи сварочнаго желѣза на изгибъ въ горячемъ состояніи обусловливается лишь требованіемъ производства таковыхъ при темнокрасномъ каленіи.

Въ случаѣ полученія неудовлетворительнаго результата при какой-либо пробѣ данной партіи, таковая проба повторяется надъ удвоеннымъ количествомъ образцовъ. Если партія состояла изъ 300 штукъ, то при переиспытаніи она принимается за одну партію; при большемъ же количествѣ штукъ она раздѣляется на части, которыя испытываются какъ отдѣльныя партіи.

Партія, давшая неудовлетворительное переиспытаніе, бракуется.

§ 4. Сортовое желѣзо принимается по дѣйствительному вѣсу.

НТБ ДНУЗТ

24. ИНСТРУКЦІЯ

для изготовленія и испытанія нормальныхъ образцовъ на разрывъ при пріемкѣ металловъ *).

Нормальные образцы приготовляются круглаго или плоскаго сѣченія, указанныхъ ниже размѣровъ, обточкой или обстрожкой брусковъ, вырѣзанныхъ изъ испытываемаго металла.

При изготовленіи образцовъ изъ болѣе крупныхъ сортовъ металловъ допускается, по усмотрѣнію пріемщика, раздѣлять таковые холоднымъ путемъ—выпиливаніемъ или сверленіемъ, безъ употребленія прессованія, удара или рѣзанія ножницами, на куски меньшаго поперечнаго сѣченія, но не менѣе 30 мм. шириною.

Испытанія должны быть производимы по возможности надъ образцами нормальныхъ размѣровъ.

Круглые образцы. Нормальный круглый образецъ имѣетъ діаметръ (d) въ 20 мм. и длину (l) цилиндрической части между кернами въ 200 мм.

Вообще же, образцы круглаго сѣченія, въ зависимости отъ толщины испытываемаго металла, дѣлаются преимущественно четырехъ діаметровъ (d), а именно:

10, 15, 20 и 25 мм.

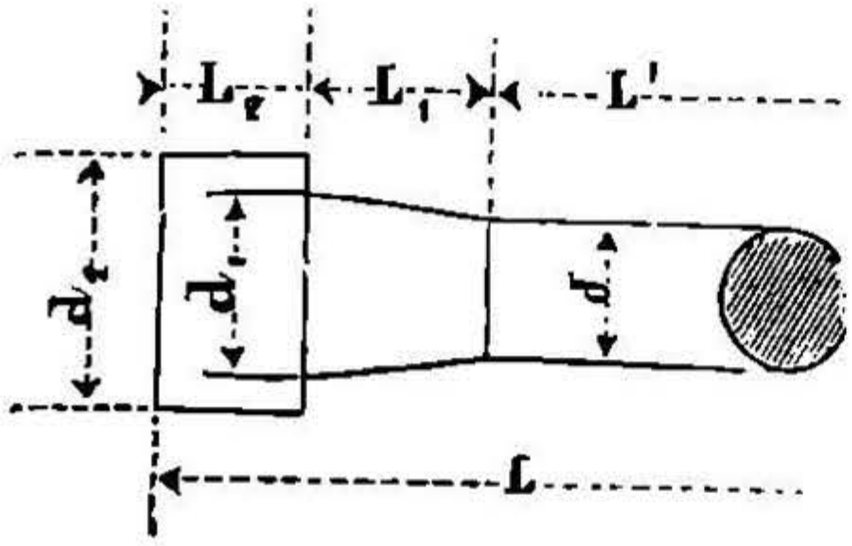
Разсчетная длина ихъ (l) берется равною десяти діаметрамъ, т.-е.

$$l = 10\,d.$$

Величины, получаемыя при такихъ разсчетахъ, округляются до ближайшихъ цѣлыхъ чиселъ сантиметровъ. Опредѣленная такимъ образомъ разсчетная длина образцовъ раздѣляется на соотвѣтственное число частей, равныхъ каждая одному сантиметру, которыя и намѣчаются на самомъ образцѣ.

Форма головокъ обусловливается видомъ захватовъ разрывной машины; предлагается, однако, для испытанія круглыхъ образцовъ пользоваться шарнирными вкладышами и посему придерживаться формы головокъ, соотвѣтствующей нормальнымъ сферическимъ вкладышамъ, принятымъ въ лабораторіяхъ, согласно постановленіямъ Мюнхенской конференціи 1884 года.

Черт. 844.



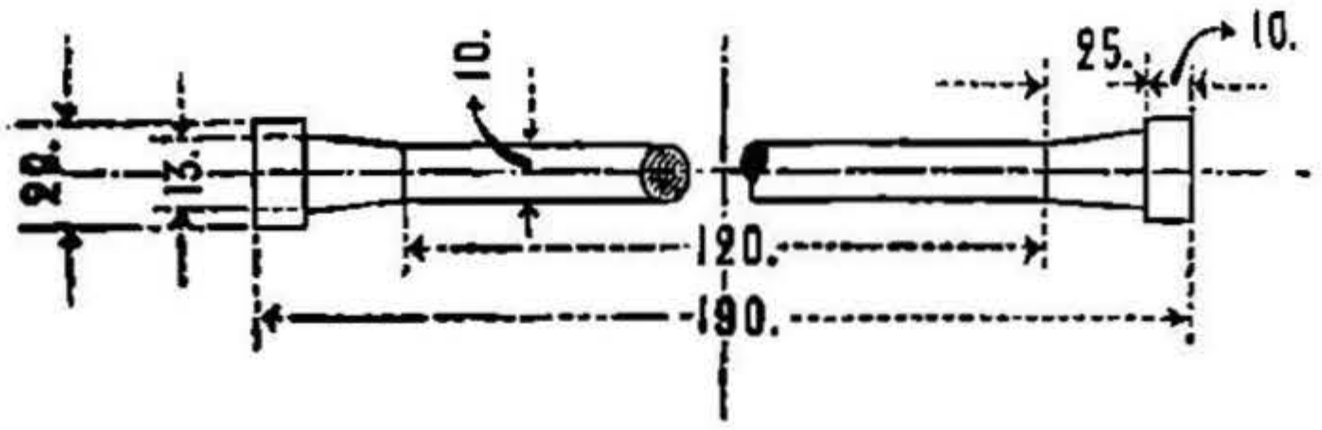
Въ послѣднемъ случаѣ образцы имѣютъ слѣдующіе размѣры (черт. 844):

Утвержд. М. П. С. 15 апрѣля 1901 года.

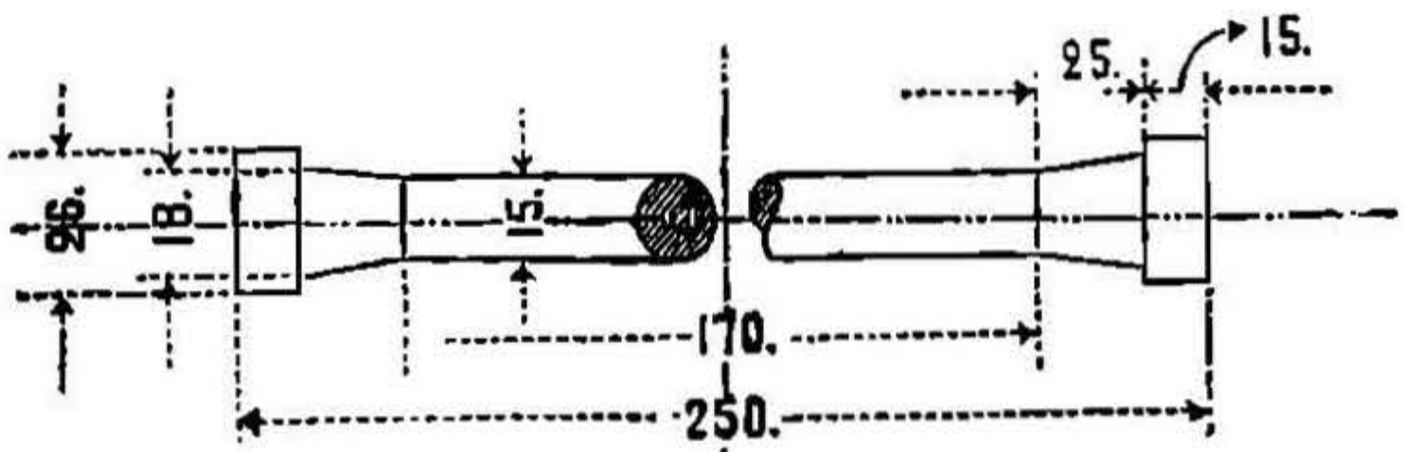
НТБ ДНУЗТ

Названіе размѣровъ (черт. 845—848) въ миллиметрахъ.					
Діаметръ образца. .	d =	10	15	20	25
„ широкаго основанія	d_1 =	13	18	24	28
„ головки	d_2 =	20	26	32	40
Длина конической шейки	L_1 =	25	25	25	25
„ головки . .	L_2 =	10	15	20	25
„ цилиндрической части	L' =	120	170	220	270
Полная длина образца	L =	190	250	310	370

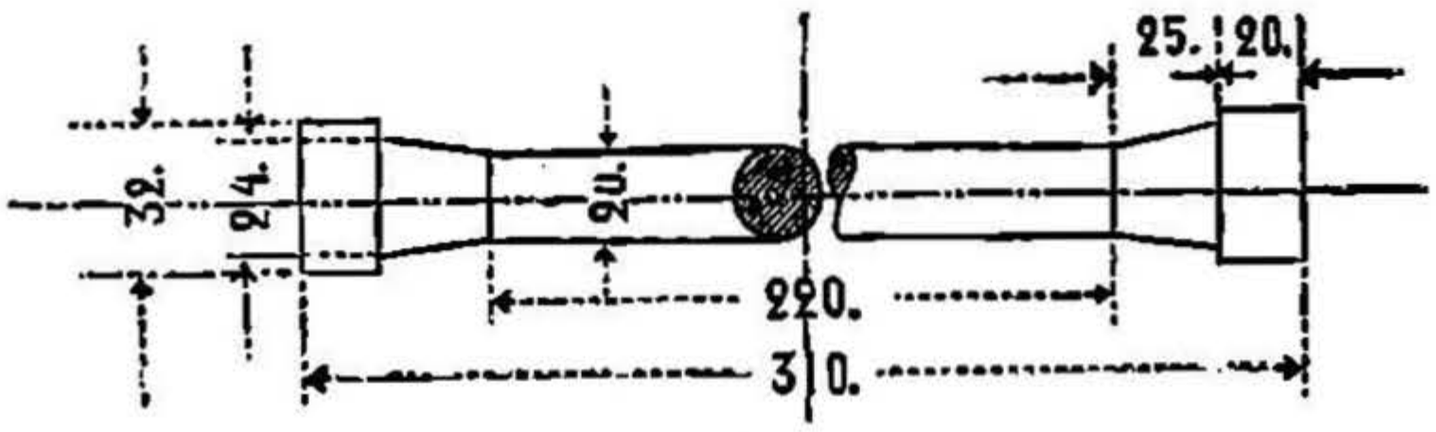
Черт. 845.



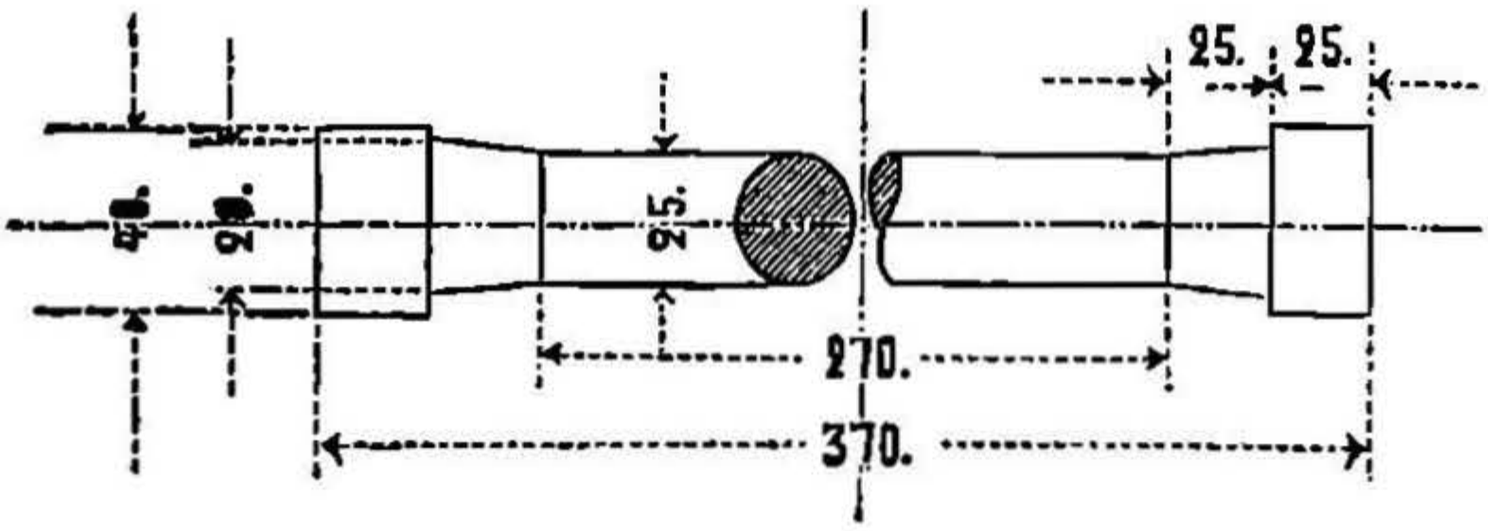
Черт. 846.



Черт. 847.



Черт. 848.



Для упрощенія производства испытаній образцовъ предоставляется указанныя выше длины цилиндрической части образцовъ распространять на группы образцовъ, разнящихся по величинѣ діаметровъ слѣдующимъ образомъ.

Группа 1. Образцы діаметромъ отъ 10 до 15 мм. включительно,

НТБ ДНУЗТ

при разсчетной длинѣ l отъ 100 до 150 мм., могутъ имѣть длину цилиндрической части $L' = 170$ мм.

Группа 2. Образцы діаметромъ свыше 15 мм. до 20 мм. включительно, при разсчетной длинѣ отъ 150 до 200 мм., могутъ имѣть длину цилиндрической части $L' = 220$ мм.

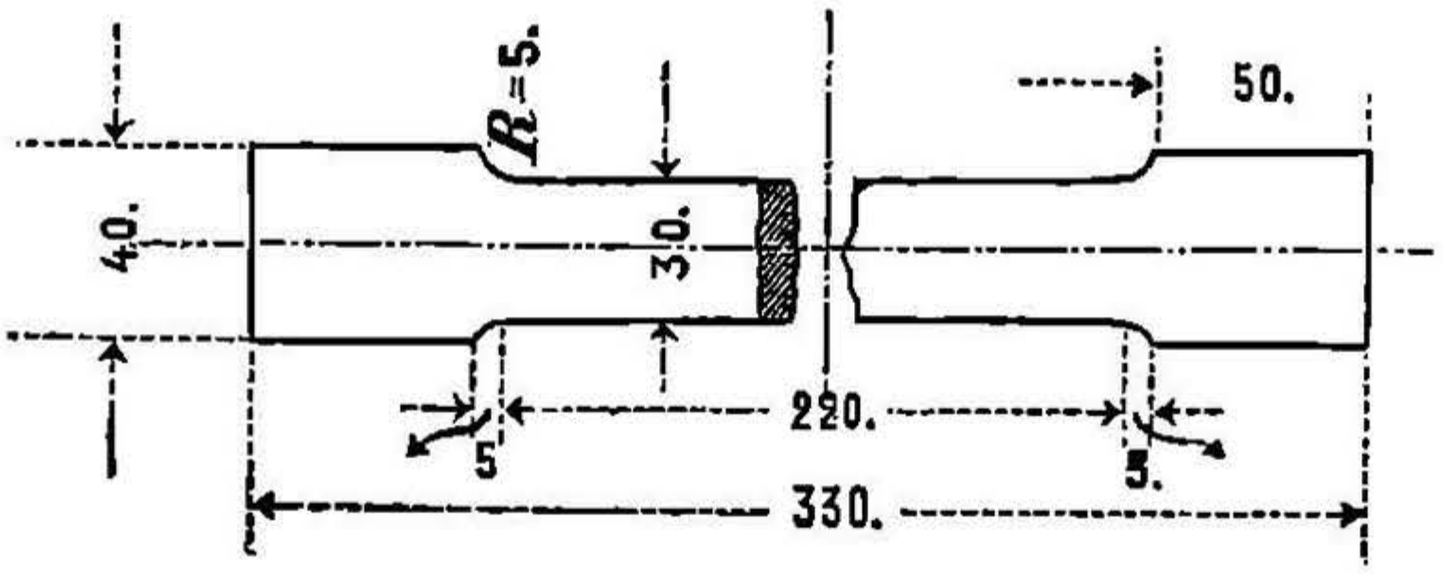
Группа 3. Образцы діаметромъ свыше 20 мм. до 25 мм. включительно, при разсчетной длинѣ отъ 200 до 250 мм., могутъ имѣть длину цилиндрической части $L' = 270$.

Для образцовъ, діаметръ коихъ менѣе 10 мм. или болѣе 25 мм., длина цилиндрической части образцовъ L' берется равной разсчетной длинѣ съ прибавленіемъ 20 миллиметровъ, при чемъ для образцовъ діаметромъ менѣе 10 мм. длины эти во всякомъ случаѣ должны быть не менѣе 100 мм.

Наименьшій нормальный діаметръ образцовъ въ 10 мм. примѣняется для металловъ толщиною, позволяющей снабдить головки заплечиками не менѣе 3 мм., т.-е. въ 16 и болѣе миллиметровъ; круглыя профили меньшаго діаметра испытываются безъ обточки въ естественномъ видѣ, закладка же образцовъ дѣлается помощью зажимовъ въ видѣ двухъ заершенныхъ вкладышей, которые обхватываютъ концы образца и стягиваются конической обоймицей.

Плоскіе образцы. Нормальный плоскій образецъ имѣетъ поперечное сѣченіе $a \times b = 10 \times 30$ мм., при длинѣ (l) между кернами въ 200 мм. (черт. 849).

Черт. 849.



Такіе размѣры придаются въ тѣхъ случаяхъ, когда образцы приготовляются изъ штукъ съ большимъ поперечнымъ сѣченіемъ. Во всѣхъ случаяхъ, когда размѣры захватовъ дозволяютъ сохранить поверхностные слои испытываемой штуки, безразлично по ширинѣ и толщинѣ образца, таковыя должны быть сохранены, и тогда принимаются слѣдующіе размѣры сѣченій образцовъ, стараясь, по возможности, чтобы отношеніе ширины образца къ его толщинѣ было не болѣе трехъ:

1) *Для листовъ и полосъ.* Ширина образца 30 мм., толщина равна толщинѣ самой штуки. При толщинѣ свыше 25 мм. толщина принимается за ширину образца, толщина же послѣдняго берется въ 10 мм., и головка получаетъ небольшое утолщеніе

НТБ ДНУЗТ

(въ 1 мм.) не по ширинѣ образца, а по толщинѣ. Въ этихъ случаяхъ допускается вытачивать образцы круглаго сѣченія.

2) *Для брусковъ.* Если одинъ изъ поперечныхъ размѣровъ менѣе 25 мм., а другой –не болѣе 30 мм., то образцы испытываются съ сохраненіемъ поперечныхъ размѣровъ самого бруска и только, во избѣжаніе разрыва по линіи захвата, они спиливаются немного по тому измѣренію, которое принято въ образцѣ за толщину, для образованія запаса въ головкѣ. Въ случаѣ, когда ширина болѣе 30 мм., соблюдаются правила, указанныя для листовъ и полосъ.

Разсчетная длина (l) такихъ образцовъ въ томъ случаѣ, когда сѣченіе образца (ω) отступаетъ отъ сѣченія нормальнаго образца $10 \times 30 = 300$ кв. мм. болѣе чѣмъ на 5%, берется по формулѣ

$$l = 11{,}3\sqrt{\omega},$$

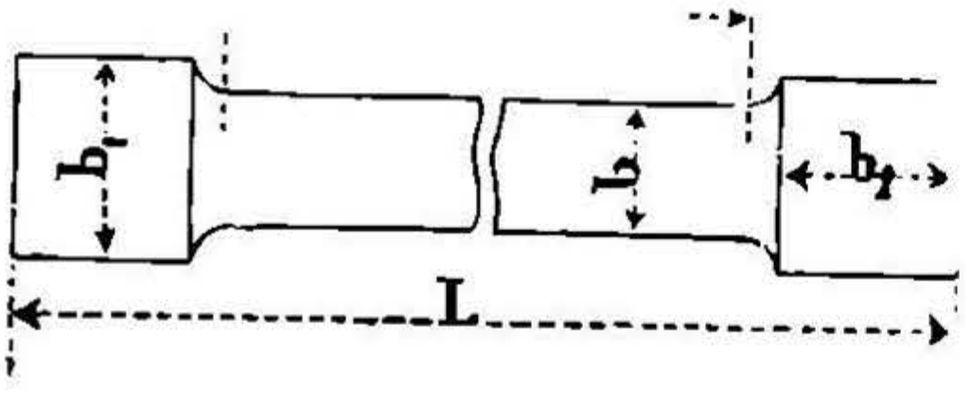
за исключеніемъ тѣхъ случаевъ, когда въ предположеніи опредѣленной длины образца указано техническими условіями на изготовленіе испытуемаго матеріала какое-либо соотношеніе между удлиненіемъ и толщиной образца. Величины, получаемыя изъ приведенной формулы, округляются до ближайшихъ цѣлыхъ сантиметровъ.

Для опредѣленія разсчетныхъ длинъ въ зависимости отъ поперечныхъ сѣченій рекомендуется пользоваться нижеприложенною таблицею I, составленною на основаніи формулы $l = 11{,}3\sqrt{\omega}$. Кромѣ того, прилагается таблица II для опредѣленія площади поперечнаго сѣченія образцовъ по заданной разсчетной длинѣ ихъ.

Опредѣленныя, какъ указано выше, разсчетныя длины образцовъ раздѣляются на соотвѣтственное число частей, равныхъ каждая одному сантиметру, которыя и намѣчаются на самомъ образцѣ.

Что касается головокъ (черт. 850), то форма и размѣры ихъ зависятъ отъ рода захватовъ, вообще же, въ предположеніи зажима зубчатыми щечками, для образца нормальной ширины $b=30$ мм. размѣры головки должны быть слѣдующ.: ширина $b_1 = b + 10 = 40$, длина $b_2 = 50$.; сопряженіе образца съ головкой дѣлается закругленіемъ четвертью круга (черт. 849). При малой ширинѣ испытуемаго металла можно придавать головкѣ ширину почти равную нормальной ширинѣ образца, но переходъ къ головкѣ долженъ быть плавный.

Черт. 850.



При испытаніяхъ, согласно постановленію Мюнхенской конференціи, дѣлается фрезеромъ нарѣзка бороздъ на головкахъ образцовъ, чтобы достигнуть возможно правильнаго зажима ихъ зубчатыми щечками, или же головки плоскихъ образцовъ стесы-

НТБ ДНУЗТ

ваются къ боковымъ ребрамъ, и въ такомъ случаѣ не дѣлается бороздъ фрезеромъ.

Длина образца L, считая между началами головныхъ закругленій, т.-е. не включая длины головокъ образцовъ, назначается на 20 мм. болѣе разсчетной длины l (черт. 849).

Для упрощенія производства испытаній плоскихъ образцовъ предоставляется изготовлять таковые длиною L, соотвѣтствующею извѣстной группѣ разсчетныхъ длинъ l. Группы эти, соотвѣтственно различнымъ поперечнымъ сѣченіямъ плоскихъ образцовъ, подраздѣляются слѣдующимъ образомъ:

Группа 1. При площади сѣченія до 200 мм. и разсчетной длинѣ l до 160 мм.,

длина заказываемыхъ образцовъ $L = 180$ мм.

Группа 2. При площади сѣченія до 300 мм. и разсчетной длинѣ l до 220 мм.,

длина заказываемыхъ образцовъ $L = 240$ мм.

Группа 3. При площади сѣченія до 450 мм. и разсчетной длинѣ l до 240 мм.,

длина заказываемыхъ образцовъ $L = 260$ мм.

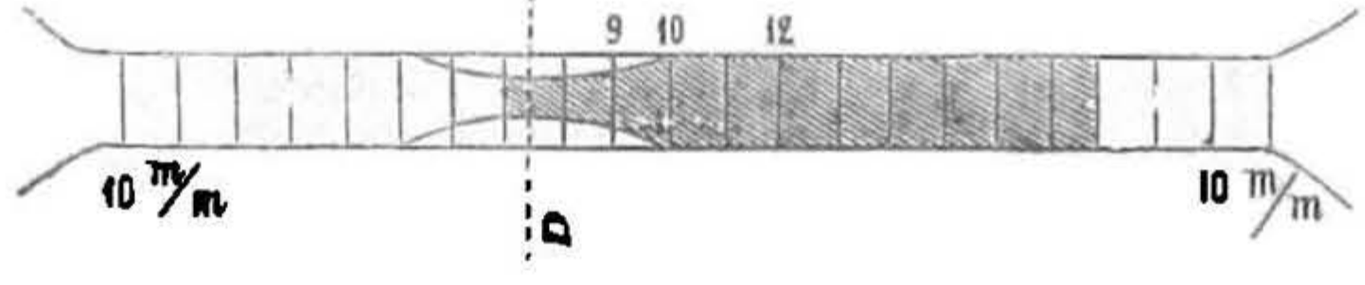
Группа 4. При площади сѣченія до 600 мм. и разсчетной длинѣ l до 280 мм.,

длина заказываемыхъ образцовъ $L = 300$ мм.

Для образцовъ, съ площадью сѣченія болѣе 600 кв. мм., длина заказываемыхъ образцовъ берется равною разсчетной, увеличенной на 20 мм.

Производство отсчетовъ. Относительное удлиненіе образца послѣ разрыва вычисляется въ процентахъ отъ разсчетной длины (l) образца, причемъ: а) если разрывъ произошелъ въ средней трети образца, то за удлиненіе берется общее удлиненіе, равное суммѣ удлиненій обѣихъ половинъ образца отъ керна до мѣста разрыва, отнесенное къ разсчетной длинѣ; б) если разрывъ произошелъ въ одной изъ крайнихъ третей, то разсчетъ удлиненій производится примѣнительно къ нижеслѣдующему примѣру (черт. 851).

Черт. 851.



Примѣръ. Разсчетная-длина образца 200 мм., разрывъ произошелъ между дѣленіями 7 и 8 (черт. 851). Для полученія абсолютнаго удлиненія измѣряются послѣ разрыва:

длина промежутка, гдѣ произошелъ разрывъ .	(7 — 8)
длина сосѣднихъ девяти промежутковъ .	(8 — 17)
длина сосѣднихъ десяти промежутковъ .	(8 — 18)

НТБ ДНУЗТ

Сумма этихъ трехъ длинъ за вычетомъ l даетъ абсолютное удлиненіе образца на длину (l) мм.; в) въ случаѣ разрыва по керну отсчетъ длины дѣленія разрыва производится отъ той части керна, которая входитъ въ составъ короткаго куска образца.

Одновременно съ удлиненіемъ опредѣляется относительное суженіе разрывного сѣченія, выраженное въ процентахъ отъ первоначальнаго сѣченія, а именно $C = \left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega}\right) 100$, гдѣ ω и ω_0 первоначальная и разрывная площади сѣченія образца въ кв. миллиметрахъ.

Опредѣленіе суженія обязательно лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда это оговорено въ техническихъ условіяхъ.

Временное сопротивленіе на разрывъ (R) опредѣляется раздѣленіемъ полнаго разрывного груза на площадь первоначальнаго сѣченія испытуемаго бруска.

Таблица I.

Опредѣленіе разсчетной длины плоскихъ образцовъ l по имѣющейся площади поперечнаго сѣченія ω.

Формула: $l = 11{,}3\sqrt{\omega}$.

a мм.	b мм.	ω кв. мм.	$\sqrt{\omega}$	$11{,}3\sqrt{\omega} = l$ мм.	Разсчетная длина въ круглыхъ сантиметрахъ.
8	8	64	8	90,4	9
8	16	128	11,3137	127,8482	13
8	24	192	13,8564	156,5728	16
9	9	81	9,0000	101,7000	10
9	18	162	12,7279	143,8264	14
9	27	243	15,5885	176,1444	18
10	10	100	10,0000	113,0000	11
10	20	200	14,1421	159,8046	16
10	30	300	17,3205	195,7160	20
11	30	330	18,1659	205,2758	21
12	30	360	18,9737	214,4062	21
13	30	390	19,7484	223,1524	22
14	30	420	20,4939	231,5822	23
15	30	450	21,2132	239,7069	24
16	30	480	21,9089	247,5717	25
17	30	510	22,5832	255,1879	26
18	30	540	23,2379	262,5894	26
19	30	570	23,8747	269,7875	27
20	30	600	24,4949	276,7935	28
21	30	630	25,0998	281,1200	28
22	30	660	25,6905	290,2970	29
23	30	690	26,2679	296,8284	30
24	30	720	26,8328	303,2129	30
25	30	750	27,3861	309,4618	31
26	30	780	27,9285	313,5864	31
27	30	810	28,4605	321,5980	32
28	30	840	28,9828	327,5079	33
29	30	870	29,4958	333,3048	33
30	30	900	30,0000	339,0000	34

НТБ ДНУЗТ

Таблица II.

Опредѣленіе площади сѣченія плоскихъ образцовъ ω по заданной разсчетной длинѣ ихъ l.

Формула: $\omega = l^2 \times \frac{1}{11{,}3^2} = l^2 \times 0{,}00783.$

l мм.	l^2	ω	ω въ цѣлыхъ мм.	l мм.	l^2	ω	ω въ цѣлыхъ мм.
60	3,600	28,138	28	180	32.400	253,692	254
70	4,900	38,367	38	190	36.100	282,663	283
80	6.400	50,112	50	200	40.000	313,200	313
90	8,100	63,423	63	210	44.100	345,303	345
100	10,000	78,300	78	220	48.400	378,972	379
110	12.100	94,743	95	230	52.900	414,207	414
120	14.400	112,752	113	240	57.600	451,008	451
130	16.900	132,327	132	250	62.500	489,375	489
140	19.600	153,468	153	260	67.600	529,308	529
150	22.500	176,175	176	270	72.900	570,807	571
160	25.600	200,448	200	280	78.400	613,872	614
170	28.900	226,287	226	290	84.100	658,503	658
				300	90.000	704,700	705

НТБ ДНУЗТ

НТБ
ДНУЗТ

Сканировала Сидорчик Е.В.

НТБ
ДГТУ3Т