

625.1

Б-12

68151

Д. И. БАБЕНКО и Б. И. МУШКАТИН

ПУТЬ, ПАРОВОЗ

ЖЗБ 124 п

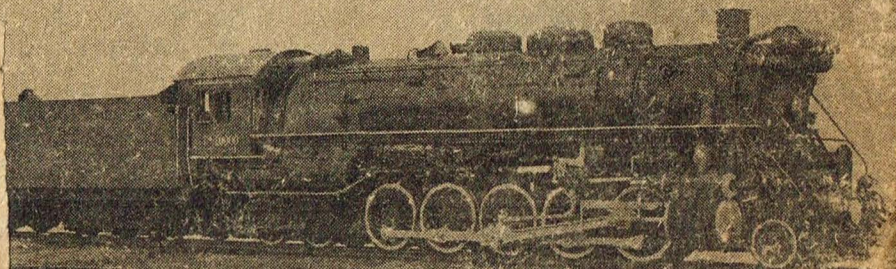
И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

ОГИЗ

ГОСТРАНСИЗДАТ

1932

ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
И И И И



625.1:62115
Б 12 МК

6557

Д. Н. БАБЕНКО и Б. И. МУШКАТИН

0 В-19

МК.

Б 1245 1990 03

ПУТЬ, ПАРОВОЗ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
НИИТ

Фонд литературы
Ом. Институт
1934

48

БИБЛИОТЕКА
7767

ПРОВЕРЬТЕ

НИИТ

ОГИЗ ГОСТРАНСИЗДАТ
МОСКВА 1932 ЛЕНИНГРАД

5-я типография ОГИЗа РСФСР
«Пролетарское слово»
Москва Каланчевский туп., 9/5.

ОТДЕЛ ПЕРВЫЙ

ПУТЬ

ГЛАВА I

Общие сведения

	<i>Стр.</i>
1. Историческая справка	9
2. Причины успеха железных дорог	11
3. Протяжение железных дорог	13
4. О транспортной обслуженности	14
5. Ширина колеи. Расстояние между путями	14

ГЛАВА II

Сведения о нижнем строении

6. Основные части железнодорожного пути	15
7. Понятие о земляном полотне	16
8. Нормальные поперечные профили	16
9. Понятие об устройстве земляного полотна	17
10. Понятие об искусственных сооружениях	18
11. О материале для искусственных сооружений	19

ГЛАВА III

Баластный слой

12. Составные части верхнего строения	20
13. Назначение баластного слоя	20
14. Размеры и форма баластного слоя	23
15. Материал баласта	25
16. Об износе баласта	27

ГЛАВА IV

Рельсовые опоры

17. Назначение рельсовых опор	27
18. Отдельные опоры	27
19. Продольные лежни	28
20. Металлические шпалы	28
21. Недостатки железной шпалы	29
22. Железобетонные шпалы	30
23. О деревобетоне	32

ГЛАВА V

Стр.

Деревянная шпала

24. Достоинства деревянной шпалы	32
25. Формы и размеры деревянной шпалы	33
26. Нормальные типы шпал	34
27. Породы дерева для шпал	35
28. О причинах, вызывающих порчу шпал, и меры борьбы	37
29. Предохранение шпал от гниения	38
30. О механическом износе шпал	41
31. О несимметричной укладке шпал вразбежку	45
32. Расстояние между шпалами	46
33. К вопросу о правильном ведении шпального хозяйства	47

ГЛАВА VI

Рельсы

34. Технические и экономические факторы	49
35. Материал рельсов	50
36. Форма рельсов	51
37. Широкоподошвенный рельс	52
38. Типы рельсов ж. д. СССР	55
39. Некоторые данные о наших рельсах	56
40. Рельс двухголовый	56
41. Рельсы специальных сечений	57
42. Длина рельсов	57

ГЛАВА VII

Прикрепление рельсов к опорам

43. Костыли и шурупы	59
44. Подкладки	61

ГЛАВА VIII

Соединение рельсов между собой

45. О стыках	64
46. Перекрытие стыков (накладки)	65
47. Стыковые болты	67
48. Типы рельсовых стыков	68
49. Примыкание концов рельсов	70
50. Сварка стыков	71

ОТДЕЛ ВТОРОЙ

ПАРОВОЗ

ГЛАВА IX

Общая часть

1. Краткая историческая справка	75
2. Деление паровозов по роду их службы	81
3. Деление паровозов по их конструктивному устройству	82
4. Колесная характеристика паровоза	86
5. Принятые обозначения	87
6. Краткое описание устройства паровоза	89

ГЛАВА X

Стр.

Паровозный котел

7. Топка	90
8. Цилиндрическая часть котла	95
9. Арматура котла	100
10. Дымовая коробка	104
11. Отопление паровозных котлов	106
12. Работа паровозного котла	109

ГЛАВА XI

Паровая машина

13. Паровой цилиндр	112
14. Движущий механизм	115
15. Внутренний парораспределительный механизм	117
16. Важнейшие моменты парораспределения	121
17. Золотники	127
18. Внешний парораспределительный механизм	131
19. Арматура машины	133
20. Работа паровой машины	134
21. Экономичность машины	136

ГЛАВА XII

Экипажная часть

22. Рама	138
23. Ходовые части	141
24. Рессорное подвешивание	143
25. Тележки	144
26. Тормоза	149
27. Силы, развивающиеся в экипаже, и их влияние на работу паровоза	149

ГЛАВА XIII

Краткий обзор достижений паровозной техники

28. Причины, вызывающие надобность в усовершенствовании паровоза	150
29. Усовершенствование паровозного котла	152
а) Улучшение циркуляции воды в паровозном котле	152
б) Отопление паровозов	158
в) Паровозы высокого давления	159
30. Применение специальных сортов стали	163
31. Бустер	164
32. Движущий механизм	167
33. Применение роликовых подшипников	169
34. Парораспределительный механизм	170

ОТДЕЛ ТРЕТИЙ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ГЛАВА XIV

Сопrotивление движению и сила тяги

1. Сопrotивление движению	172
2. Сила тяги паровоза	177
3. Ограничения силы тяги	180
4. Виды силы тяги	183

ГЛАВА XV

Стр.

Давление колес на рельсы

5. Понятие о взаимодействии в покое и движении	184
6. Влияние колебание рессор	185
7. Добавочная нагрузка от давления пара на ведущее колесо	189
8. Влияние уравнивания частей паровой машины на динамическую нагрузку	192
9. Изменение нагрузки под влиянием силы инерции возвратно-движущихся частей	196
10. Суммарное изменение давления колес	197

ГЛАВА XVI

Движение паровоза

11. Путь при статической нагрузке	198
12. Путь при динамической нагрузке	199
13. Движение паровоза по прямому пути	203
14. Движение паровоза по кривой	208

ОТДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПУТИ И ПАРОВОЗА

ГЛАВА XVII

Реконструкция пути

1. О реконструкции и рационализации	213
2. Элементы реконструкции	214
3. Скрепления	216
4. Использование старых накладок	222
5. Установление типов пути	223
6. Первый тип пути	223
7. Второй тип пути	224
8. Третий тип пути	225
9. Пассажирское движение	225
10. Рельсы	226
11. Шпалы	227
12. Баласт	228
13. Земляное полотно	229
14. Объем работ	229

ГЛАВА XVIII

Реконструкция паровозного парка

15. Товарные паровозы	230
16. Пассажирские паровозы	231
17. Модернизация паровозов	231
18. Эффективность реконструктивных мер	231

«Особую важность в условиях реконструкции производства имеет задача подготовки новых кадров высококвалифицированных рабочих, а также низшего и среднего технического персонала: мастеров, бригадиров, контролеров».

Это сказано в резолюции XVI съезда ВКП(б) о выполнении пятилетнего плана промышленности.

Мы уже являемся свидетелями того, как организующая воля рабочего класса проводит в жизнь программные решения своего авангарда.

Сейчас происходит напряженная учеба в разных, ранее захолустных, уголках нашего Великого Союза, уж не говоря о столицах и индустриальных центрах. Существуют многочисленные школы и курсы. Напряженная работа по самообразованию миллионов трудящихся дополняет картину совершающегося на наших глазах похода за грамотность, за культуру, за непрестанное совершенствование и повышение квалификации.

Транспорт представляет собою сложнейший механизм. Понимание его взаимодействующих частей является необходимой предпосылкой успешной работы. Тем более это относится к периоду социалистической реконструкции (техническому перевооружению) транспорта.

Самыми же основными частями железнодорожного транспорта являются путь и локомотив. Их работа нераздельно связана. Болезнь одного из них самым отрицательным образом сказывается на другом. Вот почему путейцу необходимо знать основы устройства и работы локомотива так же, как и тяговика необходимо знать основы устройства и работы пути.

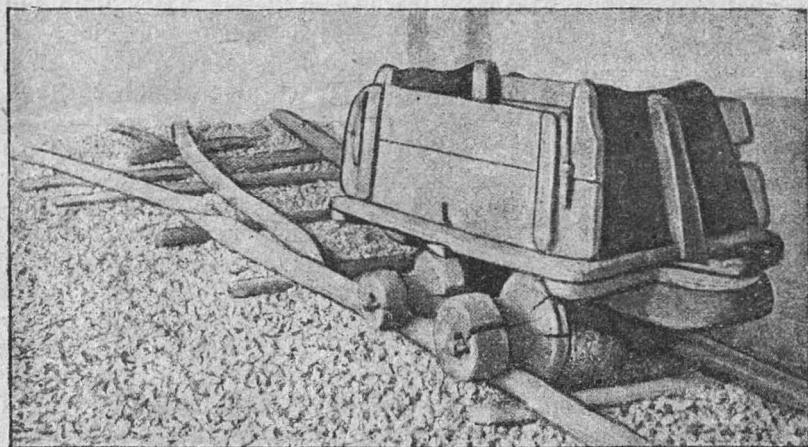
Предлагаемый вниманию читателя труд содержит описание пути, одного из типов локомотива паровоза и их взаимодействия. Также освещен здесь в кратце вопрос их реконструкции. Что касается пути, то здесь дано описание преимущественно той части, которая имеет непосредственное соприкосновение с паровозом,—именно верхнего строения.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Историческая справка

Под железнодорожным путем понимается стальная рельсовая колея, по которой обращаются экипажи при помощи механического двигателя. Железнодорожным путям с рельсовой колеей предшествовали гужевые дороги. Колея служила там средством, облегчающим перевозку грузов. Известны например деревянно-колейные дороги (фиг. 1).



Фиг. 1. Деревянно-колейная дорога XVI столетия.

Еще в древности египтяне, римляне и греки устраивали колею в виде углублений в каменном основании. Применялись также отдельные каменные плиты с жолобами глубиной около 5 см.

В Англии же, в 1630 г., с целью удешевления перевозки угля был устроен путь, уложенный на продольных брусках (фиг. 2).

Такой путь оказался невыгодным, так как бруска быстро изнашивались и сопротивление движению вместе с тем оставалось довольно большим.

В 1767 г., в Англии же, Рейнольдсом была уложена колея из чугунных полос, расположенных и прикрепленных на продольных брусках.



Фиг. 2. Путь на продольных брусках.

Чугунным полосам были приданы закраины (фиг. 3), которые по замыслу автора должны были направлять движение. Однако колеса повозок сходили с полос вследствие малой высоты закраин.

Чтобы устранить этот недостаток, была устроена колея из чугунных уголков, укреплявшихся на деревянных поперечинах (фиг. 4).

Как видно из чертежа, горизонтальные полки служили для поддержания колес, а вертикальные—для их направления. Движение на этих путях производилось конной тягой. Разумеется, что и последняя колея не была лишена многих недостатков.



Фиг. 3. Рельсовый путь Рейнольдса.

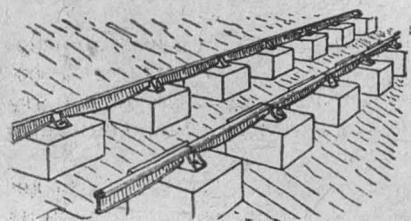


Фиг. 4. Чугунные угольковые рельсы Керра.

В 1789 г. была в Англии уложена рельсовая колея, показанная на фиг. 5.

Изобретатель этого рельса, Джесоп, применил здесь принцип движения, который существует до сих пор, а именно: закраина, направляющая движение, перенесена с рельсов на колеса. Надо отметить, что с возникновением этой колеи началась постройка специального подвижного состава.

По такому типу был построен Утрамом ряд дорог в Англии в конце XVIII и начале XIX столетия. Дороги эти были широко известны по имени их строителя (сокращенно—под названием дорог Трама). Дорога по английски звучит «вай». Отсюда и пошло слово «трамвай».



Фиг. 5. Путь (чугунные рельсы) Джесопа.

Совершенно очевидно, что прежде чем дойти до теперешнего состояния, железнодорожный путь, совершенствуясь, прошел определенные стадии развития. В частности такие стадии прошли рельс и механический двигатель.

Рельсы Джесопа были чугунными. Они видоизменялись и улучшались разными техниками. Но в силу своей хрупкости чугунные рельсы оказались мало практичными. Первый опыт изготовления железных рельсов удалось достигнуть лишь в 1820 г., когда появились рельсы Биркинсона. Последние и были рельсами первых паровозных железных дорог.

Следующий этап касается поисков подходящего двигателя. До начала XIX столетия грузы передвигались по рельсовой колее при помощи живых двигателей. С усовершенствованием же паровой машины английским механиком Уаттом (1769 г.) сильно продвинулись вперед поиски «железной лошади». Однако лишь в 1804 г. англичанином Тревитиком был построен паровоз, который был затем усовершенствован в 1825 г. Георгом Стефенсоном. К этому периоду и относится окончательное оформление железной дороги, как рельсовой колеи при механическом двигателе в том представлении, которое в настоящее время у нас сложилось.

Год открытия дороги	Страна	Наименование железной дороги	Протяжение дороги (в км)
1825	Англия	Стоктон—Дарлингтон	21
1830	Америка	Чарльстоун—Аугуст а.	64
1833	Франция	С. Эгьен—Лион	58
1835	Германия	Нюрнберг—Фюрт	7
1835	Бельгия	Брюссель—Мехельн	20
1837	Россия	С.-Петербург—Павловск	26
1838	Австрия	Флоридодорф—Баграм	19
1839	Голландия	Амстердам—Гаарлем	17
1839	Италия	Неаполь—Портичи	68
1846	Венгрия	Пешт—Вайтуен	22
1848	Испания	Барселона—Матаро	8

2. Причины успеха железных дорог

Первая железная дорога с паровозной тягой была открыта в Англии в 1825 г. Спустя столетие, железнодорожная сеть на земном шаре выросла до громадных размеров—протяжением более одного миллиона километров. Это расстояние в три раза превосходит расстояние между землей и луной.

В чем же кроется причина такого быстрого успеха железнодорожного строительства?

Каждый экипаж при движении по земной поверхности по дорогам грунтовым, шоссейным и иным встречает сопротивление, вызванное наличием силы трения.

Сопrotивление движению принято исчислять на единицу веса перевозимого груза. Если, например, перевозится одна тонна груза, то сопротивление движению приходится в несколько килограммов на эту тонну. Такое сопротивление, приходящееся на единицу веса перевозимого груза, называется *удельным сопротивлением*.

В зависимости от рода колеи, т. е. в зависимости от рода одежды дороги, экипаж встречает разное удельное сопротивление. Так, например на прямом горизонтальном пути мы имеем следующее удельное сопротивление, приходящееся в килограммах на одну тонну в зависимости от рода одежды дороги:

Наименование путей сообщения или род одежды дороги	Удельное сопротивление (в кг на 1 т)	Наименование путей сообщения или род одежды дороги	Удельное сопротивление (в кг на 1 т)
Дорога песчаная	150	Деревянная мостовая	15
земляная	100	Асфальтовая мостовая	8
Наезженная земляная дорога	50	Санная дорога	30
Шоссе	30	Лед	10
Плохая мостовая	40	Железная дорога	2
Хорошая мостовая	20	Каналы	0,5

На дороге песчаной удельное сопротивление самое большое. Чем совершеннее мостовая, т. е. чем лучше одежда дороги, тем сопротивление меньше.

Отсюда видим, что из всех сухопутных путей сообщения железная дорога дает наименьшее удельное сопротивление. Какой вытекает отсюда вывод? Это означает, что при одной и той же силе тяги, взятой для железной дороги и дороги песчаной, на первой можно перевезти груз 75 раз больший. Таким образом возможны массовость и относительная дешевизна железнодорожной перевозки.

В этом кроется техническая основа успеха железных дорог.

Теперь всякому известно—какое значение имеют железные дороги с точки зрения экономической. При плановом же хозяйстве (а таковым является социалистическое хозяйство) это значение еще в большей мере возрастает. При наличии широко развитой железнодорожной сети возможно до конца проводить географическое разделение труда. Человечество борется с природой и побеждает ее при помощи техники. Но в интересах правильной и успешной борьбы необходимо считаться с условиями географическими, климатическими, топографическими и т. д. На основе таких предпосылок возникают и развиваются районы со специфическими (характерными для данного района) производствами. Но, чем больше данный район специализируется в свойственном ему производстве, тем больше он нуждается в обмене своего продукта на продукт производства другого района, зачастую расположенного от первого за тысячи километров. Производить же этот обмен возможно только при наличии путей сообщения.

Ярким примером «специализации» района и географического разделения труда является Туркестан. Там, как известно, культивируется хлопок. Но форсировать развитие культуры хлопка в Туркестане мы сумели только благодаря постройке Туркестано-Сибирской железной дороги, по которой подвозится сибирский хлеб средне-азиатскому дехханину.

В подобных условиях находится очень много наших районов, где развиваются новые для нас производства. Только при совершенствовании существующих и при возведении новых железных дорог возможно развитие этих новых районов и производств. Таким образом, железные дороги являются существенной составной частью процесса индустриализации страны.

На этом основании мы уделяем теперь исключительное внимание нашим путям сообщения, в том числе железнодорожному транспорту. Помимо этого мы вступили в период напряженного железнодорожного строительства. Здесь мы должны еще «догнать и перегнать передовые капиталистические страны», от которых по многим показателям мы пока сильно отстали, что покажут приводимые ниже данные.

4. О транспортной обслуженности

Из приведенной таблицы (стр. 13) протяжения железных дорог вытекают некоторые измерители транспортной обслуженности. В этой области нам приходится соревноваться с САСШ.

По отношению САСШ длина железнодорожной сети СССР составляет всего 18,5%, иначе—протяжение нашей сети железных дорог в 5,5 раза меньше сети дорог САСШ.

3. Протяжение железных дорог в главнейших странах

№№ по порядку	Наименование государств	Площадь территории (в км ²)	Население в тысячах	Длина железных дорог (в км)	В 1923 г. приходилось к м линии	
					на 100 км ² территории	на 10 000 жителей
1	Абиссиния	907 000	11 500	797	0,09	0,69
2	Австрия	83 833	6 695	7 038	8,40	10,50
3	Австралийский союз	7 704 325	6 344	46 124	0,60	72,80
4	Аргентина	2 709 000	10 765	37 935	0,14	35,15
5	Бельгия	30 841	7 996	11 093	35,70	38,70
6	Болгария	103 146	5 713	2 710	2,63	4,76
7	Бразилия	8 511 000	37 910	30 285	0,35	7,99
8	Великобритания и Сев. Ирландия	243 777	45 535	34 042	14,00	7,47
9	Венгрия	92 951	8 599	9 529	10,20	11,08
10	Германия	470 628	64 500	58 333	12,40	9,04
11	Голландия	34 208	7 731	3 825	11,20	4,95
12	Греция	127 000	6 205	3 192	2,50	5,07
13	Дания	42 947	3 470	5 120	11,90	14,75
14	Египет	994 300	14 169	5 433	0,55	3,87
15	Индия	4 668 600	318 942	62 112	1,33	9,50
16	Испания	497 881	22 602	15 589	3,13	6,90
17	Италия	310 139	41 153	22 987	7,39	5,90
18	Канада	9 363 450	9 653	64 530	0,69	66,70
19	Китай	8 866 000	438 437	12 020	0,13	2,46
20	Латвия	65 701	1 883	2 853	4,34	50,80
21	Литва	55 659	2 317	1 613	2,88	6,96
22	Мексика	1 989 200	14 300	25 344	0,13	75,07
23	Норвегия	323 793	2 799	3 589	1,11	20,82
24	Персия	1 645 000	9 000	563	0,03	0,62
25	Польша	388 390	30 213	19 399	4,98	6,46
26	Румыния (с захваченной Бессарабией)	294 967	17 400	11 948	4,05	6,86
27	САСШ	7 996 918	120 013	417 870	5,22	34,80
28	СССР	21 364 100	158 600	77 000	0,35	4,86
29	Турция	747 000	13 748	3 500	0,47	2,59
30	Финляндия	388 433	3 582	5 053	1,30	41,0
31	Франция	550 936	41 250	53 561	9,72	30,0
32	Чехо-Словакия	140 394	14 400	13 675	9,75	9,49
33	Швейцария	41 295	4 036	5 808	14,10	44,0
34	Швеция	448 600	6 038	16 079	3,56	26,4
35	Эстония	47 549	1 117	1 702	3,58	47,2
36	Юго-Славия	248 665	12 970	9 846	3,95	7,6
37	Япония	381 250	61 900	22 003	5,77	3,55

Обслуженность рельсовой сетью на 10 000 жителей составляет:	
СССР	5,2 км
САСШ	34,7 "

Обслуженность рельсовой сетью на 100 км ² площади:	
СССР	0,35 км
САСШ	5,20 "

Таким образом в СССР обслуженность по населению в 6,6 раза меньше, а по территории в 14,8 раза ниже, чем в САСШ.

Хотя по протяжению сети СССР стоит на втором месте, зато по обслуживанию населения—на шестом и по обслуживанию площади на последнем месте по сравнению передовыми капиталистическими странами.

Отсюда лишний раз со всей очевидностью вытекает, что нам необходимо взять в транспортном строительстве очень высокие темпы.

5. Ширина колеи

Ширина колеи исчисляется как расстояние между внутренними гранями головок рельсов. Родиной железных дорог, как известно, является Англия. Следовательно и первая величина ширины колеи исходит из Англии. Надо полагать, что при установлении колеи, Стефенсон, как строитель железных дорог руководствовался, с одной стороны, установившейся к тому времени колеей обыкновенных дорог, а с другой стороны—размерами запроектированного им паровоза. Таким образом Стефенсоном была установлена ширина колеи в 1435 мм. Так как эта ширина колеи была принята многими странами, и в частности была перенесена в Америку и, таким образом, приобрела большое распространение, то она получила название *степенсоновской колеи*.

Однако не все страны приняли степенсоновскую колею. В частности у нас ширина колеи была принята шире нормальной, а именно 1524 мм. Последнее объясняется, повидимому, стратегическими соображениями. Предполагалось, что при разных ширинах будет затруднен переход с одной колеи на другую. До недавнего времени так оно и было. В настоящее же время с успехом применяется пересадка вагонных кузовов с одного ската на другой более широкий или более узкий. Следовательно, теперь отпали стратегические соображения, принимавшиеся ранее во внимание при установлении ширины колеи.

В настоящее время колеи более широких, чем степенсоновская, имеется всего четыре:

Испанская	1 676 мм
Ирландская	1 600 "
Индийская	1 667 "
Русская	1 524 "

Что касается колеи более узких, чем степенсоновская, то таких существует много (более 40 величин). Наиболее же распространенными узкими колеями на дорогах общего пользования являются колеи в 600, 750, 1 000 и 1 067 мм.

До последнего времени от нормальной ширины колеи в 1 524 мм у нас допускались следующие отступления:

а) сужение колеи не свыше 3 мм и б) уширение колеи не свыше 10 мм; следовательно, путь можно оставлять без перешивки, т. е. без исправления ширины, при ширине колеи 1 521—1 534 мм.

Таким образом допускаются следующие колебания ширины колеи в кривых, при которых путь оставляется без перешивки:

Радиус кривой в метрах	Нормальная ширина колеи (в мм)	Величина уширения (в мм)	Допускаемые отступления ширины колеи (в мм)
более 450	1 524	3 + 10	1 521—1 534
450—400	1 529	3 + 10	1 526—1 539
399—350	1 534	3 + 10	1 531—1 544
349—250	1 539	3 + 10	1 536—1 549
249 и меньше	1 544	3 + 10	1 541—1 554

В прямых частях пути и в кривых радиуса больше 1 100 м на некоторых участках колея с самого же начала сшивается шириной 1 526 мм, что делается во избежание частых перешивок пути от сужения против нормальной ширины.

Расстояние между путями. По старым «Техническим условиям проектирования и сооружения магистральных железных дорог нормального типа» расстояние между осями двух смежных путей составляет:

а) на перегонах на прямых участках пути 4,10 м; б) на станциях и разъездах для путей, между которыми при постройке дороги устраивается пассажирская платформа или между которыми устройство подобной платформы возможно предвидеть в будущем, — в соответствии с шириной и типом платформы и, во всяком случае, не менее 7,00 м; если между рельсовыми путями предполагается какое-либо станционное устройство, то расстояние между осями смежных путей должно быть не менее 5,70 м, наконец, между прочими путями, кроме сближенных путей для перегрузки, расстояние это должно быть не менее 5,20 м.

ГЛАВА II

СВЕДЕНИЯ О НИЖНЕМ СТРОЕНИИ

6. Основные части железнодорожного пути

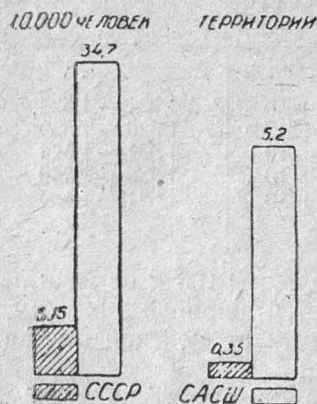
Основой строения всякой железной дороги является путь. Под понятие *путь* входят все те устройства и сооружения, благодаря которым имеется возможность пропускать подвижной состав по железной дороге.

Путь состоит из двух основных частей: нижнего строения и верхнего строения. *Нижнее строение* является основанием для верхнего строения. Сюда входят все те сооружения, которые поддерживают верхнее строение, а именно: а) земляное полотно и б) искусственные сооружения.

7. Понятие о земляном полотне

Надобность в земляном полотне возникает потому, что верхнее строение необходимо укладывать по строго определенным уклонам, в то время как земная поверхность имеет свои собственные очертания. Поэтому при постройке железной дороги необходимо уравнивать земную поверхность. Таким образом приходится возводить на поверхности земли валы, иначе дамбы, называемые *насыпями* (фиг. 9, 11 и 14), или же приходится сносить некоторую часть земной поверхности, т. е. врезываться в нее при помощи траншей, называемых *выемками* (фиг. 8, 10, 12 и 13).

В местах косогорных приходится иногда поперек пути делать неполную выемку, называемую *полувыемкой*, или неполную насыпь — *полунасыпь*, или же приходится делать одновременно неполную выемку и неполную насыпь, так называемую *полувыемку-полунасыпь*.



Фиг. 6. Обслуженность ж.-д. сетью на 1000 жителей и 100 км²

8. Нормальные поперечные профили

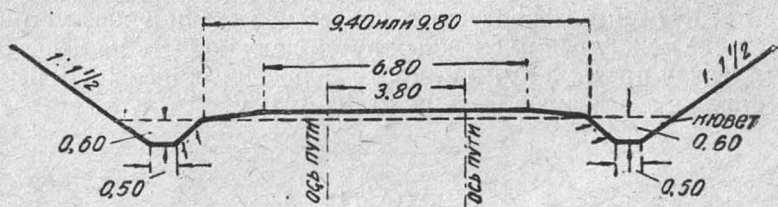
Железнодорожное полотно имеет в поперечном разрезе, называемом поперечным профилем, форму так



называемой трапеции, т. е. такой фигуры, у которой нижнее основание шире верхнего. Следовательно, боковые стороны имеют определенный уклон, иначе — крутизну. Под крутизной таким образом понимается степень наклона откоса к горизонту.

Железнодорожное полотно очень часто имеет так называемую полукрутизну откосов. Это надо так понимать: если высота полотна равна, например, 5 м, то ее заложение равно 7,5 м (фиг. 7).

Надобность в откосах у железнодорожного полотна вытекает из того, что частицы земляной массы имеют между собой естественное сцепление лишь при определенном наклоне к горизонту поверхности этой массы. Так, например, из земляной массы невозможно создать тело (фигуру) с вертикальными (отвесными) стенками. В таком случае земляная масса будет сползать до тех пор, пока не наступит момент, когда частицы станут держаться друг за друга в силу естественного сцепления. В железно-



Фиг. 8. Выемка для двухколейного пути.

железнодорожное полотно очень часто имеет так называемую полукрутизну откосов. Это надо так понимать: если высота полотна равна, например, 5 м, то ее заложение равно 7,5 м (фиг. 7).

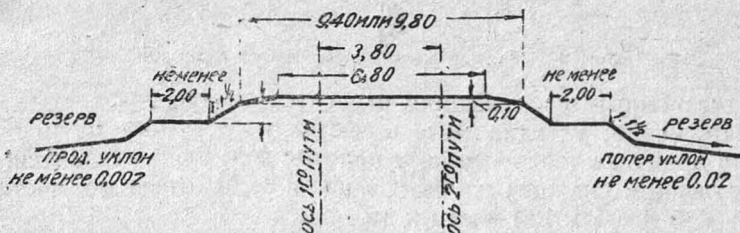
Надобность в откосах у железнодорожного полотна вытекает из того, что частицы земляной массы имеют между собой естественное сцепление лишь при определенном наклоне к горизонту поверхности этой массы. Так, например, из земляной массы невозможно создать тело (фигуру) с вертикальными (отвесными) стенками. В таком случае земляная масса будет сползать до тех пор, пока не наступит момент, когда частицы станут держаться друг за друга в силу естественного сцепления. В железно-

дорожной практике широко известны случаи, когда для удержания земляной массы приходится ставить подпорные стенки.

Приведенные профили действовали до последнего времени в качестве нормальных. В последнее же время пересмотрены «Технические условия проектирования и сооружения железных дорог», в которые внесены значительные изменения.

9. Понятие об устройстве земляного полотна

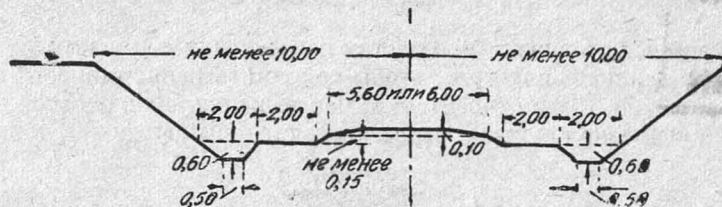
В том случае, когда приходится делать более или менее высокую насыпь, само собой разумеется, что откуда-то необходимо брать землю. В таком случае она берется из так называемых резервов, расположенных на расстоянии от 2 до 6 м, в зависимости от высоты насыпи, от подошвы откосов обеих сторон пути (фиг. 9).



Фиг. 9. Насыпь малой высоты для двухколейного пути.

Земли для насыпи из одних резервов зачастую бывает недостаточно. Тогда ее подвозят из ближайшей выемки.

При устройстве выемок необходимо землю куда-то убрать. В таком случае устраивается из вынутой земли вал, так называемый кавальер, который располагают от бровки выемки на расстоянии не менее 5—10 м (фиг. 10), в зависимости от породы грунта.



Фиг. 10. Выемка при глубине менее 2 м в заносимых местах.

Устройство земляного полотна на косогорах вызывает известные трудности. От степени крутизны косогора и породы грунтов зависят те или иные приемы устройства земляного полотна и дополнительные к нему сооружения.

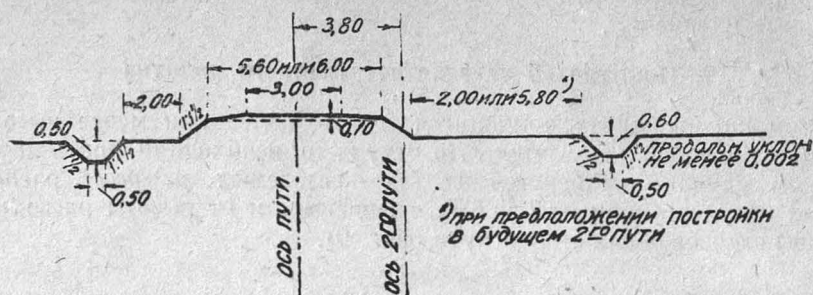
Земляное полотно имеет поверху определенную ширину—так называемые магистрали нормального типа, т. е. железнодорожные линии, построенные по определенным установленным требованиям (иначе—техническим условиям),—5,5 м, магистрали облегченного типа—5,0 м и ветви—4,6 м.

Крутизна откосов зависит от высоты насыпи и рода грунта. При высоте насыпи до 12 м крутизна откосов делалась полуторной. Сейчас эти нормы уменьшены.

Ом. Ин-та тех. трансп.

10. Понятие об искусственных сооружениях

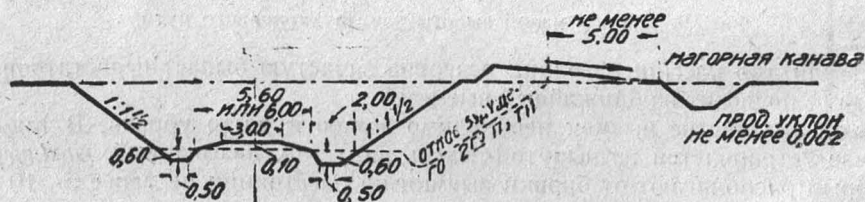
Во многих случаях насыпи в железнодорожном пути прерываются. Взамен насыпи в таких местах воздвигаются сооружения, назначенные для определенной цели и называемые искусственными сооружениями.



Фиг. 11. Насыпь малой высоты без резервов.

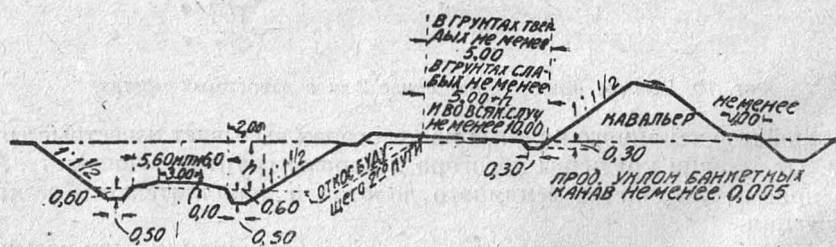
К искусственным сооружениям относятся следующие.

1. Сооружения, устраиваемые в местах пересечения пути с водотоками, для пропуска через земляное полотно вод. Сюда относятся: а) трубы—сооружения, сидящие глубоко в насыпи; б) открытые мостики (отверстием не более 5 м); в) мосты и др.



Фиг. 12. Выемка без кавальера.

2. Сооружения, устраиваемые в местах пересечения с другими путями сообщения. Это делается для того, чтобы сохранить непрерывность сообщения через полотно. Сюда относятся: а) проезды в уровне рельсов в том случае, когда железная дорога пересекается с обыкновенной дорогой,

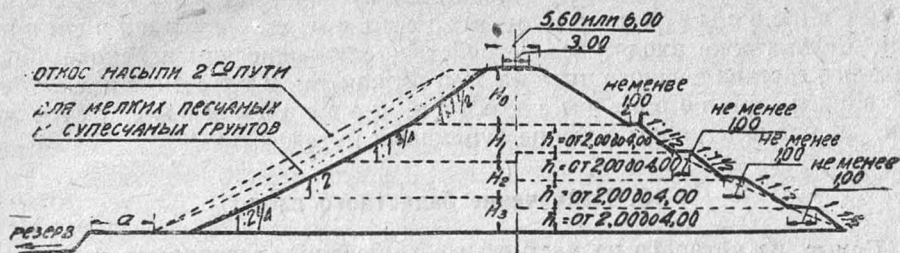


Фиг. 13. Выемка с кавальером.

б) путепроводы над дорогами в том случае, когда наш железнодорожный путь проходит под существующей железной дорогой или под обыкновенной дорогой, и в) путепроводы под дорогой в том случае, когда сооружаемый железнодорожный путь проходит над существующими путями сообщения.

3. Сооружения, устраиваемые при значительной разнице в высотах (отметках) пути и земной поверхности: а) виадуки взамен насыпей и б) тоннели взамен выемок.

Применение последних вытекает из следующих обстоятельств: железнодорожный путь зачастую пересекает глубокие и широкие балки или овраги; разумеется, что здесь необходимо поставить искусственное сооружение для пропуска вод; в таком случае можно было бы ограничиться устройством трубы; но расчет и опыт показывают, что во многих случаях более выгодно в остальной (остающейся после постановки трубы) части



Фиг. 14. Высокие насыпи.

низменности вместо насыпи возводить каменный мост на высоких опорах, т. е. виадуки. С другой стороны, железнодорожный путь зачастую проходит через горы. Расчеты показывают, что вместо того, чтобы обходить гору или же делать глубокую открытую выемку, выгоднее прокладывать в этой горе сквозную траншею, т. е. тоннель.

11. О материале для искусственных сооружений

Для искусственных сооружений применяется различный материал: дерево, камень, бетон, железо и железобетон.

Обычно из дерева строятся мосты небольших пролетов или мосты временного характера. Объясняется это тем, что дерево допускает значительно меньшее напряжение, чем остальной материал.

Что касается камня, то из него в древности с большим искусством строились мосты. Но постройка мостов больших пролетов из камня неосуществима, так как вес самого камня очень велик и уже от собственного веса в частях моста получается большое напряжение. Зато трубы и виадуки делаются преимущественно из камня, а также и из бетона.

Железобетон с большим успехом применяется при постройке путепроводов, а также для мостов небольших пролетов.

Мосты больших пролетов делаются исключительно из железа. Открытие и применение кремнистой (силициевой) стали дает возможность строить мосты громадных пролетов и на не менее громадные нагрузки. У нас впервые из кремнистой стали строится один из мостов на Днестре у Государственной гидро-электрической станции (Днепрострой).

Мостостроение, эта гениальная отрасль инженерного искусства, сделала за последнее время громадные успехи. Так, например, закончена постройка моста через пролив Гудзон в Америке, имеющего пролет в 1 036 м.

БАЛАСТНЫЙ СЛОЙ

12. Составные части верхнего строения

Под верхним строением подразумевается совокупность той части пути, которая непосредственно воспринимает давление подвижного состава и направляет его при движении.

К верхнему строению относятся: а) баластный слой, б) рельсовые опоры и в) рельсы со скреплениями. Сюда также входят все устройства, служащие для перехода подвижного состава с одного пути на другой, как-то: стрелочные переводы, поворотные круги, передвижные тележки, а равно и упоры в конце тупиковых путей.

13. Назначение баластного слоя

Грунт, из которого на местности обыкновенно устраивают земляное полотно, в большинстве случаев бывает недостаточно тверд. Зачастую земляное полотно состоит из глинистых грунтов. Если положить рельсовые опоры непосредственно на такой грунт—глину, то она после прохождения поезда даст сильную осадку, особенно в сырое время.

Если же положить рельсовые опоры на земляное полотно, состоящее иногда из скалистого грунта, который осадку вовсе не даст, то при прохождении поезда получатся жесткие удары, очень вредно действующие как на путь, так и на ходовую часть подвижного состава.

Однако в начале постройки железных дорог строители полагали, что скала является самым прочным, а вместе с тем и самым желанным основанием для железной дороги. Исходя из такой установки, на железнодорожной линии Манчестер—Лидс (построена в 1839 г.), которая частью проходила скалистыми выемками, строители уложили рельсы на чугунных подушках непосредственно на обделанную соответствующим образом скалу. Как только на линии открылось движение, пошли поломки рельсов, подушек и подвижного состава. Эти случаи были столь часты, что спустя 20 дней после начала движения, его пришлось закрыть. Было признано необходимым смягчить жесткость пути.

Таким образом видно, что при постройке железной дороги необходимо в соответствующих случаях принять меры как против возможной осадки, так и против чрезмерной жесткости.

В силу таких основных соображений рельсовые опоры не укладываются непосредственно на грунт и поэтому же вытекает необходимость иметь промежуточный слой между земляным полотном и рельсовыми опорами. Этот промежуточный слой и называется *баластом*.

Следовательно, одним из важных назначений баласта является его работа по поглощению ударов и тяжести от проходящих поездов. Но плохой была бы служба баласта, если бы он оседал под тяжестью поездов и не приходил в свое первоначальное состояние. Баласт же обладает именно тем свойством, что он несколько оседает под тяжестью поезда и как только поезд промчался, он опять приходит в свое нормальное состояние. Это свойство баласта носит название *упругой деформации*.

Работу баластного слоя можно сравнить с работой пружинного матраца. Пока человек на нем отдыхает, пружины дают осадку. Как только человек встал, пружины расправляются. Или же работу баласта можно сравнить с вдохом и выдохом грудной клетки человека. Под тяжестью поезда баласт производит выдох, поезд прошел—баласт вдыхает.

Упругое свойство баласта сохраняется, как и во всяком теле, лишь под давлением, не превышающим определенной величины. Под давлением выше определенного предела баласт сжимается и уже не может вернуться к своему первоначальному положению. В таком случае в баласте наступает так называемый предел упругости.

Предельное давление, которое имеет определенную величину для каждого материала, называется *коэффициентом упругости*.

Под коэффициентом упругости, иначе называемым коэффициентом баласта или коэффициентом постели шпалы, следует понимать некоторый груз, выраженный в килограммах, под влиянием которого один квадратный сантиметр поверхности баласта оседает на один сантиметр.

Таким образом коэффициент баласта зависит как от материала самого баласта, так и от состояния (плохого, посредственного и хорошего) земляного полотна.

Так, например, у нас приняты следующие коэффициенты баластов:

3—для баласта из мелкого песка на не вполне устойчивом полотне (подвергающемся просадкам), т. е. плохой баласт на посредственном полотне;

4—для баласта из среднего песка на вполне устоявшемся полотне или для баласта из щебня и крупного песка на менее удовлетворительном полотне, т. е. для посредственного баласта на хорошем полотне или для хорошего баласта на посредственном полотне;

5—для баласта из щебня и крупного песка на вполне устоявшемся полотне, т. е. для хорошего баласта на хорошем полотне.

Это значит, что для соответствующих баластов могут быть допущены нагрузки до 3, 4 и 5 кг на каждый квадратный сантиметр, причем изменения формы (деформации) этого баласта будут находиться в пределах упругости.

Роль баласта не ограничивается одной упругой деформацией. Воспринимая давление от поезда, баласт должен распределять его равномерно на большую площадь земляного полотна и тем самым доводить это давление на единицу площади до принятой величины (примерно до двух килограммов на квадратный сантиметр).

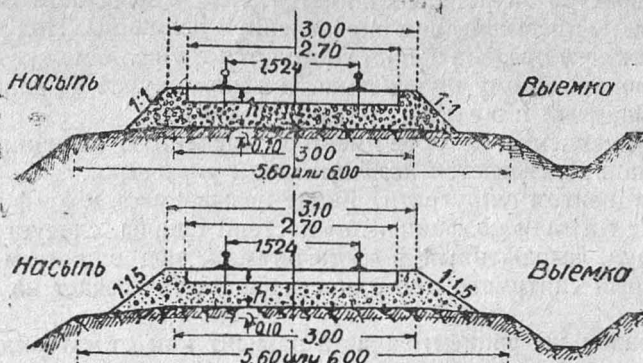
Однако и этим не ограничивается роль баласта. Его служба очень ценна еще и в другом отношении.

Всякому известно, какие большие неудобства доставляет застоявшаяся вода в «рытвинах» колеи грунтовых дорог. Вода здесь остается вследствие того, что многие грунты не пропускают ее. Такое положение совершенно недопустимо в отношении баластного слоя.

Воды ливневые, дождевые и от тающего снега размывают баластный слой. Оставаясь же там, образуют в нем ухабы, являющиеся большой угрозой для нормального движения поездов. Зимой же застоявшаяся вода в баласте так же, как и в верхнем слое земляного полотна, замерзает и образует на теле пути «опухоли» из-за расширения воды при превращении ее в лед, которые носят название *пучин*. Таким образом образо-

ываются бугры, которые поднимают шпалы и рельсы и скашивают ко-
лею. Пучины, следовательно, расстраивают путь и являются источником
многих бед при движении поездов.

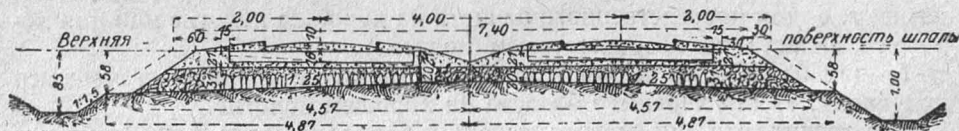
Отсюда с совершенной очевидностью вытекает требование: баласт
должен пропускать воду.



Фиг. 15. Баласт щебеночный.

Фиг. 16. Баласт нещебеночный.

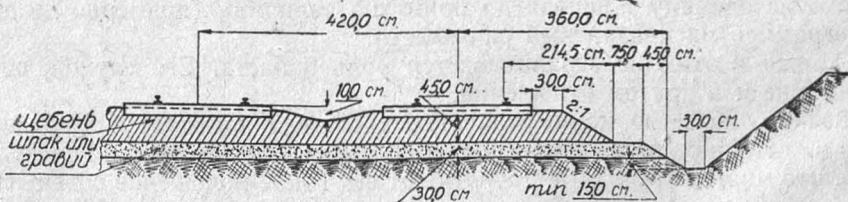
Правда, этой способностью баластный слой не предохраняет грунт
от намокания. Но способность равномерно передавать давления на грунт
остается и у влажного баласта. Для предохранения грунта от намокания
за границей иногда грунт покрывают водонепроницаемой коркой, кото-



Фиг. 17. Баласт на германском двухколейном пути.

рая отводит прошедшую через баластный слой воду на откосы или в спе-
циальные канавки-кюветы.

Полезная работа баластного слоя и этим не ограничивается. Известно,
что от сил, возникающих при движении поезда, рельсы со шпалами ста-



Фиг. 18. Баластный слой на главных линиях Пенсильванской ж. д. в САСШ.

раются переместиться (часто на самом деле перемещаются) вдоль или по-
перек пути. В таком случае баласт оказывает сопротивление перемеще-
нию и, следовательно, является как бы вязущим веществом между рель-
сами со шпалами и земляным полотном.

Опытными исследованиями установлено (Вебер), что ненагруженная шпала имеет сопротивление перемещению поперек пути до 500 кг. Сопротивление же шпалы сдвигу вдоль пути при отсутствии поезда достигает величины 450 кг. Под поездом сопротивление шпал перемещению возрастает в 20 раз. Совершенно очевидно, что приведенные величины зависят— от силы трения между шпалой и баластным слоем.

Итак, баласт имеет своим назначением: 1) равномерно передавать давление от поезда на земляное полотно, 2) умерять удары от проходящего поезда, 3) отводить воду и 4) препятствовать перемещению шпал.

На фиг. 15 и 16 показаны наши нормальные поперечные профили баластного слоя. На фиг. же 17 баластный слой на германских железных дорогах, а на фиг. 18—баластный слой на главных линиях Пенсильванской железной дороги в САСШ.

14. Размеры и формы баластного слоя

Выше мы уже установили, что одним из основных назначений баластного слоя—производить равномерное распределение давления подвижного состава на земляное полотно. Но такое равномерное распределение давления зависит от двух обстоятельств: 1) высоты баластного слоя и 2) от так называемого угла откоса.

Высота баластного слоя сама по себе зависит от того, на какой род грунта полотна баласт насыпается, от того, как часто уложены шпалы и от рода материала самого баласта.

Приводимая таблица дает представление о принятых высотах баластного слоя в зависимости от рода грунта, полотна и от рода баласта.

Род грунта полотна	Высота слоя баласта (в м)	
	щебень	галька, гравий, крупный песок
Хороший: скалистый, щебеночный, галечный крупно-песчаный	0,45	0,45
Обыкновенный: средне или мелко-песчаный и суглинистый	—	0,50
Мало удовлетворительный: глинистый, вообще вязкий	—	0,60

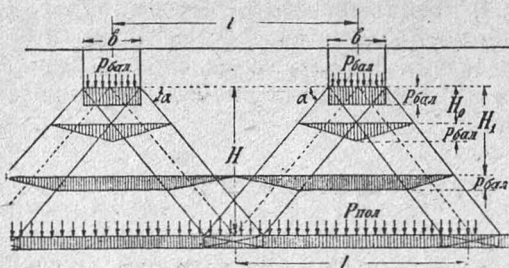
На станциях высота баластного слоя принимается меньше данных, указанных в таблице, на 0,05 м.

Отсюда видно, что чем хуже грунт полотна, тем большей должна быть высота баластного слоя. Большая же высота баластного слоя распределяет давление от подвижного состава на большую площадь полотна. Это происходит от того, что воспринимаемое баластом от подвижного состава давление, передаваемое через шпалу, передается дальше на полотно не вертикально (отвесно) вниз, а под определенным углом к вертикали.

Свойством передавать давления не вертикально вниз, а по наклонной линии, обладают породы грунтов, применяемые для баласта, например, щебень, песок, гравий и некоторые другие.

Таким образом, если положить шпалу на один из таких грунтов и нагрузить ее, то давление от шпалы распространится в этом грунте, например, в песке, по линиям, идущим наклонно, т. е. в форме расходящейся в наружные стороны трапеции (фиг. 19).

Из фиг. 19 мы видим, что на некоторой глубине в баластном слое встречаются (пересекаются) линии, по которым передается давление от двух шпал. Здесь, во всех точках, давление на грунт одинаково. Совершенно очевидно, что большей высоты баластного слоя, чем та, которая опреде-



Фиг. 19. Схема распределения давления в баластном слое.

лилась глубиной одинакового давления, и не надо. Расчеты показывают, что при песчаном баласте и при расстоянии между осями шпал в 70 см высота баластного слоя получается равной 60 см. Если же расстояние между осями шпал уменьшить, т. е. шпалы сдвинуть ближе друг к другу, то необходимая высота баластного слоя также уменьшится, так как зона одинакового давления наступит раньше. Опыт показывает, что при ширине шпалы в 26 см и расстоянии между осями шпал в 60 см, величина выравненного давления составляет лишь 43% от наибольшего давления, т. е. от давления, производимого ведущим колесом паровоза.

Что касается допустимых нагрузок (способность грунтов выдерживать давление—выражается в килограммах, на квадратный сантиметр), на различные грунты, то следующая таблица поясняет это.

Род грунта	Допускаемое давление (в кг/см ²)	
	грунт сухой	грунт мокрый
Щебень	от 6 до 9	от 6 до 9
Гравий	„ 5 „ 7	„ 5 „ 7
Чистый песок	„ 3 „ 5	„ 3 „ 5
Мергелистые грунты	„ 3 „ 4	„ 0,1 „ 1
Глинистые грунты	„ 2 „ 4	„ 0,1 „ 1
Растительные грунты	„ 2 „ 3	„ 0,1 „ 1

Там же, где толщина баластного слоя недостаточна и, следовательно, выравненное в нем давление отсутствует,—происходит вдавливание баластного слоя в грунт и, наоборот, выпирание грунта между шпалами, как это видно на фиг. 20.

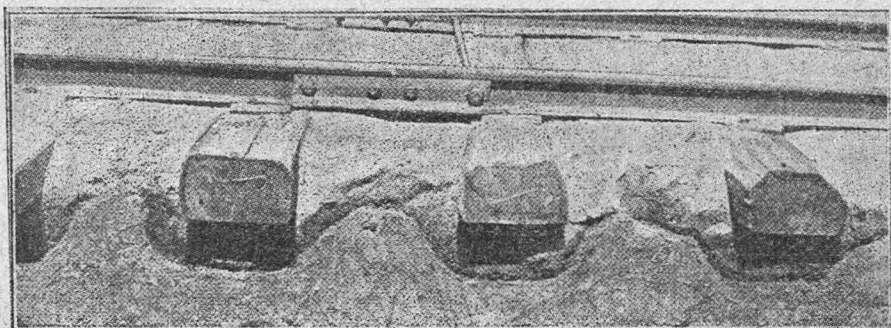
Такое состояние баластного слоя угрожает нормальному движению поездов и требует относительно больших расходов на ремонт.

Вдавленные места, называемые баластными корытами, способствуют дальнейшему разжижению грунта, просадкам баласта и даже оползням грунта.

Таким образом высота баластного слоя определяется из соображений необходимости получения равномерной передачи давления нагруженной шпалы на земляное полотно.

В поперечном разрезе баластный слой имеет форму так называемой трапеции (фиг. 15), т. е. фигуры с верхним (меньшим) и нижним (большим) основаниями и двумя наклонными сторонами—откосами баластного слоя. Таковым является профиль (поперечный разрез) баластного слоя.

Ширина баластного слоя поверху (на уровне верха рельсовых опор) разнится в зависимости от рода баласта (щебень или иная порода) и от места его применения—на перегонах или на станциях, на магистралях



Фиг. 20. Баластные корыта.

нормального типа или же на магистралях облегченного типа (тип дорог местного значения) и, наконец, на однопутных или же на двухпутных дорогах. В основном же ширина баластного слоя поверху определяется в связи с длиной шпал и необходимости иметь еще некоторую добавочную ширину, которая служит для прикрытия шпал с торцов.

Таким образом мы имеем ширину баластного слоя поверху на

дорогах местного значения	2,80 м
однопутных магистралях нормального типа при щебеночном баласте	3,00 „
там же при другого рода баласте	3,10 „
на двухпутных дорогах: при щебеночном баласте	7,10 „
там же при другого рода баласте	7,20 „

Что касается откосов баластного слоя, то они имеют крутизну: при щебеночном баласте—одиначную, а при другого рода баласте—полуторную.

15. Материал баласта

В качестве баласта применяется щебень, гравий, речная галька, ракушки, шлаки доменный и паровозный, песок и др. Самым подходящим материалом для баласта является щебень из твердых пород, а именно: гранита, известняка и песчаника. Когда не представляется возможным заготовить естественный щебень, тогда прибегают к искусственному щебню, заготавливаемому из глины, обожженной до спекания (клинкер).

Горизонтальные силы, действующие на путь при движении поезда, стараются сдвинуть рельсы и рельсы со шпалами в направлении движе-

ния или же поперек пути. Этому оказывает большое сопротивление баластный слой. Сопротивление перемещению тем больше, чем больше сила трения, проявляемая баластом. Большую же силу трения проявляет баласт, материал которого имеет форму угловатую, а также материал с шероховатой поверхностью. Таким материалом в первую очередь является щебень.

Щебенки применяются следующих размеров: 20—30 мм в верхней части баластного слоя, т. е. в той части, которую подбивают под рельсы, 30—60 мм в нижней части. Галька, пропускаемая через сито отверстием в 8 мм, и крупный зернистый песок, размерами в 1—3 мм, являются второсортным материалом для баласта.

Песок, применяемый для баласта, должен содержать не больше 10—15% примеси земли и глины. К сожалению, мы не можем похвастаться тем, что на наших железных дорогах уложен баласт хорошего качества. Мало того, что щебенка уложена лишь на одной Екатерининской железной дороге—на большинстве наших железных дорог в баластный слой уложен песок низкого качества, т. е. мелкозернистый песок или же песок с большой примесью глины и растительной земли.

Мелкий же песок в целом не пригоден для баласта, так как он выдвливается, вымывается и выдувается ветром. Так, например, многим известно, что на многих наших даже основных железнодорожных линиях движение поездов сопровождается тучами пыли. Эта пыль не что иное, как выдуваемый ветром песок баласта. Пыль садится на ходовые трущиеся части паровоза и вагонов и преждевременно их изнашивает, чем причиняет большой убыток железнодорожному хозяйству. С целью предохранения баласта от раздувания его ветром на некоторых железных дорогах его покрывают слоем щебня в 10 см толщиной.

Уложенный на наших железных дорогах баласт низкого качества в значительной мере осложняет вопросы реконструкции транспорта и сильно увеличивает расходы на содержание пути. Вопросов реконструкции коснемся ниже, а здесь отметим лишь, насколько содержание пути обходится значительно дороже при плохом баласте, чем при хорошем. Если содержание 1 км пути при хорошем баласте обходится в 100 рабочих дней, то баласт среднего качества требует 150 рабочих дней, а плохой баласт—200 рабочих дней. К таким непроизводительным расходам, вызываемым плохим баластом, следует отнести, как уж отмечено выше, расходы по восстановлению преждевременно изнашиваемых ходовых частей подвижного состава (паровоза и вагонов).

С другой стороны, при хорошем материале-щебенке размеры баластного слоя требуются меньшие. Как следствие этого, на 1 км однопутной дороги требуется: при высоте баластного слоя в 55 см щебеночного баласта около 1 800 м³, иного баласта 2 350 м³, а для двухпутной дороги—щебеночного баласта 3 880 м³, иного баласта 4 610 м³.

Как известно, даже песчаный баласт приходится перевозить на значительные расстояния. Если нагрузить вагон до его полной подъемной силы, то в среднем можно грузить песчаного баласта от 9 до 10 м³, в зависимости от степени влажности и сорта баласта. Таким образом для баластировки 1 км пути нужно 235 вагонов песчаного баласта.

При большой протяженности наших железных дорог и громадных хозяйственных перевозках самого транспорта, вопрос о количестве кубических метров баласта, укладываемых на 1 км пути, является чрезвычайно существенным.

16. Об износе баласта

Как и всякое тело, баласт подвержен износу. Износ баласта совершается вследствие того, что он работает как составная часть верхнего строения. В баластном слое появляются удары и скольжения шпал, а также внутренние трения и передвижения в самом баласте. Такая работа, разумеется, изнашивает баласт. Но больше всего баласт изнашивается во время ремонта от подбивки. И, наконец, баласт изнашивается от воздействия погоды. На основании опытов оценивают износ щебеночного баласта лишь в одну седьмую часть износа гравелистого баласта. Песчаный же баласт изнашивается и загрязняется во много раз быстрее гравелистого и тем более щебеночного. Это вызывает ухудшение работы всего баластного слоя и в сильной мере удорожает его содержание.

ГЛАВА IV

РЕЛЬСОВЫЕ ОПОРЫ

17. Назначение рельсовых опор

Если положить рельс непосредственно на баластный слой, то он под тяжестью поездов, тем более при песчаном баласте, вдавится в баластный слой. Этот рельс будет утрамбовывать баластный слой и приведет его к такому состоянию, при котором он перестанет отвечать своему назначению. Такие совершенно очевидные истины, доказанные практикой, приводят нас к необходимости иметь опоры для рельсов. Эти правильно поперек пути расположенные опоры являются как бы натянутой на баласт сеткой, по которой равномерно передается давление.

В настоящее время общепринятыми опорами для рельсов являются поперечины, иначе называемые *шпалами*. Железнодорожная практика знает и другие формы рельсовых опор, а именно: 1) опоры в виде отдельных ступьев и 2) продольные лежни.

18. Отдельные опоры

В первое время постройки железных дорог широко применялось верхнее строение на отдельных опорах. Пути Джесопа, широко примененные Утрамом, строились исключительно на отдельных опорах (фиг. 5). Последние делались из дерева, металла или камня. Деревянными опорами в Европе являлись колоды прямоугольные и квадратные. В Америке такими отдельными опорами служили сваи. Отдельные деревянные опоры совершенно вышли из употребления. В странах с тропическим климатом деревянные опоры подвержены быстрому разрушению, так как погода и насекомые самым вредным образом влияют на шпалу. Таким образом в некоторых тропических странах, например в Индии, издавна применялись, и до сих пор существуют отдельные металлические опоры—колоколообразные и плоские.

Верхнее строение на отдельных опорах из камня устраивается и сейчас в специальных местах, как например опоры на кочегарных ямах.

Таким образом видим, что верхнее строение на отдельных опорах, колодах, в нормальных условиях и в странах с нормальным климатом распространения не получило. Что же является тому причиной? Дело в том, что на верхнее строение всякой железной дороги от подвижного состава действуют поперечные силы, которые расширяют и расстраивают путь. Совершенно очевидно, что путь на отдельных опорах быстрее поддается такому вредному воздействию сил, поскольку такой путь имеет недостаточную поперечную связь между опорами и, следовательно, между двумя рельсами, на них расположенными.

19. Продольные лежни

Верхнее строение на деревянных продольных лежнях имело широкое распространение на первых железных дорогах. В дальнейшем продольные лежни вышли из употребления за исключением верхнего строения на металлических мостах. Причиной тому—та же недостаточная поперечная связь рельсовой колеи. Так как продольные лежни не обеспечивали колею достаточной поперечной устойчивости, то все же приходилось устраивать дополнительные поперечные связи, что, ко всему прочему, удорожало эту конструкцию.

Материалом для поперечин служат: железо, железобетон, асбестон, железодерево и дерево.

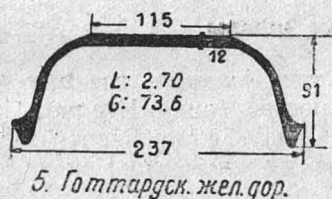
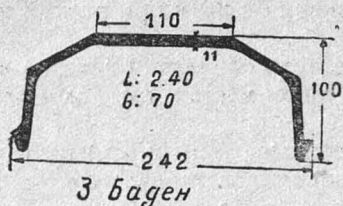
20. Металлические шпалы

Был период (1852—1863 г.), когда рельсовые опоры делались за границей почти исключительно из железа. Но все расширявшаяся практика и накапливавшийся опыт опровергли воззрение, что только металл является самым подходящим материалом для шпалы. Наоборот, совершенно точно установлено, что рельсовая колея на металлических поперечинах страдает жесткостью. Это значит, что путь теряет ту упругость, которая столь необходима для сохранения спокойного и плавного движения. Даже больше того, получается такая картина, что при металлической шпале путь теряет значительную часть упругости, которую выгадывает от применения балластного слоя. Стоимость же металлической шпалы играет для многих стран немаловажную роль в смысле ограничения ее распространения. Зато срок службы металлической поперечины колеблется в широких пределах от 20 до 35 лет.

Металлические шпалы изготавливаются из литого железа. Сталь, как материал, более поддающийся ржавчине, употребляется лишь изредка.

Фиг. 21 дает представление о формах, применявшихся и применяемых железных шпал на железных дорогах Австрии и Германии. Здесь выступает стремление к экономии металла. Поэтому металлические шпалы имеют формы сечений: корытообразное, двуглавное и полове—коробчатое. Как видно, днища корыт являются основанием для рельса и в то же время образуют опорную поверхность на балласте. Но шпала Вотерена (фиг. 21) имела еще опорную поверхность в виде нижних полок. Опыт показал, что шпала работает лучше и экономнее в том случае, когда она имеет лишь одну плоскость опоры, т. е. когда шпала опирается на балласт только крышкой.

Само-собой разумеется, что для придания опорам большей устойчивости необходимо придать им больший вес. В железной же шпале это достигается тем, что вес опоры получается как сумма весов самой шпалы и часть баласта, охватываемого ею. В особенности это достигается поперечиной Шейбе (фиг. 21). Ей придана такая конструкция, что она охватывает баласт как бы клещами, хотя и заполняется им с боков. Вес этой



Фиг. 21. Железные шпалы (1:6) Австрии и Германии.

поперечины достигает 227 кг (вес железа равен 97 кг, вес баласта 130 кг). Эта шпала дает значительно меньшее оседание, чем шпала корытообразная, так как она обладает большей упругостью. Тем не менее, несмотря на все достоинства этой шпалы сам изобретатель Шейбе признает, что она никогда не вытеснит деревянной поперечины.

У нас была в свое время попытка применения железных шпал. Этот опыт был произведен в 1881 г. на Донецких дорогах. Однако он не дал положительных результатов.

21. Недостатки железной шпалы

С точки зрения технической металлическая шпала во многом уступает деревянной. В этом следует искать причину того, что в Европе и Америке металлическая поперечина получила применение лишь на одном проценте от всего протяжения железнодорожной сети этих стран.

Недостатки железной шпалы характеризуются следующими основными соображениями:

1) для подбивки железных шпал требуется щебеночный баласт исключительно твердых пород;

2) баласта требуется большое количество вследствие того, что шпалы эти полые;

3) подбивка баласта производится гораздо труднее, чем у деревянных шпал, вследствие того, что железные шпалы имеют корытообразную форму; измельчание и износ материала баласта у острых кромок происходит в силу этого быстрее;

4) при пучинах металлические шпалы подвержены повреждению;

5) железная шпала менее устойчива, так как поверхность ее трения о баласт меньше, чем поверхность трения у деревянной шпалы;

6) возможны опасные уширения и сужения в пути при резких колебаниях; температуры:

7) при железных шпалах содержание пути обходится гораздо дороже вследствие того, что они ржавеют в сырых местах пути и вследствие большой порчи стыковых шпал и

8) при происшестввах (крушениях, размыве пути и пр.) путь на железных шпалах требует большего времени на восстановление.

22. Железобетонные шпалы

Родиной железобетонных шпал является Австрия, где они появились в 1896 г. Потом они получили распространение в Италии. Что касается других стран, то железобетонные шпалы применяются лишь на опытных участках пути, так как вопрос об их применении окончательно не решен.

Тем не менее некоторые основные выводы можно сделать. Для тех стран, которые бедны металлом и лесом, железобетонная шпала должна иметь большое значение. Железобетонная шпала требует железа примерно одну четверть веса шпалы металлической. Что же касается бетона, изготовляемого из щебня, песка, цемента и воды, то он может быть произведен почти в любом месте.

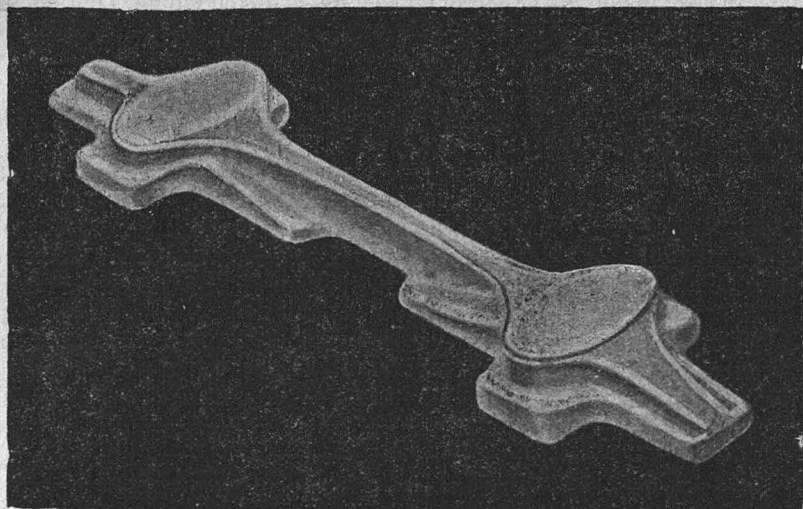
Железобетонная шпала имеет два основных достоинства. Первое достоинство: соответственно предъявляемым к шпале требованиям она может быть изготовлена любой формы. Это имеет большое значение в том отношении, что железобетонной шпале может быть придана большая площадь опоры. Это в свою очередь значит, что давление от подвижного состава на баластный слой может быть распространено на большую площадь меньшим числом шпал.

Второе достоинство относится к весу шпалы, который достигает 150 кг и благодаря которому путь, уложенный на железобетонных шпалах, обладает большой устойчивостью.

Однако железобетонная шпала имеет свои существенные недостатки, которые являются причиной того, что она пока не получила широкого распространения.

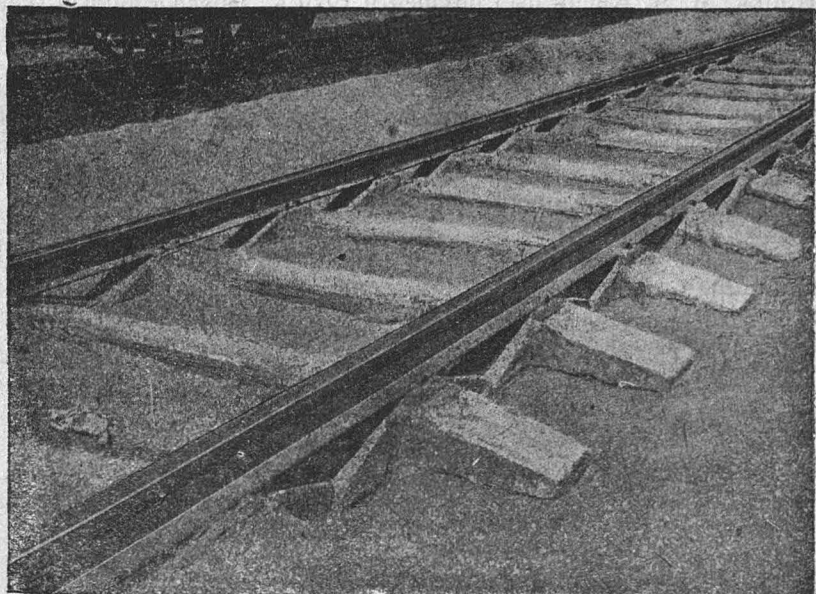
В инженерных сооружениях железобетон хорошо работает на сжатие и растяжение, иначе говоря—хорошо сопротивляется изгибающим усилиям. Но железобетонной шпале, уложенной в железнодорожный путь, приходится противостоять сильным ударам и сотрясениям подвижного

состава. Неупругая и хрупкая масса бетона не в состоянии следовать за частыми и быстрыми напряжениями, вызываемыми сильными сотрясе-



Фиг. 22-а. Железобетонная шпала, Кюнера.

ниями. Как следствие этого, в железобетонных шпалах, вскоре после их укладки в путь, появляются трещины, начинаясь на верхней поверхно-



Фиг. 22-б. Путь на поперечинах Кюнера, уложенных в 1922 г. на Южных дорогах-сти и постепенно распространяясь внутрь. Здесь, повидимому, сказываются и отрицательные атмосферные влияния.

При подбивках значительно сказывается механический износ. Вес железобетонных шпал иногда оказывается чрезмерно велик.

Все эти недостатки железобетонной шпалы отнюдь не следует относить к их «безысходному» пороку. Это свидетельствует скорее о том, что техническая мысль еще не сказала своего последнего слова. Вопрос о применении железобетонной шпалы имеет и народнохозяйственное значение.

Пропагандист этого дела в СССР—инж. К. Э. Кюннер находит, что каждый миллион изготовленных железобетонных шпал освобождает для экспорта 160 000 м³ леса. Однако этот же миллион шпал поглощает 15 000 т сортового железа.

Идя по пути технического совершенствования железобетонной шпалы, мы должны одновременно серьезно принять во внимание экономическую сторону дела. Если для всей сети наших железных дорог железобетонная шпала не стоит в порядке дня (ввиду лесистости нашей страны и высоких технических качеств деревянной шпалы), то в степных и песчаных районах СССР она может дать значительный экономический эффект.

Что касается железоасбестовых шпал, то опыты, производившиеся на некоторых германских и шведских дорогах, не дали положительных результатов. Вопрос об их применении остался открытым.

23. О деревобетоне

Вопрос о применении деревобетонных шпал, так называемых «тектонных», в Германии поднимался Заллером, а у нас проф. К. А. Оппенгеймом. Но следует отметить, что с тех пор деревобетон сделал некоторые успехи. Так, например, на постройке моста через Днепр у Могилева молодым инж. М. А. Киеня был опущен в 1929 г. деревобетонный кессон. Им же опущено в 1930 г. 9 деревобетонных кессонов на постройке железнодорожного моста через Волгу у Саратова.

По мнению инж. Киеня: 1) деревобетон выгоднее главным образом в подводных сооружениях, где дерево не гниет; 2) дерево должно быть сухим; 3) бетон нужен литой; 4) деревобетон дешевле железобетона на 25—35% и 5) производство работ по деревобетону чрезвычайно просто.

Чтобы судить о выгоды деревобетонных шпал у нас, надо уложить их в путь и испытать.

Что касается железодеревянных шпал, то они и за границей не получили прав гражданства. Применение же железодеревянных шпал у нас увеличило бы ежегодную потребность железных дорог в металле, что для нас, с точки зрения народного хозяйства, является по крайней мере на ближайший период времени, недопустимым.

ГЛАВА V

ДЕРЕВЯННАЯ ШПАЛА

24. Достоинства деревянной шпалы

Выше было отмечено, что деревянная шпала имеет значительное превосходство перед металлической в техническом отношении. Сущность этого превосходства заключается в том, что деревянная шпала обладает упругостью. Это значит, что она способна ослаблять действие ударов подвижного состава о рельс. Таким образом, благодаря своей упругости,

деревянная шпала отводит от рельса на себя некоторую часть удара от подвижного состава, превращает этот удар в обыкновенное напряжение давления и распространяет это давление на баластный слой.

Для получения картины упругого сжатия деревянных шпал под движущимся поездом были произведены опыты. Так, например, Брэунинг* говорит, что «сосновые шпалы поперечного сечения 26×16 см, с подкладками величиной 16×18 см, с расстоянием между шпалами в 77 см, сжимались давлением колес в 6,8 т под серединой рельса на величину от 0,6 до 1,8 мм».

По тем же наблюдениям «дубовые шпалы обладают едва третьей частью упругости сосновых, почему передают давление на основание не так благоприятно, как последние».

При деревянной шпале баласт сохраняется дольше и от подбивки измельчается меньше, чем это имеет место при металлических шпалах.

Самая подбивка баласта при деревянной шпале совершается удобнее, чем при металлической.

Однако этим на исчерпываются технические преимущества деревянной шпалы. Сюда следует отнести еще то обстоятельство, что деревянная шпала легко обрабатывается. В связи с этим достоинством шпалу легко приладить для различных способов укладки рельсов (без подкладок, с подкладками плоскими, с подкладками наклонными). К техническим достоинствам деревянной шпалы следует также отнести глубокое положение опорной поверхности. Под этим подразумевается то, что деревянная шпала закрыта баластом с трех сторон. При значительном весе самой шпалы (около 82 кг) такое ее положение обеспечивает относительно устойчивое положение рельсового пути.

Вот в этом и заключаются преимущества деревянной шпалы.

25. Формы и размеры деревянной шпалы

В шпале интересуют нас три поверхности: нижняя, боковая и верхняя. Нижняя поверхность шпалы является, как известно, рабочей постелью, так как шпала передает и распределяет давление на баластный слой именно через эту поверхность. Вследствие этого нижняя постель шпалы подвергается обработке. Боковые поверхности часто оставляют в их естественном состоянии. Верхнюю поверхность подвергают лишь некоторой обработке. В последнем случае исходят из величины необходимой постели для укладки рельсов и их прикрепления.

Основное требование при отделке поверхностей шпалы—наивыгоднейшим и наилучшим образом использовать ствол дерева и удешевить эту обделку.

Принятые у нас нормальные типы шпал для дорог различных категорий с указанием размеров их поперечных сечений приведены на фиг. 23.

Приводимая же ниже таблица показывает применение различных типов шпал в зависимости от категории дороги путей.

Необходимая ширина нижней постели шпал зависит от того, как часто приходится класть их друг от друга. При уменьшении расстояния между осями шпал ширина нижней постели может быть уменьшена, наоборот—

* Брэунинг. Основные устройства железнодорожного пути, Транспечать НКПС. М. 1924.

26. Нормальные типы шпал

Типы шпал	Диаметр леса (в см)	Толщина шпал (в см)	Ширина постели		Наименование дорог и путей применения шпал	
			верхней	нижней		
Брусковые	I	27	15,5	15	25,5	Главные пути магистральных дорог нормального типа.
	III	25	14,5	13	23,5	Для дубовых шпал—главные пути магистральных железных дорог нормального типа. Для прочих главных путей магистральных железных дорог облегченного типа и подъездных путей.
	V	23	13,5	11	22	Станционные пути.
Пластинные	II	31	13,5	15	31	Главные пути магистральных железных дорог нормального типа.
	IV	29	13	12,5	29	Для дубовых шпал—главные пути магистральных железных дорог нормального типа. Для прочих главных путей магистральных железных дорог облегченного типа.
	VI	27	12,5	10	27	Станционные пути.

при увеличении этого расстояния должна быть увеличена. Ширина нижней постели шпалы зависит также от рода баласта: на грубом баласте она может быть меньше.

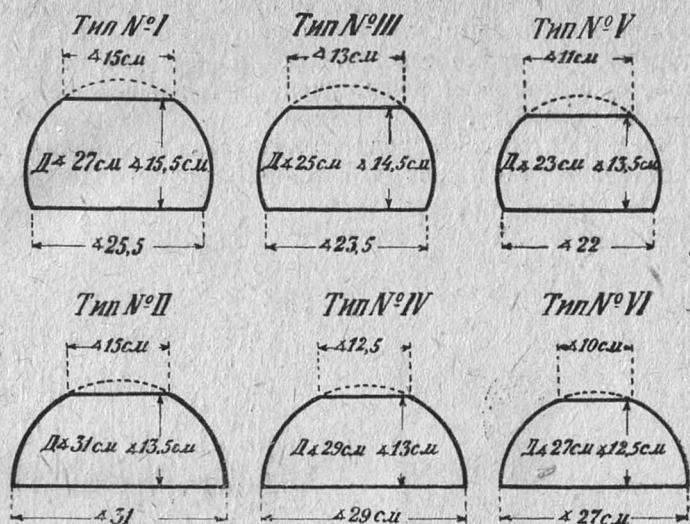
Как видно, для наших типов шпал принята горизонтальная форма нижней постели, так как эта форма является выгодной с точки зрения боковых выпучиваний баласта. Щебеночный баласт не склонен к боковым выпучиваниям. Для него было у нас проф. К. А. Оппенгеймом* предложено придавать опорной постели шпалы вид клина с наклоном граней около 1 : 3. Одновременно такая мысль была высказана Брэунингом в Германии (фиг. 24).

Шпалы такой формы необходимо испытать в пути. Следует отметить, что в Англии шпалы укладываются той поверхностью, которая у нас является верхней,—вниз.

* К. А. Оппенгейм. Улучшение существующего верхнего строения русских железных дорог. Москва. 1923.

Что касается длины шпал, то она у нас принята в 2,7 м так же, как это принято для большинства германских и австрийских железных дорог.

В Америке длина шпал колеблется в широких пределах, именно 2,44, 2,58 и 2,74 м. Некоторые дороги применяют шпалы длиной 2,87 м и даже 3 м. Вопрос о длине шпал связан с величиной упругих осадок



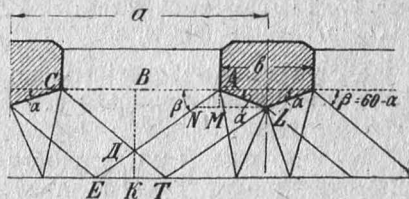
Фиг. 23. Типы шпал ж. д. СССР.

их концов. Дело в том, что иногда конец шпалы понижается несколько больше, чем под рельсом. В таком случае баластный слой под шпалой легче расстраивается и шпалу в концах приходится чаще подбивать, что является во всех отношениях нежелательным. Избегнуть же этого можем при соответствующем удлинении шпалы. Произведенные авторами подсчеты* показали, что существующая длина нашей шпалы достаточна.

27. Породы дерева для шпал

Деревянные поперечины делаются из сосны, дуба, бука, кедра, лиственницы, пихты, горной ели, тика, благородного каштана и других пород. Наибольшим распространением пользуется сосна.

Где кроется причина широкого распространения сосны? Сосна в большей мере обладает той упругостью, о которой было сказано выше. Она прямого роста, дает незначительное образование трещин и дешевле твердых пород. Если заболонь сосны сама по себе мало устойчива против гниения, то целиком принимает пропитывающее вещество. Наоборот, богатая смолой сердцевина плохо принимает пропитывающее вещество, но



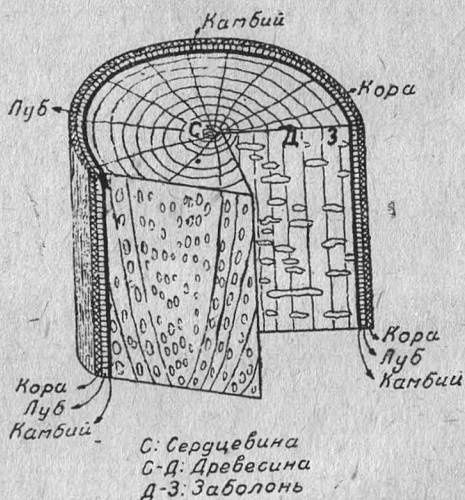
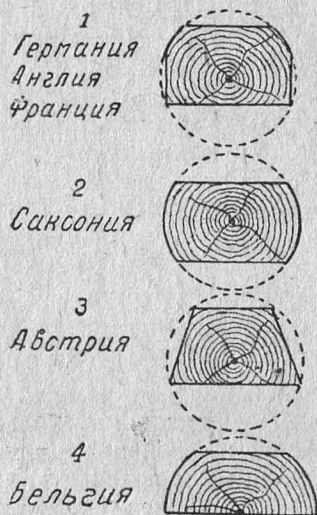
Фиг. 24. Шпала с нижней постелью в виде клина.

* См. нашу работу „Новый товарный паровоз для дорог СССР“. Гострансиздат. М. 1931.

зато по природе своей очень долговечна. Вот эти моменты послужили причиной тому, что сосновая шпала получила у нас почти исключительное распространение.

Дубовые шпалы очень хорошо сопротивляются внешним воздействиям, так как они очень тверды. Даже в сыром виде они долгое время противостоят гниению. Пропитывающее вещество принимает только тонкий слой заболони. Однако дубовые шпалы часто дают трещины, по которым сырость проникает во внутренние места. Этим, разумеется, ускоряется процесс гниения, и, с другой стороны, уменьшается надежность гнезд для прикрепляющих устройств.

С точки зрения интересов народного хозяйства изготовлять шпалы из дуба нецелесообразно, так как из него вырабатываются более ценные пред-



Фиг. 25. Типы деревянных шпал (1:15) заграничных ж. д.

Фиг. 26. Строение дерева.

меты, с успехом идущие на экспорт. Еще в 1920 г. XXXII СовеЩательный съезд инженеров службы пути высказался за запрещение изготовления дубовых шпал.

Буковые шпалы по твердости равны дубовым. От сырости они быстро загнивают (спустя 2—3 года) и затем легко трескаются при высыхании. Однако при надлежащем приготовлении буковые шпалы могут с успехом заменить дубовые, тем более, что цена их ниже, а при пропитке срок службы даже выше (до 30 лет). Последнее объясняется тем, что бук не имеет сердцевины и жадно впитывает пропитывающее вещества. Широко распространены буковые шпалы во Франции и Германии.

Древесина ели мягка и недолговечна. Шпалы из ели становятся довольно быстро дряблыми, в них нередко появляются продольные трещины. Поэтому шпалы из ели не имеют широкого применения. Исключением является горная ель, произрастающая в СССР, в Карельской АССР.

В связи с тем, что техника пропитки сделала за последнее время значительные успехи, взгляд на применение еловых шпал меняется. Нет оснований к отказу от применения еловых шпал. Наоборот пора начать применять их в большом количестве.

28. О причинах, вызывающих порчу шпал, и меры борьбы с ними

Насколько шпальное хозяйство является важным в системе железно-дорожного организма, можно судить по тем обстоятельствам, что на дорогах уложено к настоящему времени около 180 млн. шпал, а ежегодной смене подлежат по крайней мере 20 млн. шпал. Больше того, можно смело сказать, что шпальное хозяйство является важной отраслью в системе народного хозяйства в целом.

Основное требование, предъявляемое к шпале, заключается в том, что она должна как можно дольше лежать в пути. Однако многие причины вызывают преждевременную порчу шпалы, отчего она выбывает из строя, а именно:

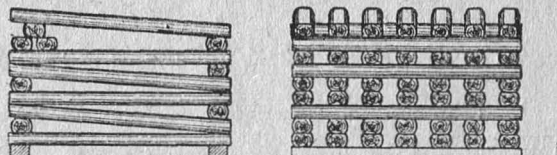
- 1) гниение шпал,
- 2) механический износ шпал,
- 3) влияние атмосферных агентов (осадки и колебания температуры),
- 4) условия грунта, баласта и верхнего строения,
- 5) напряженность железнодорожного движения и др.

В отношении значительной части причин можно и должно проводить предупредительные меры. Во всяком случае в наши задачи входит регулирование и ослабление степени влияния каждой из этих причин.

В целях увеличения продолжительности службы шпал на железных дорогах принимаются меры: 1) к поставке здорового шпального леса; 2) к предохранению от преждевременной порчи и гниения и 3) к предохранению от механического износа.

Первое условие, т. е. меры к постановке здорового шпального леса, выполняется тремя способами, а именно: 1) временем рубки леса, из которого заготавливаются шпалы, 2) способом доставки и хранения шпал до укладки их в путь и 3) тщательностью приемки. Что касается времени рубки леса, то господствует точка зрения, что нормальным временем рубки является зима. Объясняется это тем, что зимой меньше движение соков в дереве, и таким образом меньше благоприятных условий для развития микроорганизмов. В отношении способа доставки и хранения шпал до укладки их в путь следует отметить, что наиболее подходящей для увеличения срока службы шпал следует считать доставку гужевую, железнодорожную и автотранспортом. Водосплавную доставку следует считать наиболее вредной. При хранении шпалы до укладки их в путь преследуется цель просушки. Последняя может быть естественной (воздушная сушка) и искусственной. Простейшим способом воздушной просушки является продолжительное хранение шпал в штабелях на складах. Способы расположения шпал в штабелях показаны на фиг. 27. Здесь различные типы укладки рекомендуются для разных назначений. Так, например, 1 и 2—для хранения до пропитки всех сортов шпал. Остальные типы рекомендуются для укладки шпал на разные сроки и в зависимости от способа пропитки.

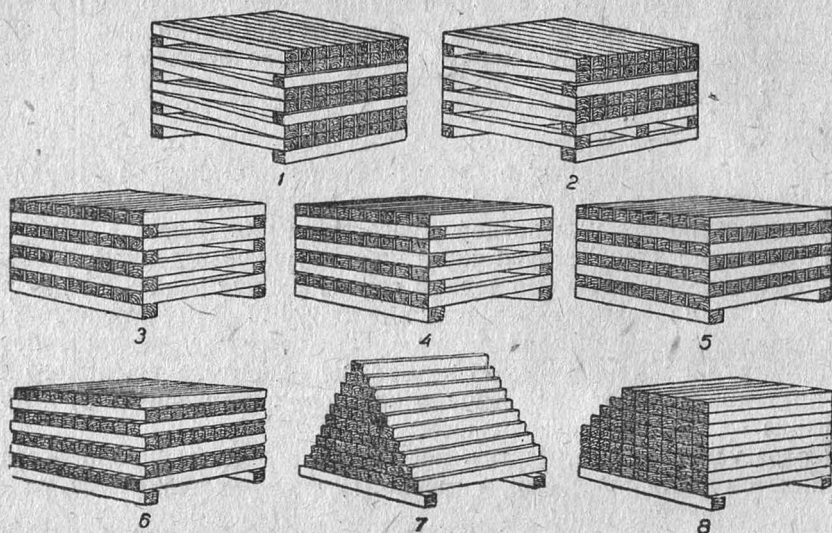
Склады шпал необходимо устраивать в отдалении от болот, от строительного мусора и от мест, где могут развиваться микроорганизмы. Про-



Фиг. 27-а. Укладка штабелей непропитанных шпал.

должительность естественной сушки на открытом воздухе желательно установить в один год.

Искусственная сушка проводится в специальных камерах, куда поступает нагретый воздух. Температура воздуха в таких камерах доходит постепенно от 30 до 80° по Цельсию. Устраивается и специальная сушка при помощи электричества. Процесс искусственной сушки продолжается до 140 часов. Следовательно, он совершается значительно быстрее процесса естественной сушки, но зато он во много раз дороже.



Фиг. 27-6. Типы штабелей для укладки шпал.

Что касается тщательности приемки, то здесь надо в точности соблюдать соответствующую часть «Правил применения деревянных шпал на железных дорогах нормальной колеи общего пользования».

29. Предохранение шпал от гниения

Изготовление шпал из здорового леса и надлежащая просушка шпал, до момента укладки их в путь, еще далеко не обеспечивают продолжительного срока службы шпал в пути. Ведение же правильного шпального хозяйства, как было отмечено выше, требует принятия мер к удлинению срока службы шпал в пути, в первую очередь—мер против гниения.

Мерой, предохраняющей шпалу от гниения, является пропитка ее так называемыми антисептиками, т. е. обеззараживающими веществами, с сильным ядом против вредителей дерева и безопасным для людей и других высших животных организмов. Насколько существенна пропитка шпал с точки зрения экономической, видно хотя бы из того, что служба непропитанной шпалы обходится в год в среднем при нынешних ценах на древесину, пропитку и укладку на 22 коп. дороже, чем пропитанной. У нас же на путях лежит еще свыше 60 млн. штук непропитанных шпал, которые, следовательно, ежегодно приносят железнодорожному хозяй-

ству убыток свыше 13 млн. рублей. Отсюда вытекает, что необходимо как можно скорее перейти исключительно на укладку пропитанных шпал.

Существует много способов обеззараживания дерева. К ним следует отнести: 1) окраску или обмазку антисептиками, 2) пробуривание мелких отверстий и наполнение их антисептиками, 3) погружение дерева в антисептические растворы, 4) выгонка соков из дерева и замена их антисептиками, 5) электропропитка, 6) вулканизация* и 7) пропитка дерева в герметически закрытых цилиндрах антисептиками с последовательным применением давления и вакуума.**

В зависимости от местных условий и назначения пропитываемого дерева применяется тот или иной способ. Но для шпал целесообразным является тот способ, при котором из дерева выгоняются соки, которые содержат разлагающиеся белки. Взамен соков в дерево вводится антисептик. Этот способ и следует понимать под пропиткой в буквальном смысле слова. Так как в отношении шпал нас интересует именно последнее, то на всех способах мы не станем останавливаться, а осветим кратко пропитку.

Антисептиками служат: сулема, медный купорос, хлористый цинк, поваренная соль, хромистый натрий (вещества минеральные), каменноугольный креозот, древесный креозот, соли нефтяных кислот, смолы различного происхождения (вещества органические) и, наконец, смеси металлических солей и маслянистых веществ (так называемые эмульсии).

Способ кианизирования—не что иное, как пропитывание сулемой, изобретенное в Англии в 1832 г. Кианом. Этот способ заключается в том, что сухие шпалы помещаются в деревянные чаны с раствором сулемы крепостью 1 : 150. Шпалы оставляют там в течение 10 дней. Способ этот дорогой и в процессе проведения не безопасен для рабочих; сулема—вещество крайне ядовитое. У нас этот способ вовсе не применяется, и за границей распространения не получил.

Пропитка медным купоросом изобретена Бушери во Франции в 1841 г. Способ этот заключается в том, что из свежесрубленного дерева выгоняются соки, взамен которых поступает раствор медного купороса.

В общих чертах, как это видно из фиг. 28, он заключается в следующем: свежесрубленные, неочищенные от коры деревья укладываются с некоторым наклоном; верхний торец дерева соединяется системой трубок АБ с значительно выше расположенным сосудом, из которого под давлением около 1 ат поступает раствор медного купороса крепостью 1 : 100. В лотке В собираются древесные соки. К недостаткам этого способа относится следующее: медный купорос вредно действует на металлические части, приходящие в соприкосновение со шпалами, и, кроме того, пропадают наружные части дерева, обрубаемые при обработке его и, следовательно, напрасно пропитывавшиеся. Этот способ, распространенный во Франции, Германии и Австрии, у нас применения не имеет.

Антисептик (обеззараживающее вещество) хлористый цинк применяется при пропитке шпал так называемым способом полного поглощения. Этот способ состоит из трех отдельных операций:

* Вулканизация заключается в том, что дерево помещают в плотно закрытый сосуд и подвергают действию высокой температуры до 200°C и давлению до 14 атм. Получается нечто похожее на сухую перегонку дерева. Этот способ признан нецелесообразным.

** Вакуум—разреженное пространство.

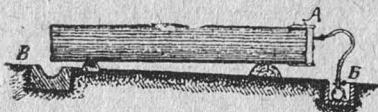
1) пропаривание шпал в герметически (плотно) закрытом цилиндре (необязательно, и в СССР уже не делается);

2) образование разреженного пространства и

3) нагнетание пропиточного раствора в шпалы.

Пропаривание шпал совершается в течение около двух часов в котле под давлением около 4 ат. Затем шпалы перемещаются вагонетками в железные цилиндры, которые герметически закрываются и в течение часа в них происходит разрежение воздуха, вследствие чего древесные соки, вода и воздух удаляются из дерева. После совершения этой процедуры в цилиндр вводится раствор хлористого цинка крепостью до 3%. Давление при этом доходит до 10 ат, а операция пропитки шпал продолжается около трех часов. В последнее время установлено, что пропаривание шпал вредно действует на механические качества древесины. Поэтому на ряде иностранных дорог пропаривание шпал совершенно отменено и заменено предварительной просушкой сперва естественной, а затем искусственной.

Недостатки пропитки хлористым цинком заключаются в следующем: 1) необходимо, чтобы шпала была в полной мере суха, что не всегда бывает, особенно, если шпала доставлена водой; 2) вода дождевая, ливневая и от тающего снега сравнительно быстро выщелачивает раствор хлористого цинка и 3) в местах соприкосновения поверхности шпал с металлическими частями (с рельсами, подкладками, костылями или шурупам) зачастую замечается повреждение дерева, что объясняется появлением химического процесса при установлении контакта между хлористым цинком и железом.



Фиг. 28. Пропитка по способу Бушери.

К преимуществам пропитки этим способом следует отнести его сравнительную дешевизну. При пропитке креозотом, веществом маслянистым, избегаются указанные недостатки, но зато этот способ пропитки несколько дороже пропитки хлористым цинком. Шпала на наших дорогах зачастую выбывает из строя не по причине того, что антисептик выщелочился, а по причине механических повреждений. При таких обстоятельствах пока нет смысла применять дорогие антисептики, а необходимо сосредоточить внимание на борьбе с механическими повреждениями. Отсюда становится ясным—почему у нас применяется пропитка главным образом хлористым цинком, в то время как за границей пропитка креозотом получила широкое применение. Этот способ отличается от пропитки хлористым цинком лишь тем, что шпалы вместо предварительного выпаривания высушиваются в течение восьми часов при температуре до 130°. Это объясняется тем, что маслянистое вещество способно проникать только в сухое дерево.

Помимо этого в последнее время проделаны успешные опыты по пропитке шпал смесями мазута и креозота.

Разные породы дерева различно воспринимают пропитку. Дуб принимает пропитывающее вещество тонким слоем заболони; на 0,1 м³ древесины он поглощает около 8 кг раствора. Бук на этот же объем принимает 16 кг, а сосна—13 кг. Сроки службы шпал также различные.

При пропитке шпал хлористым цинком срок службы сосновых шпал повышается с 4—5 лет в среднем до 10 лет и при пропитке креозотом в среднем до 12 лет.

Иностранная же практика говорит, что шпалы, пропитанные креозотом, служат в среднем: дуб от 18 до 25 лет, бук от 20 до 30 лет и сосна от 15 до 20 лет. Характерно, что на дорогах Зап. Европы продолжительность службы непропитанных шпал, тех самых, которые закупаются у нас, значительно выше срока службы этих же шпал на наших дорогах. Эти сроки выражаются следующими цифрами:

для дубовых шпал	14—15 лет
„ сосновых „	7—8 „
„ словых „	4—5 „
„ буковых „	3 „

На отдельных дорогах срок службы пропитанных шпал в Зап. Европе чрезвычайно длителен. По свидетельству инж. Брэунинга на участке Нейштегин—Козен, в Германии, в пути после 34 лет лежало еще 40% сосновых шпал, пропитанных хлористым цинком и креозотом.

Это объясняется тем, что на западно-европейских железных дорогах имеет место более внимательный уход за шпалами в процессе их эксплуатации. Большое значение при этом имеют: хорошее качество применяемого баласта, предварительное заготовление дыр в шпале для шурупов и раздельное прикрепление рельса к подкладке и подкладки к шпале.

Однако и на иностранных железных дорогах имеет место преждевременный механический износ шпал.

30. О механическом износе шпал

Под механическим износом мы понимаем повреждения, возникающие в шпале под воздействием внешних сил. Совершенно очевидно, что большим может оказаться в шпале то место, где приложены внешние силы. Такими местами, как мы знаем, являются плоскости соприкосновения рельсовых подкладок, иначе говоря—плоскости опор рельсов, и следовательно, места загонок шурупов и костылей. Силы, вызывающие угон рельсов и равно атмосферные влияния, способствуют образованию трещин в шпалах.

По материалам XXXIV Съезда инженеров службы пути, о шпалах, снятых в 1914—1915 гг. с главного пути Сызрано-Вяземской железной дороги видно, что из числа ежегодно сменяемых шпал, по истечении восьми лет службы, из-за гнилости сменяется не больше 32,2—36%, а остальные меняются по причине механического износа. По другим дорогам процент выбывающих из пути шпал по гнилости понижается, причем падает даже до 10% на Рязано-Уральской железной дороге. Следовательно, 90% удаленных здесь из пути пропитанных шпал падало на механический износ.

Одной из причин механического износа шпал, и следовательно, одним из больших зол транспорта, вызывающих значительные потери, является у нас способ забивки костыля и частая перешивка рельсовой колеи. При забивке костыля происходит, вообще говоря, «ранение» шпалы, вследствие чего она, еще мало поработав в пути, подвергается деформации. Неправильность в самой забивке заключается в том, что костыль заби-

вается не вертикально (отвесно), а наклонно, с последующим нагибанием верхней части костыля на рельс. В результате наклона костыля на рельс между спинкой костыля и шпалой образуется зазор, по которому внутрь шпалы проникает вода, вызывающая загнивание внутренней, не поддающейся пропитке части шпалы.

Уже одно это говорит о вредности такого способа забивки костыля. Но следует принять еще во внимание, что при наличии такой щели костыль лишено поры в верхней своей части и от первого же поезда происходит его обратное отжатие. Таким образом пропадает смысл перешивки пути.

Оттого, что шпала выбывает из строя преждевременно по причине механического износа, железнодорожное хозяйство, а вместе с ним и все народное хозяйство терпят ежегодно большие убытки. Об этом свидетельствуют хотя бы приведенные данные по Сызрано-Вяземской железной дороге.

Средний срок службы пропитанной шпалы может быть принят в 10—12 лет. Если вследствие механического повреждения шпала удаляется из пути по истечении восьми лет службы, то каждая шпала не дорабатывает два года. Естественно, что по этой причине ежегодно приходится расходовать большое количество шпал.

Если даже допустить, что данные о смене шпал по причине механического износа (64% от общего числа сменявшихся шпал) по Сызрано-Вяземской железной дороге (участок Московско-Казанской ж. д.) являются несколько преувеличенными по сравнению с такими средними данными, относящимися ко всей сети, то достаточно и того, что шпала выбывает из пути на два года раньше среднего срока службы.

Некоторые данные, из американской практики говорят нам о высоком проценте, падающем на механический износ шпал. Так, например, на железной дороге Делавар-Лекаванна-Вестерн под конец 1926 г. было сменено 132 200 шпал. Причины замены были следующие:

гниение и прочие органические дефекты	1 987 шт.
механическое разрушение	86 460 "
крушения, сходы с рельсов и пр.	43 753 "

Следовательно, из-за механического разрушения здесь выбыло из строя 65% от общего числа сменных шпал, что почти совпадает с данными по Сызрано-Вяземской железной дороге.

По сети наших железных дорог ежегодно подлежит смене около 20 млн. шпал. Будет безошибочно принять, что около 50% этого количества шпал меняется по механическому износу, причем они не доживают почти два года до нормального срока службы в пути. Таким образом, по причине механического износа при восьмилетнем сроке службы шпал меняется 10 млн. Если бы эти шпалы проработали 10 лет, т. е. нормальный срок службы пропитанных шпал, то смене подлежало бы 8 млн. шпал*. Следовательно, мы ежегодно теряем до 2 млн. шпал, что составляет, при цене пропитанной шпалы только в 3 руб., около 6 000 000 руб. ежегодных потерь.

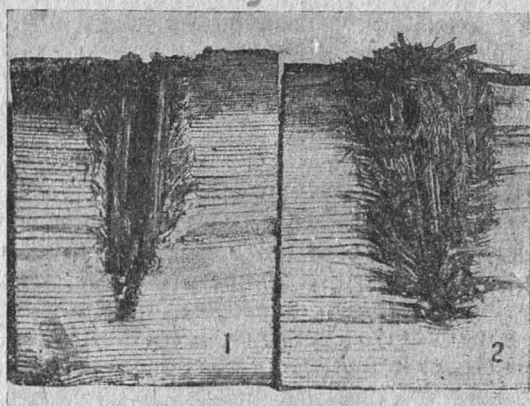
Из сказанного со всей очевидностью вытекает, что даже в одном этом направлении железнодорожный путь имеет громадные ресурсы. Наряду

* Это соотношение получаем из обратной пропорции:

$$\left. \begin{array}{l} 10 \text{ млн.} - 8 \text{ лет} \\ x \quad \quad - 10 \quad \quad \end{array} \right\} x : 10 = 8 : 10; x = 8 \text{ млн.}$$

с колоссальными работами по реконструкции пути необходимо попутно и безотлагательно проводить рационализацию его ремонта. Это даст миллионы рублей экономии, которые пойдут на новое строительство и тем самым ускорят процесс индустриализации страны.

Разумеется, что механический износ шпал не является, как уже указано было выше, следствием лишь одной неправильной забивки костыля и, следовательно, частой перешивки колеи. Но что последняя является одной из основных причин механического износа шпал—это не подлежит сомнению. Совершенно очевидно, что при перешивке пути шпала испытывает деформацию (изменение формы древесины). При большом числе перешивок деформации возрастают и в конечном итоге вызывают трещины в шпалах.



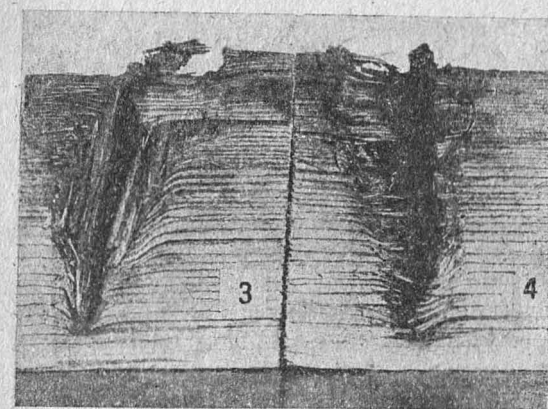
Фиг. 29. Шпалы, подвергшиеся механическому износу.

Против такого рода деформаций принимаются, в частности за границей, меры в виде предварительной заготовки отверстий для костылей (и шурупов). На основании опыта быв. Московско-Киево-Воронежской железной дороги, можно сказать, что и эта мера полностью не решает

вопроса борьбы с механическим износом шпалы, так как загоняемые в заготовленные отверстия деревянные пробки также деформируют шпалу.

Приводимые рисунки* разрезов шпал наглядным образом свидетельствуют о ее деформациях.

Рис. 1 на фиг. 29 представляет разрез прикостыльного куска шпалы, пролежавшей в пути на 625 км линии Москва—Конотоп всего один год. Путь расположен на кривой радиуса 1 067 м.



Фиг. 29-а. Шпалы, подвергшиеся механическому износу.

Состояние пути удовлетворительное. Здесь пробка забивалась всего дважды. Рис. 2 (фиг. 29) дает разрез, где число пробок достигает 5—6.

На рис. 3 и 4 (фиг. 29-а) дан разрез больных мест шпал после двух лет службы, уложенных на том же участке пути. Пробок имелось здесь

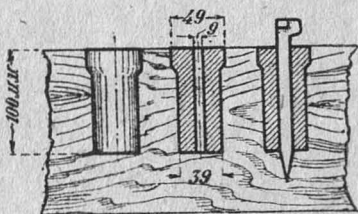
* Эти рисунки предоставлены нам инж. В. П. Крачковским—начальником опытного участка пути быв. Московско-Киево-Воронежской железной дороги.

всего две. Появившиеся здесь продольные трещины являются результатом перешивки пути, где, к тому же, костыль и пробки забивались косо.

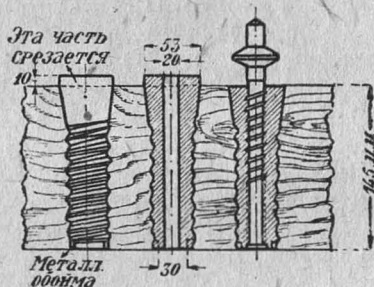
Такого рода «вещественных доказательств» механического износа шпал можно привести бесчисленное множество. С возрастанием числа пробок и количества лет, в течение которых шпала лежит в пути, усиливается и механическое разрушение древесины. На пути же больном (пучинистом) процесс разрушения протекает еще энергичнее.

Из сказанного с очевидностью вытекает, что против механического износа должны быть приняты меры. К таким основным мерам следует отнести следующие.

1. Применение втулок. Их имеется несколько систем, как-то: Колле, Шмидта, Вегнера и Фридеричия. Польза втулок заключается в том, что они должны сохранять древесину шпалы, так как именно они имеют непосредственное соприкосновение с шурупом и костылем. Загоняется втулка в заранее заготовленное отверстие. Втулки должны быть изготовлены из более твердых пород, чем шпала. Главное достоинство втулки системы датского инж. Фридеричия (фиг. 30)—в ее простоте. Она весьма подходит к костылю и крепко его держит.



Фиг. 30-а. Втулки Фридеричия.



Фиг. 30-б. Втулки Колле

Опыты применения втулок показывают, что: а) старая шпала, снабженная втулкой, выполняет службу, как новая и б) что шпала из мягкой породы, снабженная втулкой, служит, как шпала, сделанная из твердой породы дерева.

Применение втулок выгодно уже потому, что этим: а) увеличивается срок службы шпал (до 75%) и б) понижается стоимость содержания самого пути вследствие отсутствия необходимости перешивки такового, подески шпал и т. п.

2. Снабжение рабочими шаблонами, позволяющими производить зашивку пути с требуемой точностью. Дело в том, что по существующим ныне правилам колебание по ширине колеи для прямых и кривых участков пути установлено сужение 3 мм и уширение 10 мм. Это надо так понимать, что ширина нашей железнодорожной колеи, составляющая при нормальном состоянии 1524 мм, может быть, скажем при сужении, возникающем по той или иной причине, до размеров $1524 - 3 = 1521$ мм. Как только эта величина еще больше снизится, путь подлежит перешивке, т. е. рельсы должны быть раздвинуты.

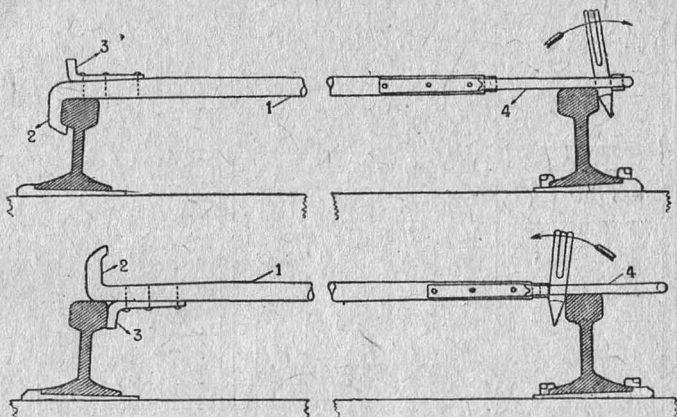
В таком случае для установления рельсов на требуемом друг от друга расстоянии приходит нам на помощь так называемый шаблон. Такими являются шаблоны инж. Бека-Абаковского, Кнопфа, Иконникова, Крачковского и др. Но установить рельс на требуемом расстоянии еще недо-

статочно. Его необходимо удерживать в этом положении до забивки костыля. В этом отношении заслуживает внимание шаблон инж. Крачковского (фиг. 31), представляющий собой полую металлическую трубку, имеющую на одном конце два крючка 2 и 3, а на другом петлю 4.

В зависимости от постановки крючков и петли рельсовую колею можно уширять и сужать. Это ясно по чертежу.

3. Костыль нужно забивать обязательно вертикально. Обоснованность этого требования вытекает со всей очевидностью из изложенного выше.

4. В интересах того, чтобы как можно реже перешивать путь. Правила, относящиеся к колебаниям в ширине колеи, уточнены для различных категорий дорог, и допущено некоторые облегчения для дорог второстепенного значения.



Фиг. 31. Шаблон системы Крачковского.

5. Необходимо широко практиковать мероприятия против растрескивания шпалы.

6. Употребление подкладок соответствующих размеров.

В целом, состояние (и род материала) баластного слоя в сильной мере сказывается на работе и сроке службы шпал. Необходимейшим условием для продления срока службы шпал является надлежащий сухой баластный слой. Баласты: песчаный—крупнозернистый и щебеночный—хорошо пропускающие воду, способствуют удлинению срока службы шпал и поэтому являются более выгодными, чем баласт песчаный—мелкозернистый и имеющий притом примесь земли. Но, помимо приведенного качества, щебеночный баласт обладает еще и другими преимуществами перед песчаным баластом, применяемым на нашей сети дорог. Об этих качествах кратко сказано ниже в главе, посвященной вопросам реконструкции.

31. О несимметричной укладке шпал вразбежку

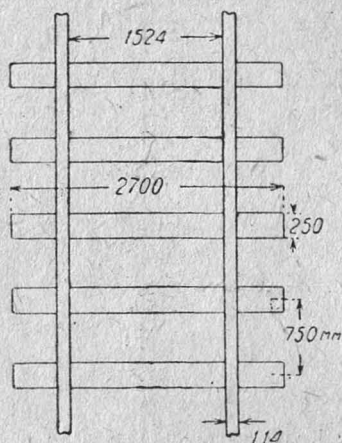
На всех железных дорогах земного шара шпалы укладываются симметрично к оси пути (фиг. 32).

При механическом износе шпалы (повреждение древесины шпалы силами внешнего воздействия) она выбывает из строя, потому что места прикрепления рельса и плоскость опоры рельса на нее оказываются поврежденными. Однако можно принять меры к тому, чтобы продлить

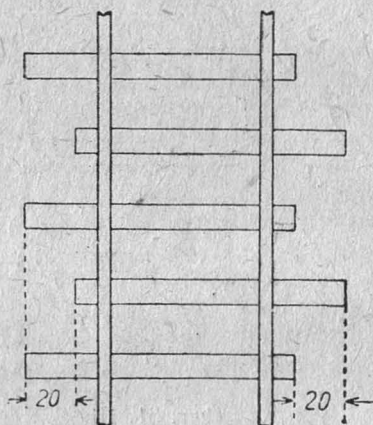
срок службы шпал даже после повреждения в одном ее месте. С этой целью необходимо укладывать шпалы несимметрично, сдвигая их поперек пути в шахматном порядке.

Некоторые наши дороги применяют кое-где укладку шпал по схеме, изображенной на фиг. 33. После того как постель рельса на шпале износится, шпалы передвигаются по их длине на 20 см и прикрепляются на свежем неизношенном месте. Таким образом срок службы механически поврежденных шпал подтягивают до нормального срока службы пропитанных шпал. Следовательно, этот способ может дать громадную экономию в расходах по шпальному хозяйству.

Основное возражение, которое вызывает этот тип укладки шпал, состоит в том, что возможно ослабление устойчивости пути, что вызовет



Фиг. 32. Симметричная укладка шпал.



Фиг. 33. Несимметричная укладка шпал.

частый ремонт его и, следовательно, увеличит эксплуатационные расходы. Скучный официальный материал (Циркуляр б. М. П. С. от ноября 1912 г.) по этому поводу предусматривал возможность применения этого типа укладки шпал только на участках с хорошим баластом и при скорости до 45 км в час.

Однако наблюдения за работой несимметрично уложенных шпал и состоянием пути не подтверждают приведенных опасений. Повидимому, и в области теории кое-где имеются «внутренние ресурсы».

Необходимо, не теряя времени, приступить к применению этого типа укладки и широко организовать наблюдения за работой шпал и состоянием пути.

32. Расстояние между шпалами

Выше было отмечено, что шпалы с рельсами являются как бы натянутой на полотно сеткой, по которой на баласт и земляное полотно передается давление подвижного состава. Совершенно очевидно, что чем гуще сетка, тем лучше для ее отдельных звеньев в том отношении, что они при работе меньше напрягаются. Таким образом возникает вопрос, как часто друг от друга укладывать шпалы, иначе—какое расстояние принять между осями шпал.

Расстояние между осями шпал нельзя брать большим, так как в этом случае мы получаем большой пролет между точками рельсовых опор. В то же время это значит, что одно и то же давление от подвижного состава передается на меньшее число шпал, отчего возрастает напряжение во всех элементах пути: в рельсе, шпале, баласте и земляном полотне. Не следует ли отсюда вывод, что расстояние между осями шпал необходимо уменьшить? Очевидно, что это так. Но и в сторону сближения шпал мы можем идти только до определенных границ. Дело в том, что в процессе работы баласт выбивается из-под шпалы и под нею получается корыто. Правильное содержание пути требует, чтобы шпала была всегда подбита. Следовательно, при уходе за путем требуется производить подбивку шпал. При существующем ручном способе подбивки необходимо всегда сохранить определенное минимальное расстояние между шпалами. Соответствующий же минимум, правда, несколько меньший, необходимо сохранить и при механической подбивке баласта.

По существующему положению шпалы пристыковые располагаются чаще шпал в пролете. В зависимости от числа шпал на рельсовом звене расстояние между осями шпал колеблется в широких пределах. Приводимые ниже таблица и схема дают представление о распределении и расположении шпал под рельсами, применявшимися у нас до последнего времени, т. е. до реконструктивного периода.

В то время как в передовых в техническом отношении странах число шпал на 1 км составляет 1 800—2 100 штук (САСШ), 1 600 шт. (Германия), 1 700 шт. (Франция), 1 540 шт. (Австрия), у нас, в СССР, применялось лишь до 1 440 шпал на 1 км.

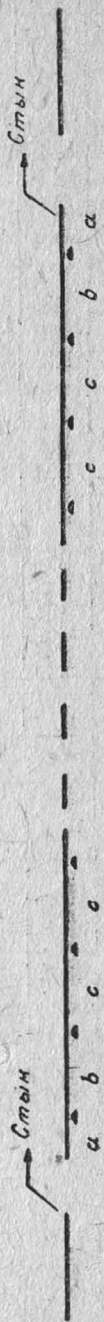
Эти цифры показывают, что до последнего времени у нас на 1 км применялось меньшее число шпал, чем в технически-передовых странах. Не следует упускать из виду, что и баласт у нас до сих пор применялся более низкого качества.

Но реконструкция транспорта в целом и пути в частности многое изменит и в этом отношении. Ниже, в статье о реконструкции транспорта, этот вопрос кратко освещается.

33. К вопросу о правильном ведении шпального хозяйства

Хотя наши леса и занимают огромную площадь в 913 млн. гектар*, (одна треть лесов всего земного шара), тем не менее к лесному хозяйству и к расходованию древесины мы должны относиться бережно.

Так как железные дороги являются большим потребителем древесины, то совершенно очевидна важность правильного ведения шпального хозяйства. Сюда в равной степени относятся вопросы предохранения шпал от гниения и меха-



Фиг. 34. Схема расположения шпал под рельсами.

* Гектар равен 0,915 десятины. Данные о площади лесов взяты из брошюры С. Бькова „В борьбе за лес“. Транспечать. М. 1930.

Распределение шпал под рельсами

Длина рельсов	Количество шпал		Расстояние (в см)		Количество шпал		Расстояние (в см)		Количество шпал		Расстояние (в см)		Количество шпал		Расстояние (в см)	
	на звено	на километр	в.	с.	на звено	на километр	в.	с.	на звено	на километр	в.	с.	на звено	на километр	в.	с.
в метрах																
14,935	18	1 205	73	86,5	20	1 339	59,3	78	21	1 405	56,3	74	22	1 472	52,55	70,5
14,326	17	1 187	75	88	19	1 327	63,3	78,5	20	1 393	62,3	74	21	1 468	56,80	70,5
13,411	16	1 193	73,65	88	18	1 342	64,3	77,5	19	1 418	57,55	73,5	20	1 491	54,80	69,5
12,502	16	1 250	69,55	84	17	1 327	66,5	78,5	18	1 408	60,55	74	19	1 484	58,55	70
12,198	15	1 230	71,60	85,5	16	1 312	64,6	80	17	1 385	59,60	75	18	1 475	55,85	70,0
11,278	14	1 240	71,40	85	15	1 329	64,9	79	16	1 420	61,15	73,5	17	1 506	65,90	69
10,668	13	1 218	68,65	88	14	1 311	63,35	81	15	1 405	58,85	75	16	1 500	53,85	70
10,058	12	1 193	77,40	89	13	1 283	67,90	82	14	1 391	62,85	75,5	15	1 491	57,90	70
9,44	12	1 264	69,45	84	12	1 279	69,40	84	15	1 374	62,45	77	14	1 481	56,95	71

нического износа, т. е. меры, удлиняющие сроки службы шпал, а также и вопросы экономического характера, т. е. где и в каких районах применять шпалы тех или иных пород дерева. Этот вопрос имеет для нас большое значение не только с точки зрения сохранения шпальных лесов различных пород. Сюда же следует прибавить накладные расходы в шпальном хозяйстве, возникающие вследствие дальности перевозок для отдельных районов.

Исходя из соображений охраны леса и экономного ведения шпального хозяйства, следовало бы разбить Союз на определенные районы и установить для каждого района в отдельности породу шпальных лесов. Еще в 1921 г. в этом духе писал проф. К. А. Оппенгейм*. Им справедливо предлагалось следующее:

- а) запретить изготовление шпал из дуба по всему СССР;
- б) на севере и северо-востоке СССР укладывать шпалы преимущественно лиственные и кедровые, а южнее—шпалы из горной ели и пихтовые; укладку сосновых шпал не допускать в этом районе;
- в) в средней части СССР применять шпалы преимущественно сосновые, лиственные и кедровые (привозные с севера);
- г) на юге СССР укладывать шпалы преимущественно буковые, пихтовые и еловые, доставляемые из Крыма и Кавказа, но допустима укладка и сосновых шпал;
- д) в Сибири должны укладываться шпалы преимущественно лиственные и кедровые, а затем шпалы из горной ели и пихтовые, укладка же сосновых шпал может быть допускаема лишь как исключение.

ГЛАВА VI.

РЕЛЬСЫ

34. Технические и экономические факторы

Технический успех железнодорожного дела заключается в том, что на железнодорожных путях сопротивление движению значительно меньше, чем на обыкновенных дорогах. Такое уменьшение сопротивления стало возможным благодаря применению рельсов. Рельсы же создают и колею, которая направляет движение.

Поэтому с технической точки зрения рельсы, как составная часть пути имеют первенствующее значение. Они непосредственно воспринимают от подвижного состава удары громадной силы. Они в первую очередь воспринимают всю игру взаимодействующих между путем и паровозом сил.

Сечение рельса—его профиль, а следовательно и вес, интересуют нас не только с точки зрения технической, но и с точки зрения экономической. Дело в том, что доля расходов на рельсы в общей стоимости сооружения железной дороги довольно велика. Стоимость рельсов в общем составляет 7—9% от стоимости сооружения дороги, а по отношению к стоимости всего верхнего строения—примерно 40%. Вот чем объясняется, что

* См. проф. К. А. Оппенгейм, *Деревянные шпалы на русских железных дорогах с точки зрения народного хозяйства*, Гостехиздат. М. 1921.

специалисты разных стран беспрестанно работают над улучшением формы сечения рельса с точки зрения увеличения их прочности и уменьшения износа.

Как видно, интересы технические и экономические в отношении рельса сталкиваются. Безопасность движения и его технические условия требуют создания прочного, а следовательно и тяжелого рельса. В то же время экономические условия требуют такого рельса, который поглощал бы меньше металла и вместе с тем работал бы довольно продолжительное время.

Требования экономические и технические могут увязать лишь соответствующее качество материала рельса и целесообразные размеры его сечения.

35. Материал рельсов

Первоначально рельс изготовлялся из чугуна. Последний обладает большой хрупкостью и поэтому вовсе не пригоден как материал для рельсов. Чугун был сменен железом, а железо—сталью.

У нас до последнего времени применялись три способа производства рельсовой стали: мартеновский, бессемеровский и томассовский. Америка перешла исключительно на м а р т е н о в с к и й процесс. Там доказано на практике, что рельсы мартеновского процесса стоят выше качеством.

Рельсовая сталь состоит из железа и следующих примесей: углерода, марганца, кремния, серы, фосфора, никеля, титана и др.

По структуре рельсовая сталь различается на феррит и перлит. Одни из этих составных частей полезны, другие, в зависимости от количества оказываются вредными. Рельс может оказаться менее хрупким (при меньшем содержании углерода) и более хрупким (при большем содержании углерода).

Разные страны предъявляют разные требования в отношении химического состава рельсовой стали. В Америке так называемая высокая углеродистая сталь в зависимости от веса рельса имеет следующий химический состав (в процентах):*

Э л е м е н т ы	Вес (в кг в пог. метре)			
	35—42	42,5—50	50,5—60	60,5—70
Углерод	0,53—0,7	0,62—0,77	0,67—0,83	0,72—0,89
Марганец	0,60—0,9	0,60—0,90	0,5—0,9	0,5—0,9
Фосфор	0,04	0,04	0,04	0,04
Кремний (минимум)	0,15	0,15	0,15	0,15

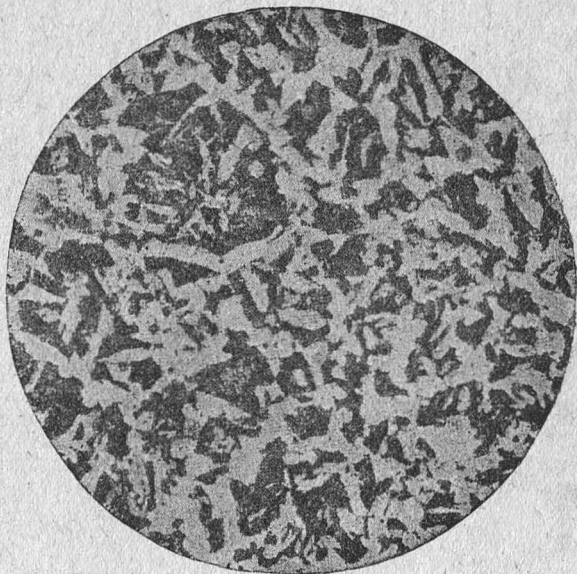
Фиг. 35 изображает так называемую микроструктуру рельса, т. е. то строение материала рельса, которое поддается взору через микроскоп. Белым цветом изображен феррит, а черным—перлит.

Мы отметим, что качество материала рельсовой стали чрезвычайно важно для успешной работы рельса. Это качество зависит и от метода обработки рельсовой стали.

* К. П. Шукки. Составы обыкновенной и качественной стали в САСШ, „Железнодорожное дело“ № 12, 1930.

Известно, что при помощи особого рода закалки рельсовой стали достигается замена феррито-перлитовой структуры рельса структурой так называемой сорбитовой. В этом заключается сущность термической обработки или так называемой сорбитизации. Данные иностранной практики говорят о положительной работе сорбитных рельсов. Их износ составляет 80—90% износа нормальных рельсов. Так как износ подвергается в первую очередь головка рельса, то нет особой надобности подвергать термической обработке весь профиль рельса. Можно ограничиться лишь головкой рельса. Однако это не всегда удается в силу неудачных соотношений количества металла в разных частях рельса: головке, шейке и подошве.

У нас в СССР имеется небольшой участок, уложенный сорбитовыми рельсами. Такие рельсы производства Надеждинского завода уложены в июле-августе 1928 г. на перегоне Налейка—Кузатово Московско-Казанской железной дороги, на километрах 825—830 протяжением всего 5,4 км. Путь имеет кривые радиусами 853 и 1 066 м; уклон пути—0,008. Баластный слой полностью не менялся с 1914 г. Временами производилась лишь досыпка нового баласта в небольших количествах. Разумеется, что такая досыпка баласта незначительно улучшала состояние баластного слоя, так как преобладал баласт загрязненный и измельченный.



Фиг. 35. Микроструктура рельса.

Со шпалами на этом участке также очень плохо. Рядом со вновь уложенной шпалой по обеим сторонам ее находится несколько гнилых и трясучих. К полной характеристике пути следует добавить, что пучины достигают 5 см.

Все приведенные данные относятся к ноябрю 1930 г., когда туда выезжала Путевая испытательная станция Московского института инженеров транспорта.

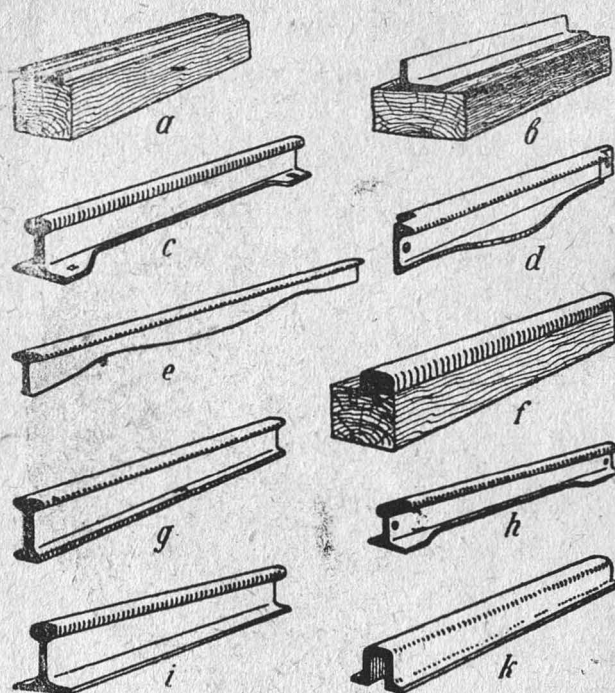
На этих данных мы остановились потому, что их необходимо самым серьезным образом учесть в тот момент, когда будет делаться заключение о целесообразности применения у нас сорбитных рельсов. Первый опыт с ними был произведен, кстати сказать, на участке с очень плохим состоянием пути.

36. Форма рельсов

Постепенно развиваясь, рельс принял современную форму. Фиг. 36 дает понятие о тех стадиях, через которые прошла форма рельсов.

Форма рельсов должна отвечать основному требованию: при наименьшей затрате металла—должно быть налицо наилучшее сопротивление воздействию внешних сил. Рельс представляет собой балку, расположенную на опорах-шпалах. В поперечном сечении рельс в основном содержит так называемый *д в у т а в р*, т. е. такое сечение, верхняя и нижняя часть которого имеет форму буквы «Т» по отношению горизонтальной оси симметрии.

Вследствие того, что верхняя часть сечения рельса непосредственно соприкасается с бандажом колес подвижного состава, а потому и больше изнашивается, этой верхней части придается соответствующие форма и размеры.



Фиг. 36. Некоторые образцы рельсов от их начальной формы до современной.

Наибольшее распространение на железнодорожных путях земного шара получили рельсы так называемые широкоподшвенные и двухголовые. Однако имеются, или имелись, и рельсы другого профиля.

Широкоподшвенный рельс называется еще и «виньолевским» по имени Виньоля, который впервые применил этот рельс в Европе. Изобретен же он был Стефенсоном в 1830 г. Этот рельс отличается тем, что имеет

37. Широкоподшвенный рельс

Широкоподшвенный рельс называется еще и «виньолевским» по имени Виньоля, который впервые применил этот рельс в Европе. Изобретен же он был Стефенсоном в 1830 г. Этот рельс отличается тем, что имеет

широкую подошву с плоским основанием, которым он может быть непосредственно расположен на шпалах.

Так как в работе рельса приходится считаться с силами, действующими на него вертикально, то вопрос об устойчивости рельса имеет очень существенное значение. Широкоподшвенный рельс как раз обладает этой устойчивостью в большей мере, чем это свойственно рельсам прочих сечений.

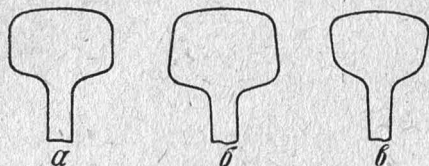
Широкоподшвенный рельс имеет три основные части: головку, шейку, и подошву.

Металл в этих трех частях распределяется примерно таким образом: в головке—около 40%, около 28% в шейке и около 32% в подошве. Это соотношение количества металла не постоянно, а колеблется в зависимости от метода проектировки.

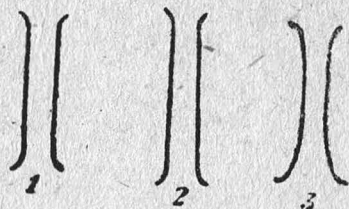
Г о л о в к а содержит большее количество металла потому, что она является непосредственно работающей частью рельса и, следовательно,

больше подвергается износу, так как головка рельса имеет непосредственный контакт с бандажом колеса подвижного состава, ей придается специальная форма.

Верхняя поверхность головки рельса имеет выпуклость, которая очерчивается радиусом от 200 до 500 мм. Наблюдается стремление к увеличению этого радиуса, так как этим достигается увеличение плоскости соприкосновения между бандажом колеса и головкой рельса. В таком случае давление от колеса передается на большую площадь головки рельса и тем самым в рельсе уменьшается напряжение, т. е. давление на единицу площади, принимаемое, как было указано выше, в килограммах на квадратный сантиметр.



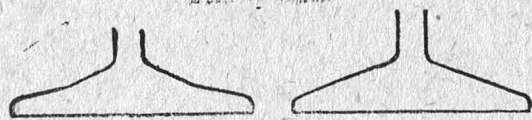
Фиг. 37. Типы головок рельсов.



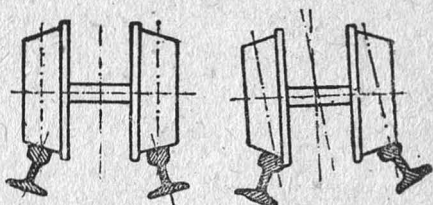
Фиг. 38. Типы шеек рельсов.

В зависимости от формы места перехода бандажа к реборде (так называемой выкружки) у колес подвижного состава находится и форма перехода от верхней поверхности головки рельса к боковым граням. Этот переход совершается по кривой определенного радиуса. У нашего рельса типа *1а* этот радиус равен 13 мм.

Что касается боковых граней головки рельса, то они делаются вертикальными у рельсов, применявшихся до сих пор у нас (фиг. 37), наклонными наружу (рельс типа *О*, рельс типа авторов, (фиг. 212) или же с некоторым наклоном внутрь.



Фиг. 39. Типы подошв рельсов.



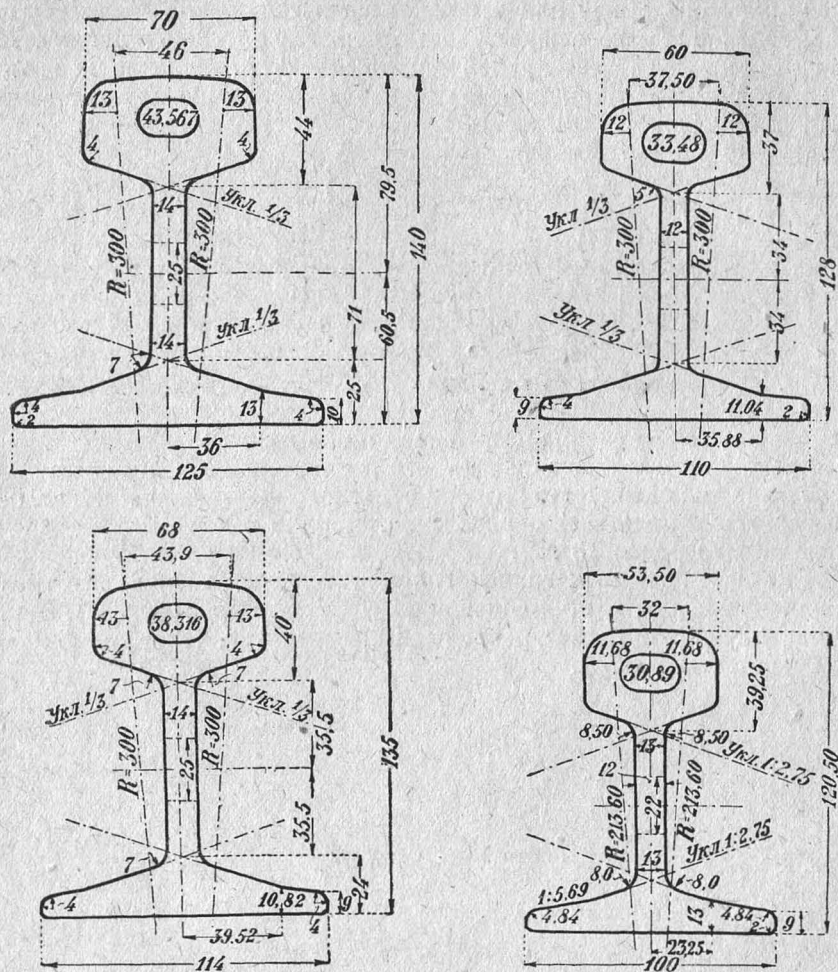
Фиг. 40. Передача давления по оси рельсов.

Последняя форма не получила распространения, так как она суживает плоскость соприкосновения накладок с нижней гранью головки рельса, которая делается с наклоном к горизонту. Принятый и наиболее распространенный наклон 1:3—1:4.

Переход от боковых граней головки рельса к нижней грани делается также по кривой. У наших рельсов типа *1а* этот радиус принят в 4 мм. Переход головки к шейке, а также переход шейки к подошве принят для того же типа рельсов в 7 мм.

Шейка рельсов делается (фиг. 38) с вертикальными гранями, с наклонными расширяющимися внизу гранями и с вогнутыми гранями. Первый тип у нас наиболее распространен.

Подошва рельса имеет верхнюю поверхность с наклоном к горизонту. У некоторых типов рельсов этот наклон к горизонту не одинаков на всем протяжении поверхности (фиг. 39). Мы не видим оснований к тому, чтобы продолжать применять ломаный наклон верхней поверхности подошвы рельса. Более того, ломаный наклон поверхности подошвы вызывает большие неудобства и неравномерное остывание при прокатке рельса.



Фиг. 41. Типы рельсов, применяемых на ж. д. СССР.

Как отмечено выше, силы вертикальные являются главными действующими на рельс силами. В целях лучшей работы рельса эти силы необходимо передавать по оси рельса.

Вследствие же коничности бандажа вытекает необходимость наклона обоих рельсов внутрь пути с таким расчетом, чтобы оси рельсов оказались в перпендикулярном положении к сечению конической части бандажа (фиг. 40). Последнее достигается при принятом у нас наклоне рельсов в $1/20$ внутрь пути.

38. Типы рельсов железных дорог СССР

У нас применяются рельсы исключительно широкоподошвенные. Раньше их существовало много типов. Это вызывало необходимость иметь отдельные крепления для каждого из типов, что в сильной мере удорожало содержание рельсового хозяйства.

В 1908 г. было установлено 4 типа рельсов: *Ia*, *IIa*, *IIIa* и *IVa*, которые до сих пор у нас существуют. Сечение этих рельсов приведено на фиг. 41.

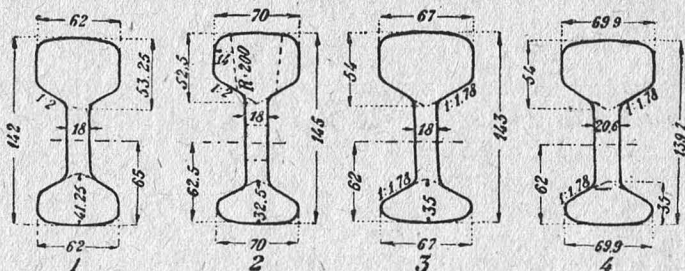
Характеристику рельсов принято выражать весом на единицу длины, приведенным в килограммах на погонный метр. Очевидно, что сечение рельса тем больше, чем больше его погонный вес. Наиболее тяжелый из наших типов рельс *Ia* (43 кг/м) уложен лишь на магистрали Москва—Ленинград, т. е. на Октябрьской железной дороге. Наиболее же распространенным типом на наших дорогах является тип *IIIa* (33, 48 кг/м).

Чем больше нагрузка на ось паровоза, тем большее напряжение испытывает рельс и, следовательно, тем больше должен быть его погонный вес. Нагрузка же на ось паровоза идет в сторону увеличения. Следовательно, должна возрастать и мощность рельса, что выразится применением в ближайшем будущем тяжелых рельсов на наших главных магистралях.

39. Рельс двухголовый

Двухголовый рельс был изобретен инж. Локке в Англии в 1838 г. Одно время этот рельс получил распространение на западно-европейских железных дорогах. Сейчас он сохранился главным образом в Англии.

Из самого названия рельса вытекает, что по отношению своей горизонтальной оси он является симметричным. По идее изобретателя, этим



Фиг. 42. Двухголовый рельс.

имелось в виду достичь большей экономии в использовании материала рельса. Изобретатель полагал, что после того как верхняя головка сработается от движения по ней колес подвижного состава, рельс можно будет перевернуть и он станет работать нижней головкой, т. е. предполагалось пустить последнюю под езду. Однако идею изобретателя не удалось осуществить, так как на практике оказалось, что нижняя головка, опирающаяся в металлическую подушку (фиг. 42), также изнашивается.

Коль скоро отпало такое важное соображение о лучшем использовании двухголового рельса, самая целесообразность его применения подлежит большому сомнению. Как видно из чертежа, прикрепление этого рельса

40. Некоторые данные о наших рельсах

Тип рельса	Год установления рельса	Вес рельса (кг/м)	Размеры рельса в миллиметрах									Радиус закругления в мм						
			Ширина головки		Ширина подшвы	Высота рельса	Головки	Шейки	Пяты	Толщина шейки	Отношение ши- рины подшвы к высоте рельса	Верхней поверхн. головки	Боков. головка		В сопряж. с шейкой		Боков. пяты	
			поверху	понизу									наверху	внизу			наверху	внизу
<i>IVa</i>	1908	30,89	53,5	100	120,5	37	63,5	20	12	0,83	214	11,7	3,5	8	8	4,8	2	
<i>IIIa</i>	1908	33,48	60	110	128	37	68	23	12	0,86	300	12	3	5	5	4	2	
<i>IIa</i>	1908	38,42	68	114	135	40	71	24	13	0,84	300	13	4	7	7	4	2	
<i>Ia</i>	1908	43,57	70	125	140	44	71	25	14	0,89	300	13	4	7	7	4	2	
0*	1919	47,07	68/72	120	145	43	76,25	23,75	14	0,90	300	13	2	7	7	2	2	
Авторов	1930	58,8	72/76	140	160	50	82	28	17	0,88	350	13	2	8	8	2,5	2	

* Тип проф. Оппенгейма. В 1929 г. им же предложено 4 типа новых стандартных рельсов.

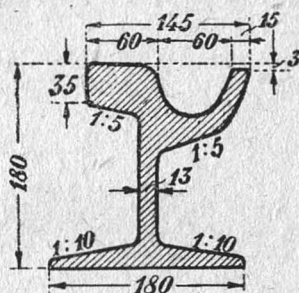
к опоре требует много металла, что удорожает стоимость и эксплуатацию этого рельса.

Повидимому эти соображения послужили одной из причин того, что двухголовый рельс не получил широкого распространения.

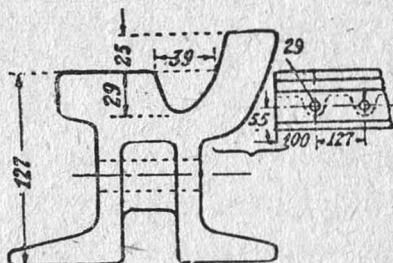
41. Рельсы специальных сечений

К таким типам относятся рельсы, ранее применявшиеся на железных дорогах или теперь применяемые на городских железных дорогах.

Из ранее применявшихся отметим рельс Брунеля (фиг. 43), который располагался на продольных ложнях. Выше было отмечено, что существенным недостатком пути на продольных ложнях является его поперечная неустойчивость. На этом основании и рельс Брунеля не получил распространения.



Фиг. 43. Германский желобчатый рельс.



Фиг. 44. Желобчатый рельс, применяемый иногда в кривых САСШ.

На городских железных дорогах применяются желобчатые рельсы, которых имеется много систем. На фиг. 44 показан желобчатый рельс, применяемый в Америке Пенсильванской железной дорогой на участках, пролегающих по городским улицам.

К рельсам специального профиля следует отнести рельс-лежень Барлоу и рельс-лежень Гартвиха, которые укладывались непосредственно на балласт. Была попытка со стороны некоторых техников к усовершенствованию этих рельсов. Однако вследствие их существенных недостатков они широкого применения не получили. Такая же участь постигла рельсы двухсечные и составные.

42. Длина рельсов

Железнодорожная колея с непрерывной рельсовой ниткой представляла бы собой идеальную поверхность катания колес в силу многих соображений.

Однако такой путь пока нигде не получил осуществления. Дело в том, что длинные рельсы трудно доставлять к месту работ и не менее трудно оперировать с ними при укладке в путь. С другой стороны, при повышении температуры воздуха удлиняется рельс. При значительной длине рельса будет соответственно возрастать и температурное его удлинение. Вследствие того, что рельс прикреплен к опорам наглухо, может произойти искривление и выпучивание рельса в сторону. Само собой разумеется,

что такое положение, имея оно место, создало бы угрозу для нормального движения и послужило бы причиной крушения поездов.

Отсюда ясно, что рельс должен быть определенной ограниченной длины. Следовательно, рельсовый путь состоит из отдельных рельсовых звеньев определенной величины.

Выше мы видели, что соображения температурного порядка заставляют нас ограничивать длину рельсов. Но оказывается, что частые рельсовые звенья и, следовательно, частые соединения рельсов между собой являются также весьма нежелательным явлением.

Таким образом нашей технике приходится работать в направлении увязки противоречия: с одной стороны, необходимости уменьшения длины рельсов в силу температурных явлений и, с другой стороны—необходимости увеличения длины рельсов с целью уменьшения числа так называемых стыков.

Насколько этот вопрос сложный и трудный—видно хотя бы из того, что мы имеем пеструю картину длины рельсов. Не только в разных государствах существуют рельсы различной длины, но и на разных дорогах одной и той же страны до недавнего времени имелись, да еще и имеются, рельсы различной длины.

Нами могут быть отмечены следующие нормальные длины:

на американских железных дорогах . . .	10,06; 11,89 и 18,29 м
„ английских „ „ . . .	9,14; 10,06; 10,97; 13,71 и 18,29 м
„ германских „ „ . . .	10,12, 15,18; и 30 м
„ бельгийских „ „ . . .	18 и 28 м
„ французских „ „ . . .	12; 16,5; 18 и 24 м

Наибольшие длины рельсов были впервые осуществлены в Бельгии—28 м и во Франции—24 м. Эти рельсы были уложены в тоннелях и на подъездных железных дорогах, т. е. в таких местах, где изменения температуры не могут оказать такого влияния, как в открытых местах.

Однако в последние годы многие страны принимают длинные рельсы за нормальный стандарт. Так, например, во Франции таковым принят рельс в 24 м длиной, в Венгрии и Чехо-Словакии—25 м, а в Германии на магистральных первостепенного значения—30 м.

У нас до последнего времени были установлены следующие длины рельсов:

для тяжелых рельсов весом от 37 до 50 кг/м	15 м, 12,5—10 м
„ средних „ „ „ 30 „ 37 „	12,5—10 м
„ легких „ „ „ 15 „ 30 „	10 м

Теперь в связи с реконструкцией длина рельсов новой прокатки намечается в 25 м. Здесь же следует подчеркнуть, что чем больше вес рельса, тем меньше опасности в отношении выпирания его в бок от температурных воздействий и, следовательно, в определенных пределах возможна большая длина рельса.

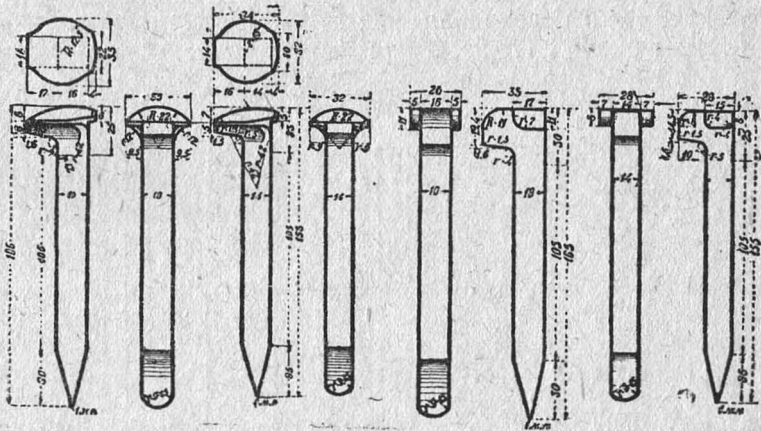
Фрунта

ПРИКРЕПЛЕНИЕ РЕЛЬСОВ К ОПОРАМ

43. Костыли и шурупы

Рельсы не только поддерживают, но и направляют колеса подвижного состава. Последние обрушиваются на рельсы с большой силой. Поэтому, несмотря на всю устойчивость широкоподошвенных рельсов, их необходимо прикреплять к опорам. В противном случае совершенно исключается возможность безопасного движения.

Самая простая форма прикрепления рельса к деревянным шпалам заключается в том, что рельс пришивается прямо к шпале несколькими костылями. *Костыли* в таком случае являются составной рабочей частью пути. Существует большое разнообразие костылей как по форме, так и по размерам.



Фиг. 45. Типы костылей, применяемых на дорогах СССР.

Что касается применяемых у нас костылей, то на фиг. 45-1 изображен костыль, применяемый для рельсов нормальных типов: *1a*, *11a* и *111a*, на фиг. 45-2—костыль для рельсов типа *1Va*.

Помимо этих костылей на наших дорогах применяются еще так называемые пучинные костыли, длина которых бывает в $1\frac{1}{2}$ раза больше нормальных. Эти костыли применяются в тех местах пути, которые страдают пучинами и подвергаются ремонту из-за них.

Выше, в статье о механическом износе шпал, нами было отмечено, насколько правильная забивка костыля играет важную роль в предохранении шпалы от преждевременного износа. Там же мы говорили о значении механического износа.

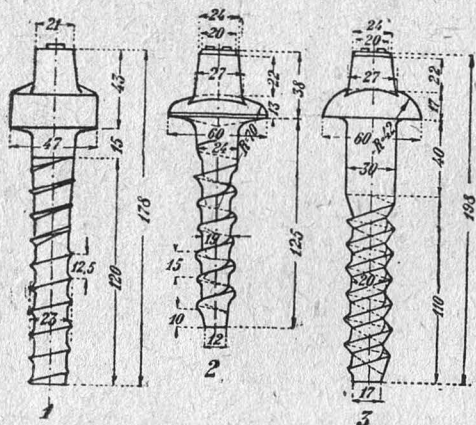
Повторные добивки костыля и частые перешивки рельсов играют такую же отрицательную роль в работе костыля, как это отмечалось в отношении работы шпалы. Разработке гнезд костылей способствуют также атмосферные условия. Если забить костыль без предварительной заготовки дыр, то это вызывает значительную деформацию (изменение нормальной формы) древесины шпалы, что ослабляет сопротивление косты-

для на отжатие и выдергивание. На этом основании рекомендуется производить забивку костыля в отверстие, равное $\frac{2}{3}$ толщины костыля.

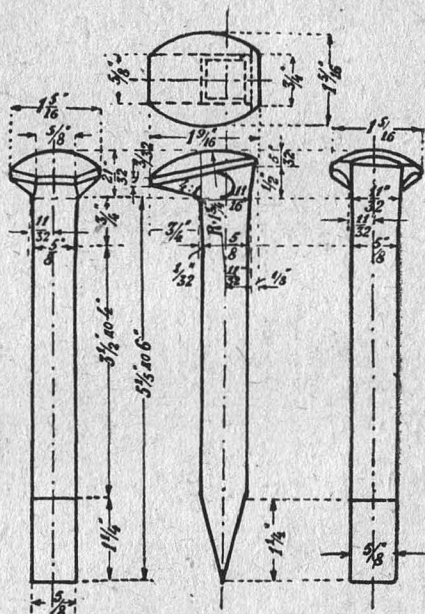
Выше нами отмечено, что главными силами, действующими на путь, являются силы вертикальные, передаваемые от колес подвижного состава, существуют силы, которые действуют на рельс от колес подвижного состава в плоскости горизонтальной. Эти горизонтальные силы стремятся отодвинуть рельс внаружу колеи и, с другой стороны, стремятся опрокинуть рельс в ту же сторону.

Первой попытке (отодвиганию рельса внаружу) препятствует наружный костыль, оказывая сопротивление рельсу на отжатие. Второй попытке (опрокидыванию рельса внаружу) препятствуют внутренние костыли, оказывая сопротивление рельсу на выдергивание.

Костыль оказывает значительное сопротивление на отжатие. Так, например, по данным инж. Крачковского, отжатие костыля на величину 5 мм происходит в новой шпале под влиянием силы около 1 175 кг. Сопро-



Фиг. 46. Типы шурупов.



Фиг. 47. Стандартный костыль САСШ.

тивление костыля выдергиванию (при костыле длиной 160 мм и толщиной 14×14 мм при новых сосновых шпалах) равно примерно 1 500—1 600 кг.

В интересах увеличения сопротивляемости рельса опрокидыванию и более прочного соединения подошвы рельса со шпалой стали применять шурупы. Последние, благодаря своей винтовой нарезке, оказывают большее сопротивление выдергиванию, чем костыли. Установлено, на основании опытных данных, что сопротивление шурупов выдергиванию при новых сосновых шпалах может быть принято до 3 200 кг.

Вместе с достоинствами перед костылем шуруп имеет и недостаток, заключающийся в том, что утерянная прочность закрепления шурупа трудно восстанавливается. Вследствие того, что шуруп обладает винтовой нарезкой он хуже костыля противодействует горизонтальным силам. Грани же винтовой нарезки способствуют измочаливанию древесины шпалы.

Для установки шурупа необходимо в шпале заранее заготавливать отверстие на 1—3 мм уже диаметра шурупа. Рекомендуется при установке шурупов применять втулки (фиг. 46).

Шурупы встречаются разных видов. На фиг. 47 показаны шурупы французских и бельгийских железных дорог.

44. Подкладки

Опыт показал, что при укладке рельса непосредственно на шпалу древесина последней очень быстро сминается. Это объясняется тем, что давление от подвижного состава передается на шпалу через подошву рельса—в данном случае площадь по своей величине недостаточную. Для того, чтобы избежать сминания древесины шпалы в месте передачи давления, необходимо увеличить площадь, через которую передается это давление.

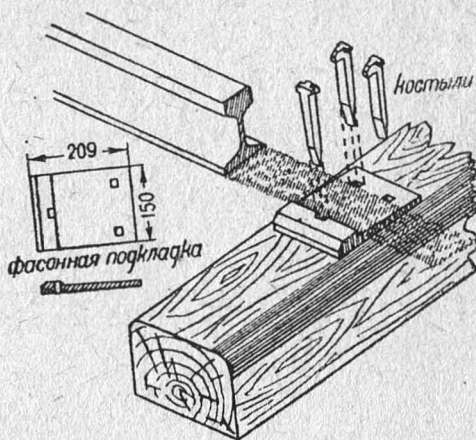
Таким образом возникла необходимость в применении подкладки. Помимо отмеченного, подкладка полезна еще и в этом отношении, что она связывает между собой костыль и заставляет их работать одновременно, чем увеличивается устойчивость рельса.

Когда рельс укладывался без подкладки, приходилось производить зарубку шпал с целью создания необходимого уклона рельса внутрь пути, о чем было сказано выше. Применение же клинчатой подкладки избавляет нас от этой операции.

Наиболее распространенной является подкладка металлическая. Во Франции применяются также подкладки из войлока, из тополя, пропитанного смолой, и из пропитанной смолой ткани. Применение этих подкладок имеет тот смысл, что они умеряют удар от подвижного состава и смягчают его. Однако полный эффект от применения этих подкладок достигается лишь в том случае, если подошва рельса плотно притянута к шпале; в противном случае подкладка быстро изнашивается и выталкивается в сторону.

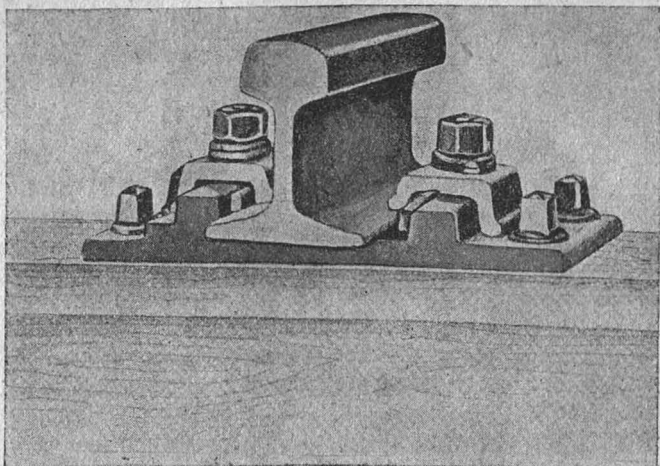
На фиг. 48 показана применяемая у нас клинчатая подкладка с ребордой. Существует еще несколько систем подкладок, преимущественно применяемых на иностранных железных дорогах.

Наша система прикрепления рельса к подкладке и к опоре несовершенна. По этой системе одними и теми же костылями рельс присоединяется к подкладке и к шпале. Поэтому при малейшем регулировании положения рельса приходится освобождать подкладки от шпалы, т. е. является необходимость расшивки костыля. Для долговечности же прикрепления рельса к шпалам необходимо избегать всяких воздействий на месте первоначального прикрепления подкладок к шпалам.

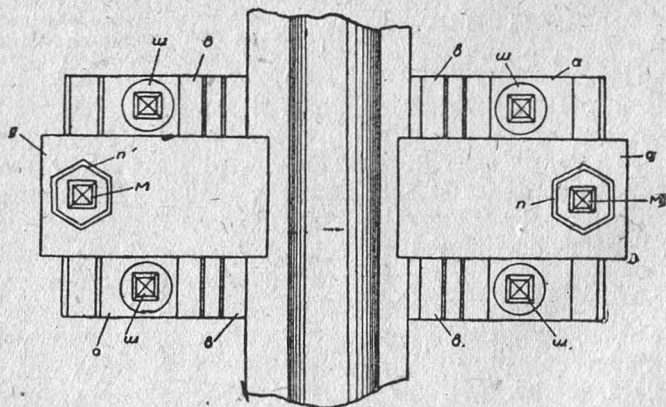
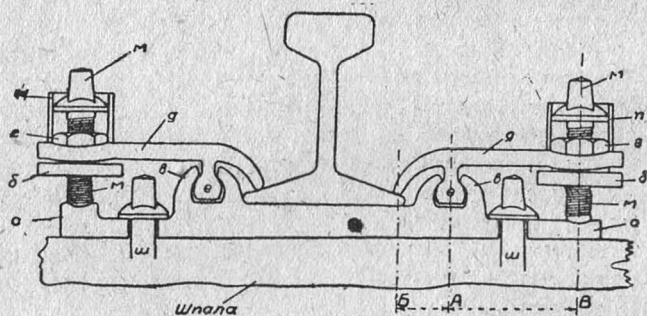


Фиг. 48. Схема прикрепления рельса с подкладкой к шпале.

Это условие может быть достигнуто в том случае, если отделить прикрепление рельса к подкладке от прикрепления подкладки к шпале.



Фиг. 49. Раздельное германское скрепление типа К.



Фиг. 50. Скрепление системы Кюнера.

Эти скрепления с успехом применяются в последние годы на иностранных железных дорогах, особенно на немецких.

На фиг. 49. изображено раздельное скрепление рельса с подкладкой и подкладки со шпалой так называемой марки К, применяемой на германских железных дорогах. Здесь рельс прикрепляется к подкладке; последняя же самостоятельно прикрепляется к шпале четырьмя шурупами.

Следует однако заметить, что и этот тип скреплений имеет свои недостатки: прижатие рельса к подкладке недостаточно сильное. Требуемое же большое количество металла сильно удорожает эту систему скреплений.

В СССР инж. К. Э. Кюнром была предложена усовершенствованная рельсовая подкладка, изображенная на фиг. 50.

Здесь также осуществлена идея раздельного прикрепления рельса к подкладке и подкладки к шпале.

Подкладка Кюнера имеет преимущества даже перед существующими подкладками марки К в том отношении, что рельс прижимается к ней с большим усилием, что имеет существенное значение для устойчивости всего пути.

Данная подкладка пока нигде не получила применения и, насколько нам известно, еще не подверглась испытаниям. Единственное возражение, которое может быть приведено против этой подкладки,—это значительное, по сравнению с простыми типами подкладок, количество металла, поглощаемое ею. Зато она дала бы большую экономию в расходах по содержанию пути.

К недостаткам клинчатой подкладки, применяемой у нас, относится ее недостаточная площадь и недостаточное усилие, с которым рельс прижат к ней. С увеличением площади подкладки давление паровоза, передаваемое через рельс, распространяется также на большую площадь. Вследствие этого облегчается работа шпалы и тем самым уменьшается ее механический износ. С увеличением же силы прижатия рельса к подкладке возрастает трение между ними, что обеспечивает большую устойчивость пути.

Краткое сопоставление основных размеров нашей подкладки с подкладкой, применяемой на двух главных американских железных дорогах, приведено в следующей таблице:

Дорога	Размеры подкладки				Вес подкладки (в кг)	Число дыр для прикрепления		Тип рельса кг/п. м
	Ширина (см)	Длина (см)	Толщина (см)	Площадь подклад- ки (в см)		Рельс	Подкладка	
Пенсильванская САСШ .	17,5	35	2	612,5	8,23	3	2	65
Нью-Йорк-Центр. САСШ.	17,5	27,5	1,72	481,25	6,07	4	—	63,6
Дороги СССР	15,0	19,4	1,38*	291,0	3,39	3	—	38,5 П-а

* Посредине длины.

СОЕДИНЕНИЕ РЕЛЬСОВ МЕЖДУ СОБОЙ

45. О стыках

В параграфе 42 («Длина рельсов») говорилось о том, почему рельсы имеют определенную ограниченную длину. Из изложенного со всей очевидностью вытекает, что рельсовый путь должен состоять из отдельных рельсовых звеньев определенной длины. То место, где один рельс кончается, а другой начинается, носит название *рельсового стыка*.

В стыках, следовательно, целость рельса нарушена. Мы видели выше, что температурные явления служат одной из причин, вызывающих необходимость в нарушении целости рельсовой нитки. Нужно заботиться о том, чтобы также рельсовое звено имело место для удлинения на случай повышения температуры. Это значит, что в самом стыке нельзя подводить вплотную один рельс к другому. Необходимо, следовательно, в стыках, при соединении рельсов между собою, оставить определенной величины *зазор*.

Величина этого зазора рассчитывается на основании учета коэффициента расширения рельсовой стали (применяется у нас равным 0,0000118), длины рельса и наибольшей разницы температуры по Цельсию (между самой низкой возможной температурой зимой и самой высокой летом).

Если, например, возьмем рельс длиной 10 м и наибольшую возможную разницу температур в 85°, то удлинение рельса определится как произведение трех величин, а именно:

$$0,0000118 \times 10\,000 \times 85 = 10 \text{ мм.}$$

В данном случае величина зазора принимается равной 10 мм.

В стыках рельсы соединяются между собой при помощи особых *стыковых накладок*. Существует много типов стыковых накладок как по системе, так и по мощности. По замыслу стыковая накладка должна заменить своей мощностью рельс в том месте, где он оборван, т. е. в стыке. На этом основании некоторые американские специалисты считают, что площадь сечения двух накладок должна быть равной или превосходить собою площадь сечения рельса. В отношении тяжелых рельсов эту идею американцы проводят в жизнь.

Несмотря на то, что стыковая накладка зачастую и достигает этой мощности, она все же не может полностью заменить рельс.

На рельс действуют силы вертикальные и горизонтальные. В стыке, там где целость рельса прервана, воздействие этих сил сказывается больше и хуже. Это доказано практикой. Два примыкающих в стыке рельса не идеально одинакового размера, в частности по высоте (рельса) и ширине головки. Даже при неизменном спокойном положении концов рельсов колесо паровоза (см. верхнюю часть фиг. 51) встречает на стыке как бы порог противошерстного (встречного) рельса.

Разумеется, что в таком случае, равно как и при обратном движении, удар от колеса о рельс возрастает. Удары на стыке ускоряют износ бандажа, рельса и баласта, что, в конечном счете, ведет к расстройству пути.

Как бы хорошо ни работали стыковые накладки, все же рельс в стыке очень восприимчив к воздействию сил, возникающих при прохождении

подвижного состава. Тем более это имеет место при ослаблении стыковых скреплений, в частности с момента разбалчивания болтов, которыми стягиваются обе (правая и левая и иначе—наружная и внутренняя) стыковые накладки. Полагается, что стыковые болты сейчас же, как только они ослабляются, подвинчиваются рабочими пути. Однако, несмотря на меры против разбалчивания (пружинные шайбы, надзор за состоянием пути и пр.), несмотря на постоянное совершенствование стыковых накладок для укрепления их мощности, рельс в стыке прогибается под действием вертикальных сил и несколько перемещается в сторону под действием горизонтальных сил.

При приближении колес подвижного состава к стыку конец отдающего рельса (пошерстного) прогибается (см. нижнюю часть фиг. 51). Конец же принимающего рельса лишь слегка осажен накладкой книзу. Таким образом принимающий рельс образует ступеньку, на которую должно вскочить колесо. Набегающее колесо с огромной силой ударяется о выступающий конец принимающего рельса.

Присущее стыку явление порога или уступа, образующееся при прохождении подвижного состава, сказывается самым отрицательным образом на работе пути и подвижного состава.

Доносящееся до пассажира в вагоне равномерное постукивание колес является отзвуком удара колеса в стыке, в частности удара колеса о конец принимающего рельса.

Между прочим, некоторые железнодорожники, зная длину уложенных рельсов, подсчитывают скорость движения поезда по числу доносящихся постукиваний.

Из изложенного ясно, что стык является врагом для нормального движения и большим местом рельсового пути в целом.

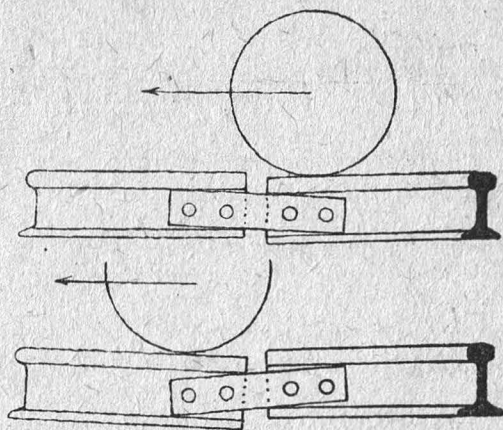
Соединение рельсов в стыке бывает механическое и физическое. К первому относится соединение при помощи накладок, ко второму—сварка в вагоне рельсов в стыке.

46. Перекрытие стыков

В основе соединения рельсов при помощи накладок лежит идея перекрытия стыка распирающими накладками. Эти накладки загоняются плотно, как клинья, между головкой и подошвой рельса.

Так как между шейкой рельса и накладкой остается зазор (фиг. 52), то при таких накладках возможно подвинчивание болтов при износе поверхностей накладок и рельса. Это обстоятельство имеет существенное значение для поддержания стыков в надлежащем состоянии.

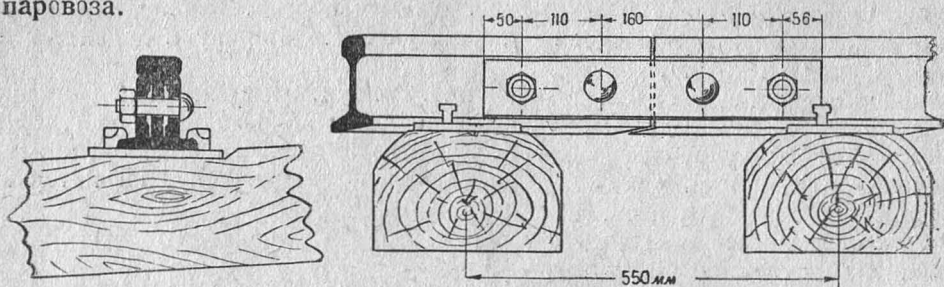
В процессе своего развития накладки прошли через три основные стадии. Простейшей формой накладки являются плоские накладки,



Фиг. 51. Прогиб рельсов на стыках.

состоящие из двух железных полос (фиг. 52) длиной около 500 мм и толщиной 13 мм. Своей верхней частью накладка упирается в головку рельса, нижней—в подошву.

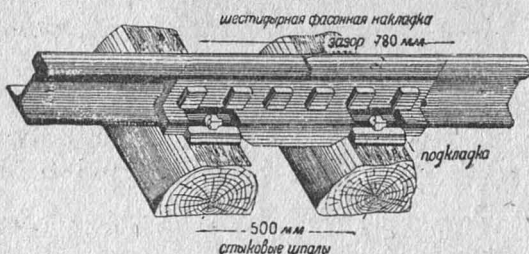
Этот тип накладок является простым, вместе с тем и дешевым перекрытием стыков. Однако эти накладки обладают малой мощностью. В связи с увеличением нагрузки на ось паровоза они плохо противостоят вертикальным и горизонтальным силам воздействия, проявляемым при движении паровоза.



Фиг. 52. Перекрытие стыка плоской накладкой.

Следующим по сложности типом являются *уголковые накладки*. Они отличаются от плоских тем, что имеют горизонтальную полку, которая одной своей частью опирается на подошву рельса. Эти накладки в полтора раза тяжелее плоских и значительно прочнее последних. Однако и уголковые накладки, иначе называемые фасонными, недостаточно прочны.

За уголкового накладкой следует двугорловая накладка, у которой второй угол опущен в пролет между шпалами. Последний образует хвост



Фиг. 53. Перекрытие стыка шестигорловой фартучной накладкой.

или фартук. Поэтому такие накладки носят название *фартучных*. Они несколько сильнее уголковых. На наших дорогах они были введены в 1903 г. в качестве нормальных типов, какими считались до последнего времени. Для наших рельсов типов *Ia* и *IIa* вес пары накладок составляет 16,92 кг.

Применяемая на Пенсильванской железной дороге, в Америке, накладка системы Бонзано имеет фартук на протяжении 178—200 мм, тогда как в наших накладках длина фартука составляет 346 мм.

Однако и фартучные накладки имеют существенные недостатки, вытекающие из их несовершенной конструкции. В целом фартучная накладка оказалась немногим лучше уголковой.

Помимо перечисленных типов накладок, применявшихся или применяемых у нас, существует еще очень много типов накладок, применяемых на зарубежных железных дорогах.

К главнейшим американским типам относятся: толстоголовые уголковые накладки, составные накладки, накладки с переменной наружной

гранью и накладко-подкладки. Последние одно время применялись у нас на Московско-Казанской железной дороге. Каждый из этих типов накладок имеет преимущества и недостатки.

В качестве материала для накладок у нас применяется сварочное железо; в Зап. Европе—литое железо и литая сталь; в Америке же накладки изготовляются из стали литой и углеродистой.

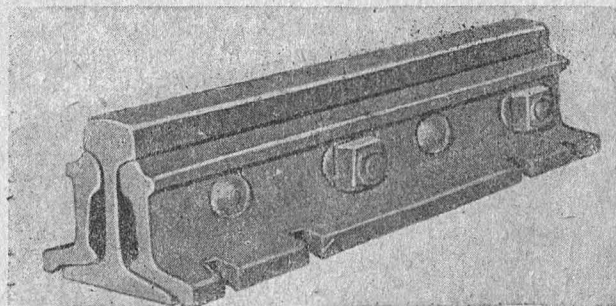
С улучшением качества материала накладок возрастает так называемое временное сопротивление на растяжение, измеряемое в $кг/мм^2$. Последнее же означает, что накладка служит надежнее, лучше и дольше. Что это именно так—видно хотя бы из того, что углеродистая сталь допускает временное сопротивление на растяжение до $66 кг/мм^2$, в то время как, скажем, сварочное железо имеет временное сопротивление в $35 кг/мм^2$.

Отсюда следует, что и мы стоим перед задачей перехода на накладки материала лучшего качества так же, как и перед задачей усиления перекрытия стыка в целом.

47. Стыковые болты

Мы видели выше, что рельсовые стыки перекрываются парой накладок, которые обычно стягиваются 4—6 болтами. Совершенно очевидно, что

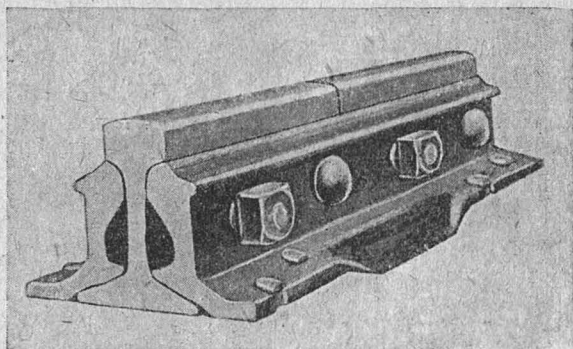
чем диаметр болта больше, тем прочнее соединение накладок. Однако с увеличением диаметра болта возрастает и диаметр отверстия в рельсе. Поэтому нужно стремиться к улучшению качества материала болтов с тем, чтобы избежать необходимости увеличивать их диаметр.



Фиг. 55. Толстоголовые американские накладки.

У нас приняты диаметры болтов для рельсов типов *Ia*, *IIa* и *IIIa*— $22 мм$ и для рельсов типа *IVa*— $19 мм$. В Зап. Европе чаще всего встречается диаметр болта в $25 мм$.

Во избежание вращения болта при завинчивании гайки его головка расположена несимметрично по отношению к стержню. Благодаря этому при завинчивании болта головка упирается в горизонтальную полку накладки.

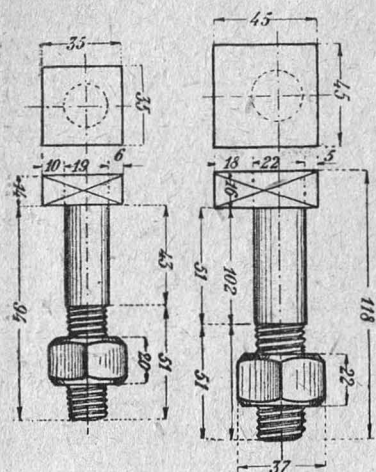


Фиг. 54. Тип фартучной накладки, применяемой в САСШ.

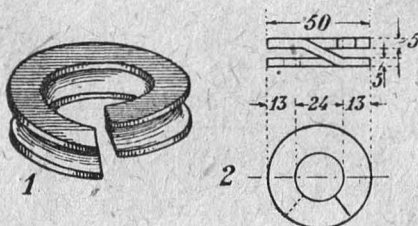
Еще одно важное обстоятельство следует отметить даже и при кратком описании болта. При прохождении поезда по рельсам происходят удары и сотрясения, которые вызывают развинчивание или ослабление гаек болтов. Последнее ухудшает и без того вредное влияние стыка. Следовательно, за состоянием гаек болтов необходим постоянный надзор и подвинчивание.

Для предупреждения ослабления гаек имеется несколько приспособлений.

Некоторое применение имеют у нас так называемые шайбы Гровера (фиг. 57), — разрезанное стальное кольцо с разведенными концами.



Фиг. 56. Типы болтов, применяемых на жел. дорогах СССР.

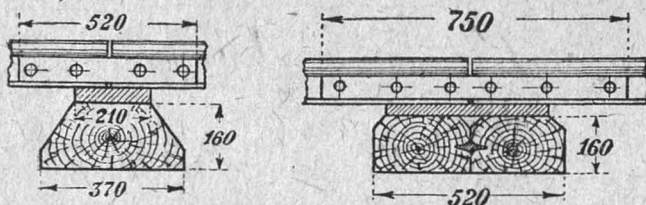


Фиг. 57. Пружинящая шайба.

48. Типы рельсовых стыков

С точки зрения расположения стыков рельсов на опоре существует их несколько типов. Имеются следующие главнейшие типы, расположенные в порядке наибольшего распространения:

- 1) стыки на весу;
- 2) стыки подпертые: а) стык на поперечине одиночной или двойной, б) мостовые стыки;
- 3) стыки непрерывные (сваренные).



Фиг. 58. Тип подпертого стыка.

Подпертые стыки являются первым типом стыка, который применялся на железнодорожном пути. Подпертыми эти стыки называются потому, что концы обоих рельсов расположены на шпале (фиг. 58 и 59).

Выше мы познакомились с основным принципом работы стыка. Основное здесь заключается в том, что колесо подходящего экипажа (паровоза или груженого вагона) получает удар о противощерстный конец рельса вследствие образования порога. При стыке на шпале под влиянием сильного толчка рельс резко ударяется о шпалу. Удар получается жестким.

Жесткие удары крайне отрицательно влияют не только на износ бандажа и рельса, но и на состояние стыка в целом, так как шпала оседает

то под влиянием конца одного рельса, то под влиянием конца другого рельса.

Стыковая шпала таким образом работает с большей перегрузкой по сравнению со шпалами в пролете. Требуется частая подбивка шпалы для сохранения стыка в надлежащем состоянии.

Железные дороги Европы не сразу пришли к стыку на весу, а именно лишь к восьмидесятым годам прошлого столетия. Основное достоинство этого стыка заключается в значительном уменьшении жесткости удара. Благодаря пространству между стыковыми шпалами в стыке на весу (по сравнению с подпертым стыком) оказалось также возможным улучшать форму накладки и увеличить ее мощность. Эти обстоятельства послужили причиной того, что стык на весу получил повсеместное применение.

В целях уменьшения изгиба рельсов и их опускания в стыке расстояние между стыковыми шпалами делается меньше расстояния между остальными шпалами. Это расстояние на наших железных дорогах равно примерно около 500 мм вместо 700 мм, обычно применяемых для шпал нестыковых.

С целью достижения равномерной передачи давления от движущегося колеса на стыковые шпалы необходимо стремиться к их дальнейшему сближению.

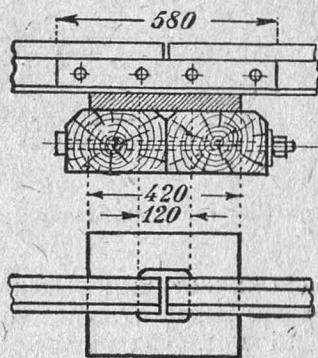
Однако ручная подбивка шпал не позволяет идти на значительное сближение стыковых шпал, так как в последнем случае будет затруднен процесс подбивки. При переходе на механизацию путевых работ этот мотив отпадает и представится возможность улучшать работу стыка в направлении большего сближения стыковых шпал.

Следует отметить, что в САСШ на линиях Нью-Йорк-Централь и на Пенсильванской железной дороге применяется стык подпертый на трех шпалах при длине накладок в 90—95 см. Этот стык применяется исключительно при тяжелых рельсах—65 кг/м и при щебеночном и гравийном баласте. Такой стык невозможно применять при песчаном баласте.

К стыкам подпертым относятся также и так называемые мостовые стыки, применявшиеся одно время в САСШ. Сущность этого типа стыков заключается в том, что пролет между стыковыми шпалами перекрывается мостишком из подкладки или накладки, служащей одновременно подкладкой, на которую опираются концы соединяемых рельсов.

Несмотря на то, что было предложено много конструкций мостового стыка, он у нас распространения не получил вследствие своей сложности и требуемого им большого количества металла.

Следует однако отметить, что мостовой стык по своей идее имеет большие преимущества, так как здесь легко выбрать величину свеса концов рельсов и этим, следовательно, регулировать их прогибы. Надо только так спроектировать этот стык, чтобы выбрать удачное соотношение прочности требуемого количества металла.

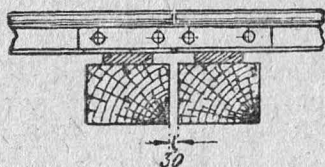


Фиг. 59. Стандартный германский стык системы Баумгарднера-Шмица.

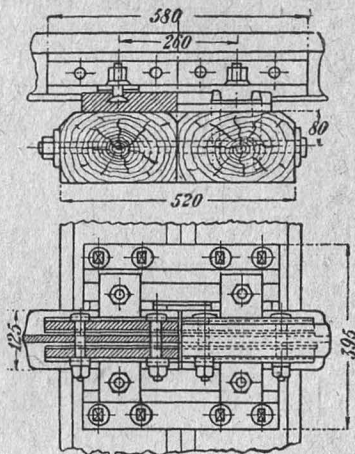
В этом направлении идет мостовой стык на сдвоенных шпалах, предложенных инж. Б. П. Андриановым (фиг. 210) и являющихся усовершенствованием немецкого типа К.

В целом предложено очень много типов стыков, из числа которых одни были испытаны в пути, другие применения не получили. У нас, а также и на германских железных дорогах, одно время применялся (на быв. Варшавско-Венской железной дороге) стык на сближенных опорах проф. Васютинского (фиг. 60). Основным недостатком этого стыка заключался в том, что при прохождении подвижного состава получались слишком сильные толчки.

У нас был предложен в 1923 г. проф. Опенгеймом стык на двух шпалах, связанных между собою тремя болтами, причем



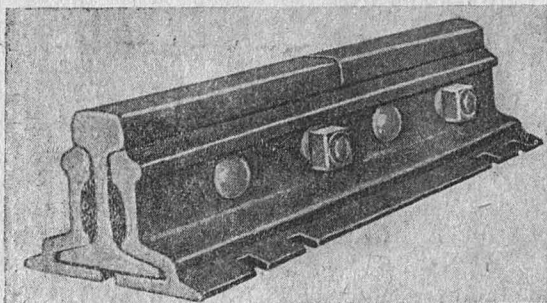
Фиг. 60. Стык Васютинского.



Фиг. 61. Стык Опенгейма.

один из них расположен посередине шпалы, а два других—на расстоянии одного метра от среднего болта.

Шпалы, образующие сдвоенную стыковую шпалу, имеют нижние постели с уклоном 1:4. Благодаря этим скосам давление от паровоза передается земляному полотну более равномерно. Глубина балластного слоя требуется меньшая. Вес металла в стыке проф. Опенгейма на 36% меньше обыкновенного нашего стыка того же типа рельсов.



Фиг. 62. Мостовой стык.

Стык этот распространения пока не получил. Он испытывается на отдельных дорогах и в частности на Московско-Белорусско-Балтийской железной дороге уже дал хорошие результаты.

49. Примыкание концов рельсов

Следует различать следующие стыки:

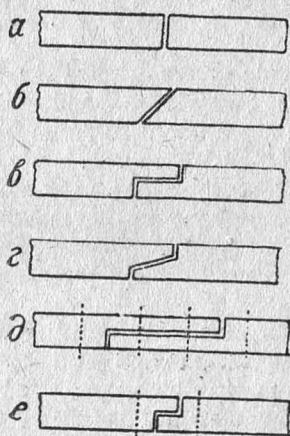
1. **Тупой стык.** При таком стыке концы рельсов срезаны отвесно (фиг.62). У нас применяется исключительно этот род примыкания рельсов. На иностранных дорогах—это самый распространенный стык.

Несмотря на ряд преимуществ, которыми обладает этот род примыкания рельсов, он как раз воплощает в себе болезненные явления, свойственные стыку. Здесь набегающее колесо поддерживается одним рельсом, конец которого прогибается под тяжестью этого колеса. При вступлении колеса на противошерстный рельс получается удар.

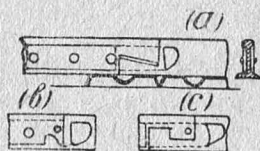
2. К о с о й с т ы к . Концы рельсов срезаны косо под углом (фиг. 63). При такого рода примыкании колесо поддерживается все время обоими рельсами. Этот стык появился впервые в Бельгии и некоторое применение имел в Германии и Америке.

На практике он оказался неудовлетворительным.

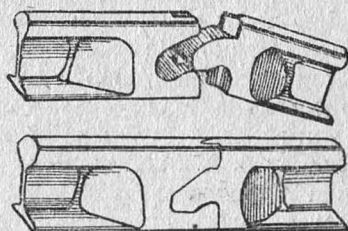
3. Стык в нахлестку. При такого рода примыкании концы рельсов сострагивают на половину сечения до продольной оси и соединяют их в нахлестку (фиг. 64). Предложено несколько типов этого рода соединений, которые однако распространения не получили.)



Фиг. 63. а—тупой стык, б—косой стык и в, г, д, е—стык в поярельса (в нахлестку).



Фиг. 64. Стык лапчатый Новтона.



Фиг. 65. Стык Барнгилля.

4. Стык лапчатый. Этот род примыкания был предложен не так давно американским инж. Барнгилем. Соединение заключается в том, что когтеобразный выступ в конце одного рельса входит в соответствующее углубление в конце другого рельса (фиг. 65). Для соединения или разъединения рельсов достаточно приподнять их на высоту в 20 см. При этом соединении никаких накладок и болтов не требуется. Как показал опыт, износ поверхности рельсов в стыках происходит при этом соединении в такой же мере, как и в остальных частях рельса.

Окончательно судить о достоинствах и недостатках этого стыка можно будет лишь на основе сопоставления всех опытных данных.

Таким образом нормальным (стандартным) типом остается тупой стык.

50. Сварка стыков

В самой природе стыка заложено противоречие: с одной стороны, он должен быть прочен и, следовательно, не иметь перемещений, с другой—рельс в стыке должен иметь возможность удлиняться и укорачиваться под влиянием изменений температуры.

Мы видели, что техническая мысль беспрестанно работает в направлении улучшения рельсового стыка. Доказательством тому служат многочисленные предложенные конструкции и типы рельсового стыка. Однако нет такой конструкции стыка, которая полностью устранила бы все недостатки, присущие стыку. Самым идеальным явилось бы устранение самого стыка.

Техника идет такими громадными шагами вперед, что быть может на самом деле недалеко то время, когда железнодорожный путь будет представлять собою непрерывную рельсовую колею. Пока что в этом направлении сделаны первые шаги в виде сварки рельсовых стыков на определенном протяжении.

Сварку рельсов на иностранных железных дорогах стали применять в 1902 г. Известно, что на трамвайных путях сварка рельсов очень широко и с успехом применяется. Дело в том, что на городских железных дорогах рельсовая колея встроена в мостовую. Остающаяся часть рельса на поверхности мостовой уже в меньшей мере подвержена влиянием температур.

Иное дело в железнодорожном пути, где рельс целиком нельзя затопить в балласте хотя бы вследствие того, что будет закрыт доступ к осмотру рельса и, следовательно, будет затруднено своевременное выявление изломов рельса. С другой же стороны, сплошная сварка рельсовых стыков при оставлении рельса совершенно открытым создает большую опасность выпирания рельса в бок при его удлинении от температурных воздействий. Кроме того при сваренных стыках затруднена смена лопнувших рельсов. Эти соображения являются основным препятствием к широкому применению сварки стыков на железных дорогах.

На этом основании сварка рельсовых стыков до сих пор проходила первую опытную стадию своего развития. Это в равной мере относится как к нашим железным дорогам, так и к иностранным. Разница лишь в том, что на некоторых иностранных железных дорогах эта опытная сварка протекала в большом масштабе.

У нас до последнего времени опыты охватили пути на станциях, на мостах, на охраняемых переездах и т. п., причем рельсы сваривались плетями длиной не более 30 м. Уже такие сварные плети сокращают на $\frac{2}{3}$ число стыков, что в таком же состоянии дает экономию на скреплениях и сверлении дыр и помимо этого дает более спокойный путь. В целом сварка стыков даже по такому методу имеет для нас большое значение, так как мы можем использовать старые рельсы с разбитыми концами, обрезаемыми перед началом сварки.

Мимоходом здесь же следует заметить, что за последнее время в САСШ стали с успехом применять газовую наплавку разбитых концов рельсов. В таких случаях рельс работает в пути лишние несколько лет и обрезка концов вовсе не требуется. Опыт САСШ теперь переносится к нам.

На железных дорогах СССР намечалось сварить в 1931 г. свыше десяти тысяч стыков на сдвоенных шпалах, так как такой тип стыка при движении поезда менее опасен на случай разрыва рельса в месте сварки.

Сущность сварки заключается в том, что в месте сварки торцов рельсов получается однородное тело. Если сварка произведена хорошо, то нельзя различить, где кончается один рельс и начинается другой.

Сварка рельсов производится путем нагревания концов рельсов. В зависимости от того каким способом производится это нагревание

различают три способа сварки: 1) термитный, 2) электрический и 3) газовый.

Первый способ называется термитным потому, что в качестве связующего металла при этом применяется термит, состоящий из алюминия



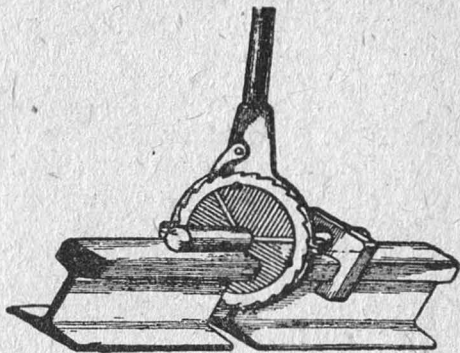
Фиг. 66. Термитная сварка рельсовых стыков.

(около 22% от веса), окалины железа и небольшого количества ферромарганца и ферро-силиция (по 50—60 г на порцию). Для производства же сварки применяется прибор, называемый сжимным аппаратом (фиг. 66).

При этом способе сварки предварительно производится очистка головки (приметка на 0,50 м), подошвы и шейки рельсов (примерно на 0,20 м) в обе стороны от стыка. Для очистки применяются специальные щетки и зубила. Торцы рельсов также очищаются от ржавчины и раковин до получения металлического блеска. Все это производится при помощи особого прибора фрезера (фиг. 67).

По окончании фрезеровки между головками рельса вставля-

ется железная пластинка, которая сжимается подтягиванием свариваемых рельсов при помощи сжимного аппарата. Затем при помощи жаровни с древесным углем производится нагревание концов рельсов. После этой операции на стык одевают набитые формочной землей формы, называемые опоками. Для того, чтобы в дальнейшем расплавленный металл не мог вылиться из формы, все ее щели замазываются огнеупорной глиной.



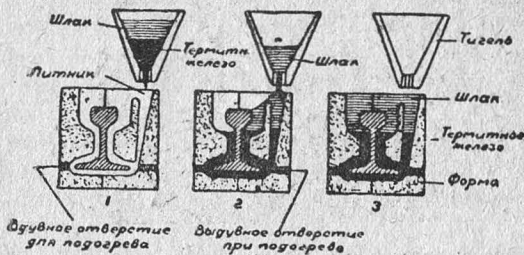
Фиг. 67. Фрезер.

По установлении формы над ней закрепляется конусообразный тигель (фиг. 68), в который насыпается порошок термит, зажигаемый особым капсюлем. Вес этой порции термита составляет 6—8 кг.

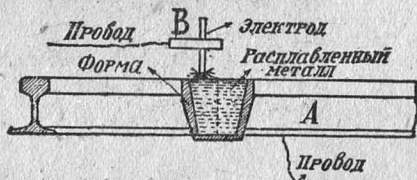
Свойство термита заключается в том, что при нагреве до 1300° он сам начинает гореть и дает химические реакции, в процессе которых чистое железо отделяется от шлака. Расплавленное железо попадает из тигля в форму и как вещество более тяжелое, чем шлак, оседает на дно формы. Здесь оно подвергается воздействию с расплавленными концами рельсов, которые подвергаются сильному сжатию сжимным аппаратом, и таким образом свариваются.

Производить сварку необходимо при температуре не менее $8-10^{\circ}$ выше нуля, т. е. в летнее время. Сварка одного стыка обходится в 10—15 руб., т. е. пока несколько дороже обыкновенного стыка с накладками. Однако при учете стоимости эксплуатации стыка сваренный стык уже сейчас обходится дешевле, причем не столь вредно влияет на бандажки колес, обеспечивает спокойный ход поезду и удлиняет срок службы рельсов.

Помимо комбинированного способа термитной сварки, существует еще два других способа



Фиг. 68. Тигель и форма.



Фиг. 69. Сварка вольтовой дугой.

сварки рельсов термитом, а именно: термитная сварка в притык и термитная сварка путем чистого литья.

Электрическая сварка может быть осуществлена по способам: 1) сварки вольтовой дугой, 2) сварки сопротивлением и 3) сварки по способу расплавления.

Сварка по способу вольтовой дуги основана на свойстве электрического тока при получении короткого замыкания давать электрическую искру с высокой температурой, или так называемую вольтову дугу.

К свариваемым рельсам (фиг. 69) подводятся провода от электрической сварочной машины, причем один провод присоединяется непосредственно к одному рельсу, другой провод подведен к металлическому стержню Б. При приближении этого стержня к рельсу (причем расстояние между ними в 3—5 мм) появляется вольтова дуга с температурой около 4000° . Под влиянием такой температуры стержень и концы рельсов расплавляются. Расплавленный металл собирается в форме, надетой на стык, где он остывает и соединяет свариваемые рельсы.

Газовая сварка заключается в том, что рельс расплавляется под действием пламени сжигаемого газа (ацетилено-кислородная и водородно-кислородная сварка). Расплавленный металл также собирается в форме, где он остывает и объединяет свариваемые рельсы. Этот способ сваривания рельсовых стыков употребляется редко.

Мы уже являемся свидетелями того, что сварка рельсовых стыков выходит из опытной стадии и получает все большее и большее применение в производственной обстановке.

ГЛАВА IX. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1. Краткая историческая справка

Все паровозы, построенные в период времени с 1804 по 1825 гг., работали главным образом на рудниках. Они еще не были настолько усовершенствованы, чтобы их можно было считать прототипом современного паровоза, каковым по праву является паровоз Стефенсона «Локомошен», а еще более «Ракета», построенная в 1829 г. Последняя имела уже в то время все характерные признаки современного паровоза: трубчатый котел, выхлоп пара из цилиндра в конус и т. д. Эта комбинация (выхлоп пара в конус и трубчатый котел) дала паровозу возможность получить необходимое количество пара для работы машины, создавая тягу воздуха, необходимого для сгорания топлива в топке. Блестящие результаты испытания этого паровоза в 1829 г., создавшие Стефенсону громкую известность, оказались достижениями лишь благодаря этой счастливой комбинации трубчатого котла и конуса. После 1829 г. развитие паровозостроения пошло одновременно по двум путям: 1) усовершенствования первоначального типа паровоза в отношении экономичности его работы и 2) по пути увеличения мощности паровоза.

В 1831 г. фирма Бюри поставила на паровоз брусковую раму, имеющую теперь преимущественное распространение в Америке и до некоторой степени в Германии.

В 1832 г. в Америке появился парораспределительный кулисный механизм*, дающий возможность работать паровозу более экономично — с расширением пара в цилиндрах. Двухосная тележка, позволяет безопасно допускать большие скорости движения паровоза.

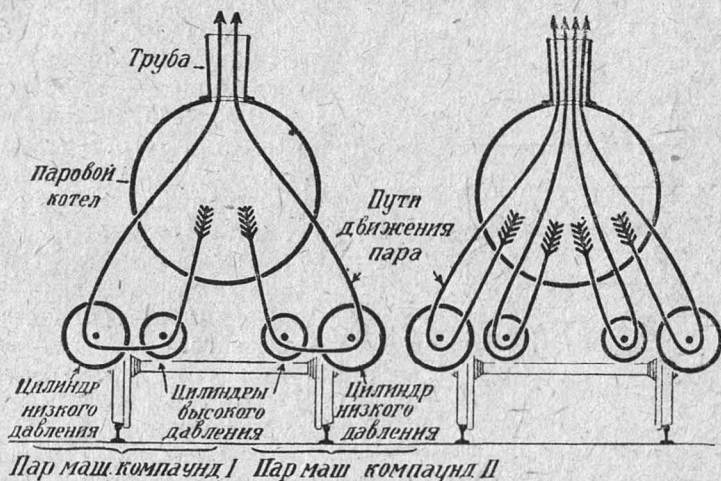
В 1837 г. Роджерс впервые применил противовесы на колесах своего паровоза «Сандуски», что так же, как и двухосная тележка, значительно уменьшило воздействие на путь. Эти два мероприятия позволили значительно повысить скорость движения поездов и ввести в обращение курьерские поезда, впервые появившиеся в Америке. С этой же целью англичанин Гомель доказывал, что большая высота оси котла над головкой рельса (при больших диаметрах колес) не представляет опасности, а наоборот, дает более спокойный ход. Такое расположение котла получило широкое применение в паровозостроении во многих странах, и в частности у нас паровозы С^У (3 300 мм) и М (3 450 мм) имеют самую большую высоту оси котла над головкой рельса.

* В 1832 г. появилось кулисное парораспределение Джемса, 1842 г. кулиса Стефенсона, а в 1844 г. кулиса Вальсхарта, обычно называемая кулисой Гейзингера.

Все усовершенствования паровоза со времени создания Стефенсоном его «Ракеты» и до настоящего времени, имевшие целью увеличить экономичность его работы, делятся на следующие основные группы.

а) Использование расширения пара, т. е. заполнение цилиндра свежим паром, только на определенной части хода поршня. Таким образом работа паровой машины происходит сначала под влиянием давления свежего пара на поршень, а затем, после прекращения впуска его в цилиндр, под влиянием давления расширяющегося пара.

Это неполное заполнение цилиндра свежим паром дает экономию в расходе его, так как, имея наполнение (отсечку) в 50%, получаем 50% экономии в расходе пара. В то же время благодаря работе пара с расширением мы теряем в мощности паровоза только 15%.



Фиг. 71. Действие пара в паровозе компаунд.

б) Применение принципа компаунд (последовательного расширения пара). Этот принцип состоит в следующем: пар из котла поступает сначала в один из цилиндров (обычно правый) паровой машины, откуда, после совершения там своей полезной работы, вместо выхлопа в атмосферу он направляется через соединительную трубу (рессивер) во второй цилиндр*, совершает там свою полезную работу, после чего отводится по соединительной трубе в конус (фиг. 71).

Применение принципа компаунд дает меньший расход пара, потребного для работы машины, так как при этом уменьшается конденсация пара при впуске его в цилиндр.

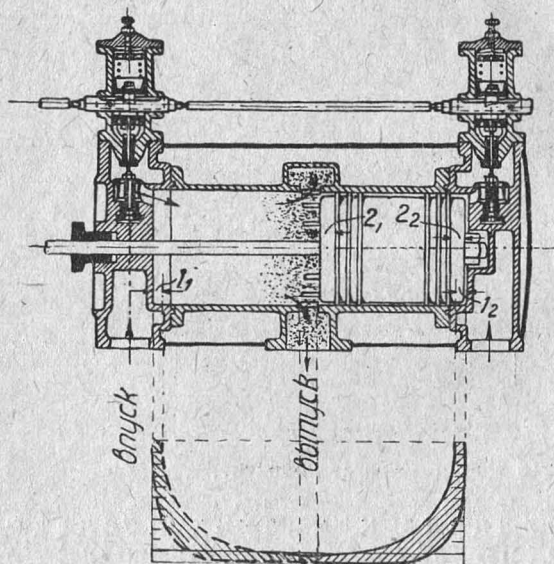
Конденсация, т. е. сжижение пара в воду, происходит от того, что температура стенок цилиндра, во время впуска пара в него на много ниже температуры впускаемого в цилиндр пара. При системе компаунд температура стенок первого цилиндра больше, чем в обычных машинах, потому что отработанный пар выпускается из первого

* Этот цилиндр делается большего диаметра, чем первый, для того, чтобы получить одинаковое давление пара на скалку поршня обоих цилиндров.

цилиндра во второй с температурой более высокой, чем если бы он выпускался непосредственно из первого цилиндра в конус. Поэтому в момент впуска в паровых машинах, работающих по принципу компаунд, происходит меньшая конденсация пара, впускаемого в первый цилиндр; а следовательно, для заполнения потребного объема цилиндра его пойдет меньше, чем в случае простой машины. Второй цилиндр машины компаунд работает в тех же условиях, как и в простых машинах. Экономия от введения принципа компаунд выражается в уменьшении расхода пара на 15% по сравнению с простой машиной.

Второй цилиндр делается большего диаметра, чем первый, для того, чтобы получить одинаковую силу давления пара на поршни обоих цилиндров.

Как известно, эта сила равна площади поршня, умноженной на давление пара, приходящееся на единицу площади поршня. Давление пара на единицу площади поршня во втором цилиндре меньше, чем в первом. Следовательно для того, чтобы получить одинаковые давления на поршни первого и второго цилиндров, нужно иметь диаметр второго поршня (и цилиндра) больше, чем первого.



Фиг. 72. Машина Штумпфа.

этого принципа та же, что и компаунд, т. е. уменьшение конденсации пара, впускаемого в цилиндр (фиг. 72).

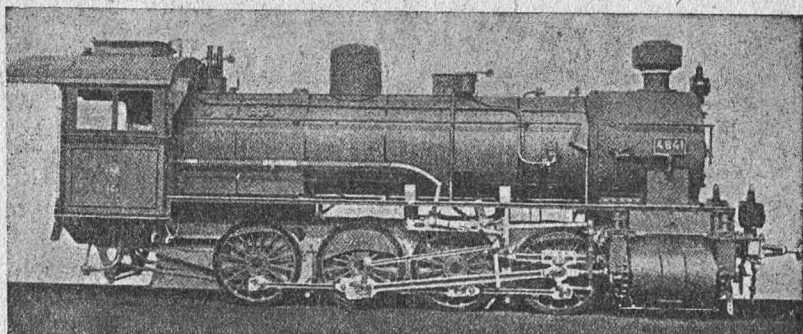
В то время как при принципе компаунд эта цель достигается повышением температуры стенок цилиндра в момент впуска за счет более высокой температуры и давления выпускаемого пара, здесь впуск и выпуск пара производятся через самостоятельные, друг от друга не зависящие каналы. Впуск пара происходит через обыкновенные впускные окна, расположенные у крышек, а выпуск пара—через окна, расположенные посередине цилиндра и закрываемые поршнем в момент впуска свежего пара в цилиндр. Поэтому поршневой диск, а также цилиндр имеют большую длину. На фиг. 73 изображен паровоз с машиной Штумпфа.

Экономия от введения этого принципа даже превышает экономию от применения принципа компаунд.

Органические недостатки, связанные с принципом прямоточной машины,—резкий выхлоп пара в конус при больших отсечках и большой вес поршня, затрудняющий уравнивание движущихся масс,—делают рентабельным применение этого принципа лишь на товарных паровозах.

г) Подогрев питательной воды. Еще в 1855—1860 гг. появилось стремление использовать часть тепла, заключающегося в мятом паре, бесполезно исчезающего при выходе из конуса в атмосферу.

Несмотря на давность этого вопроса, практическое осуществление его удалось выполнить лишь в самое последнее время посредством устройства подогревателей «смешения» и поверхностных. В первых вода смешивается с мятым паром, нагревается им и накачивается в котел насосами. В последних же, т. е. «поверхностных», вода, проходя по трубам, обогреваемым снаружи мятым паром, нагревается, после чего также накачивается в котел насосом.



Фиг. 73. Паровоз с машиной Штумфа.

Экономия топлива при введении водоподогревателей достигает 10—12%, а в подогревателях смешения получается еще экономия воды, доходящая до 15%.

д) Перегрев пара*. Введение высокоперегретого пара для работы паровой машины в корне уничтожает конденсацию впускаемого в цилиндр пара. Принцип же компаунд и прямоточной машины лишь ослабляет ее, не уничтожая до конца.

Такой результат работы перегретого пара получается в силу того, что, несмотря на охлаждение его в момент впуска более холодными стенка-

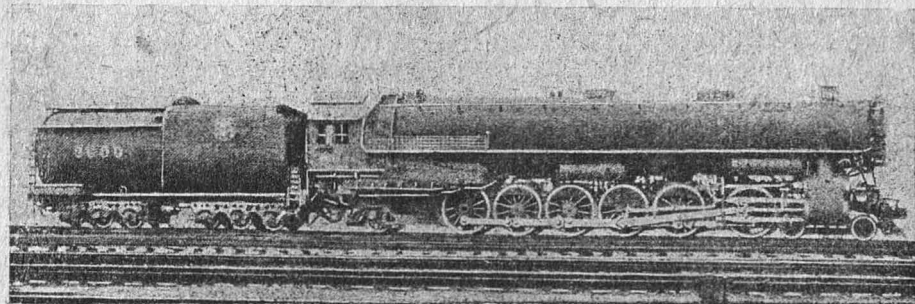
* Перегрев пара, образовавшегося в паровозном котле, происходит в особых трубах, располагаемых между регулятором и золотниковой коробкой цилиндра, нагреваемых окружающими их горячими газами. Эти трубы, по которым проходит пар, называются «элементами перегревателя». Они помещаются внутри жировых труб.

Для превращения воды в пар необходимо затратить некоторое количество тепла.

Если пар образуется в присутствии воды, из которой он превращается в пар, то такой пар, имеющий одинаковую температуру и давление с водой, из которой он образуется, называется «насыщенным».

Если «насыщенный» пар отвести от воды, из которой он образовался и продолжать его нагревать, то он становится «перегретым» и начинает увеличиваться в своем объеме, отчего и дает экономию при работе в машине. Перегретый пар имеет одинаковое давление с водой, из которой он образовался, но более высокую температуру, чем вода.

ми цилиндра, он не охлаждается настолько, чтобы произошла конденсация его в воду. Поэтому при перегретом паре, впускаемом в цилиндр, наблюдается лишь некоторое понижение температуры пара, без перехода его в воду. Влияние холодных стенок цилиндра на увеличение расхода пара машиной будет меньше, так как отдача тепла от пара стенкам происходит в меньшем размере при сухих стенках, чем при стенках, покрытых влагой.

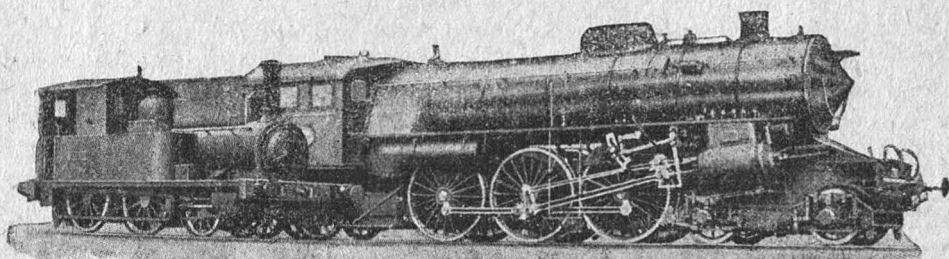


Фиг. 74. Паровоз типа 2—6—1

Это обстоятельство дает в паровозах с высоким перегревом пара экономию топлива, доходящую до 30%.

Одновременно и параллельно с экономическим усовершенствованием работы паровоза шло увеличение мощности паровоза.

«Ракета» Стефенсона имела силу тяги 400 кг, а мощность всего лишь 16 л. с.; теперь же мы имеем в Америке паровозы, дающие силу тяги



Фиг. 75. Сравнение старого и нового паровозов.

около 44 000 кг* и мощность около 3 500—4 000 л. с. Таким образом мощность паровоза со времени «Ракеты» увеличилась примерно в 200 раз. Этот прогресс ясно виден из фиг. 75, на которой изображена фотография старого паровоза постройки 1865 г. и современного курьерского паровоза. Вместо одной сцепной оси в паровозе «Ракета», мы в настоящее время имеем американские паровозы с шестью сцепными осями (в одной раме) и до 12—15 сцепных осей в чудовищных паровозах

* Новый тип паровоза, недавно построенного на заводах американской паровозной компании для Тихоокеанской дороги (фиг. 74).

Маллета типа триплекс. Сцепной вес, т. е. вес паровоза, приходящийся на сцепные оси, с 1,5 *t* у паровоза «Ракета» поднялся до 33 и даже 36 *t* на ось*. Особенно интенсивно возрастала нагрузка на ось после 1890 г. К этому периоду относится появление: французских быстроходных паровозов с четырьмя цилиндрами и коленчатой осью; английских четырехцилиндровых по системе Вебба; американских типа Прери и Пасифик, получивших широкое распространение в Европе, Магдонт и Мунсисистемы. К этому периоду относится и появление сочлененных паровозов системы Гарриг, дающих возможность получать большую мощность паровоза при малых нагрузках на ось. Последнее делает возможным применение подобных паровозов на линиях со слабым верхним строением.

Кроме того, в это же время появился целый ряд вспомогательных изобретений, имеющих целью повышение мощности паровоза. К их числу относятся: бустер—вспомогательная паровая машина, приводящая в действие либо задние поддерживающие оси паровоза, либо тендерные, работающая лишь в трудных местах пути—на подъемах; стокер, механический кочегар, служащий для механической подачи топлива в топку и заменяющий собой работу кочегара; применяется при угольном отоплении на паровозах, имеющих силу тяги больше 20—25 000 кг.

2. Деление паровозов по роду их службы

В зависимости от скорости перевозок различают:

- 1) курьерское или скорое движение для перевозки пассажиров со скоростями больше 80 км/час;
- 2) пассажирское движение для перевозки пассажиров со скоростями до 80 км/час;
- 3) товарное движение для перевозки грузов.

Каждый из этих отдельных видов движения предъявляет к паровозам, при помощи которых оно поддерживается, свои особые требования, которые резко отличают паровозы друг от друга в зависимости от их назначения, так например:

- а) курьерское движение требует большие скорости движения при сравнительно малом весе поезда;
- б) пассажирское движение, наоборот, требует большой вес поезда и средние скорости и, наконец,
- г) товарное движение требует сравнительно малые скорости движения поезда при большом весе его.

Эти требования настолько различны, что для удовлетворения их приходится иметь особые для каждого рода движения паровозы.

В соответствии с этим паровозы делятся на:

- а) курьерские (быстроходные) паровозы для обслуживания поездов весом около 300 *t*, со скоростями больше 80 км/час (до 130 км/час). Эти паровозы имеют большое число ходов поршня в час. Для возможности быстрого разгона при трогании с места они развивают большую силу тяги, превышающую сопротивление поезда, и поэтому обладают котлом с большой поверхностью нагрева и большой площадью колосниковой решетки.

* Нагрузка на ось наших паровозов колеблется от 16 до 20 *t*.

Большая скорость движения вынуждает: ограничивать число сцепных осей двумя и, как максимум, тремя * осями, а также применять впереди паровоза направляющие двухосные тележки, чтобы упростить прохождение паровоза в кривых частях пути, сделать более плавным вход паровоза в кривую и придать устойчивость движению паровоза в прямой части пути.

Диаметр колес этих паровозов никогда не делается меньше 1 600—1 700 мм и достигает 2 000 и даже 2 300 мм в паровозах английской постройки.

б) П а с с а ж и р с к и е паровозы, предназначенные для обслуживания поездов весом от 300 до 700 т со скоростями до 80 км/час, имеют до четырех сцепных осей, при двух—трех поддерживающих осях. Диаметр колес этих паровозов достигает 1 700—1 900 мм.

в) Т о в а р н ы е паровозы для поездов весом до 2 000 т (в Америке даже до 6 000 т), движущихся со скоростью 50—60 км/час. Товарные паровозы имеют малый диаметр колес (от 1 200 до 1 600 мм) и в то же время большой диаметр цилиндров, что позволяет им развить большую силу тяги, необходимую для движения поезда большого веса.

Последнее обстоятельство требует большого сцепного веса, и эти паровозы имеют 5—6 сцепных осей, расположенных в одной раме. Иногда число сцепных осей доходит до 10—12, как мы уже выше видели на примере американских паровозов Маллета.

г) Г о р н ы е паровозы, работающие исключительно на участках с большими подъемами. Эти паровозы имеют малые диаметры колес, большой сцепной вес и малые скорости движения. Поэтому они делаются иногда без направляющих бегунков. Ввиду большого количества кривых, малого радиуса на горных участках паровозы, предназначенные для обслуживания этих участков, имеют такое устройство, которое позволяет им легко вписываться в кривые. Сюда относятся паровозы с четырьмя—шестью сцепными осями в жесткой базе, а также некоторые типы сочлененных** и полусочлененных*** паровозов: Гаррат, Ферли, Маллета и т. д.

д) Маневровые паровозы для составления поездов и обслуживания работы станций. Иногда для этой работы выделяются паровозы из более старых типов товарных паровозов, но в последнее время эти паровозы строятся специально для маневровой работы (напр. в Америке). В таком случае эти паровозы, работающие с малыми скоростями и частыми остановками, имеют небольшой котел по сравнению с товарными поездными паровозами. В остальном эти паровозы почти ничем не отличаются от товарных паровозов.

3. Деление паровозов по их конструктивному устройству

а) П о в н е ш н е м у в и д у . Запасы воды и топлива, необходимые для работы паровоза, могут быть помещены либо на тендере, прицепляемом к паровозу, либо в особых ящиках, находящихся на самом паровозе.

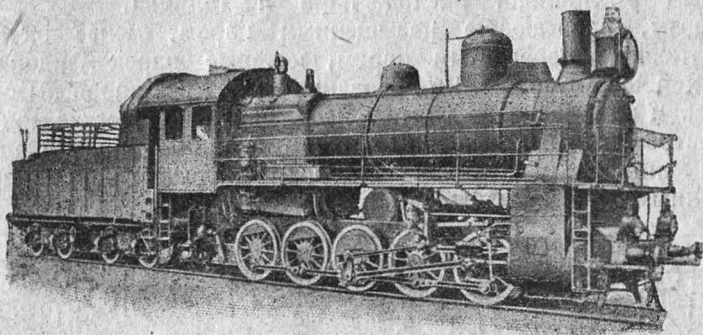
* Во избежание больших инерционных сил.

** Сочлененными паровозами называются паровозы, имеющие две движущие тележки, каждая из которых может самостоятельно поворачиваться в кривой.

*** Полусочлененные паровозы также имеют две тележки, из которых только одна может поворачиваться в кривой.

В первом случае мы будем иметь обыкновенный паровоз с прицепным тендером (фиг. 76), на котором помещаются вода и топливо, а во втором случае—так называемый танк-паровоз (фиг. 77).

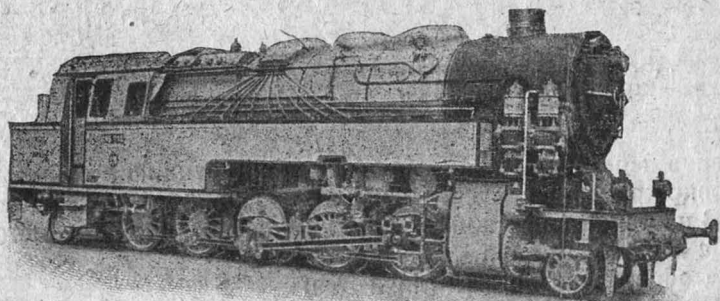
Танк-паровоз не имеет особого тендера, почему запасы воды, в меньшем количестве, по сравнению с тендерными паровозами, располагаются на самом паровозе в особых баках.



Фиг. 76. Паровоз с тендером.

Водяные баки в танк-паровозах располагают либо по бокам котла, либо под котлом—между рам, либо над котлом и частично в будке машиниста. Запасы топлива располагаются большею частью в будке машиниста.

Танк-паровозы употребляют как в пассажирском, так и в товарном движении там, где требуется частая перемена направления движения—в пригородном и маневровом, однако в последнее время появились танк-



Фиг. 77. Танк-паровоз.

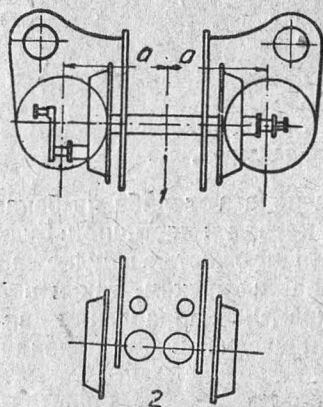
паровозы и в товарном движении. Отсутствие тендера позволяет машинисту на танк-паровозе одинаково хорошо видеть путь как при переднем, так и при заднем ходе, чего не может быть у паровозов с прицепным тендером.

Кроме пригородного и маневрового движения танк-паровозы употребляются на горных участках и на подъездных путях с небольшой длиной.

б) По свойству и способу работы пара в паровозной машине. Мы уже видели, что начиная с 1900 г., благодаря

изобретению В. Шмидтом перегревателя, свойства пара, применяемого для работы паровой машины в паровозе, снабженном перегревателем, резко изменились, и работа машины стала производиться при помощи перегретого пара. Работа машин паровозов, не снабженных пароперегревателем, производится насыщенным паром, который превращается в воду при малейшем понижении температуры его в момент впуска в цилиндр, тем самым увеличивая расход пара и топлива.

Паровозы, работающие насыщенным паром, менее экономичны, чем работающие перегретым паром, которые зарекомендовали себя с самой хорошей стороны. За последние 25 лет все паровозы строились с перегревом пара, если не считать небольшого количества малых паровозов, построенных с насыщенным паром главным образом для второстепенных линий и узкоколейных дорог. Число строящихся паровозов с насыщенным паром уменьшается с каждым годом.



Фиг. 78. Паровоз с наружными и внутренними цилиндрами.



Фиг. 79-а. Трехцилиндровые паровозы.

Введение перегрева создало большую конкуренцию принципу компаунд, широко применявшемуся с 1870 до 1900 г. в паровозах с насыщенным паром. В настоящее время иногда принцип компаунд применяется в соединении с перегревом пара.

Таким образом паровозы отличаются:

1) по качеству рабочего пара: а) паровозы, работающие насыщенным паром; б) паровозы, работающие перегретым паром;

2) по принципу работы пара в машине: а) паровозы с машиной компаунд с последовательным расширением пара в двух цилиндрах, б) паровозы с машиной простого действия, в которых каждый цилиндр работает свежим паром;

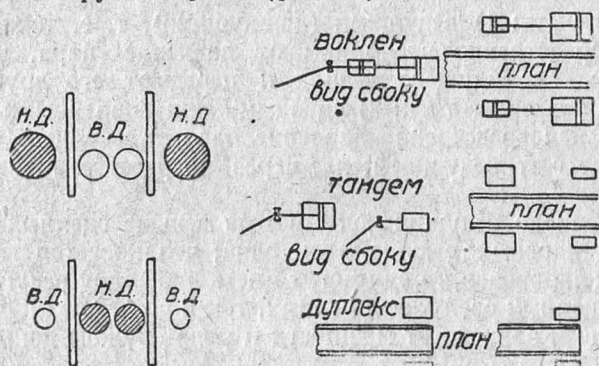
в) по числу цилиндров и расположению их относительно рам. 1. Цилиндры могут быть расположены как с наружной стороны колес, так и с внутренней, соответственно чему будем иметь (фиг. 78): а) паровозы с наружными цилиндрами и б) паровозы с внутренними цилиндрами.

2. По числу цилиндров паровозы делятся на: а) двухцилиндровые, оба цилиндра располагаются либо снаружи рам, либо внутри; б) трехцили-

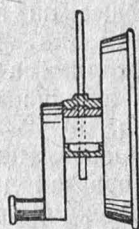
дровые, один из цилиндров располагается между рам (фиг. 79). По принципу действия трехцилиндровые паровозы могут быть либо простого действия, либо компаунд.

В последних имеются 1 цилиндр высокого давления и 2 низкого; или 2 цилиндра высокого и 1 низкого; в) четырехцилиндровые паровозы имеют четыре цилиндра, расположенные по два либо снаружи и внутри рам, либо только снаружи друг за другом («тандем» и «дуплекс»). Четырехцилиндровые паровозы бывают простого действия у компаунд. Трех- и четырехцилиндровые паровозы строятся с коленчатыми осями. Но иногда четырехцилиндровые паровозы не имеют коленчатых осей. В этом случае цилиндры располагаются снаружи рам друг за другом (системы тандем), либо один над другим (система Виллена).

г) По расположению рам. Рамы существующих паровозов располагаются либо внутри колес—внутренние рамы, либо снаружи колес—наружные рамы (фиг. 80).



Фиг. 79-б. Четырехцилиндровые паровозы.



Фиг. 80. Паровоз с наружными рамами.

При внутренних рамах рамные листы помещены между плоскостями правых и левых колес паровоза.

При наружных рамах рамные листы находятся с внешней стороны плоскостей колес.

Оба расположения имеют свои достоинства и недостатки. Первое хорошо тем, что можно получить жесткое соединение рам в поперечном направлении. Однако оно неудобно для хорошего размещения топки и зольника и в смысле доступа к рессорам. Второе расположение удобно для размещения зольника топки и рессор, но не дает гарантии жесткого поперечного соединения рамных листов.

Не останавливаясь на делении паровозов по роду топлива, применяемого для сжигания в топке, отметим лишь, что в качестве такого служат как жидкое, так и твердое: нефть, каменный уголь, дрова и торф. Любой паровоз может быть переделан под желаемый сорт топлива, с небольшими переделками. Однако хорошо работать на определенном сорте топлива будет лишь тот паровоз, у которого размеры поверхности нагрева котла, площади колосниковой решетки, объем и форма топочной камеры соответствуют данному сорту топлива.

Подтверждение этому мы видим на примере паровоза серии М, который неудовлетворительно работает на топливе, имеющем большое содержание летучих.

4. Колесная характеристика паровоза

Мы видели, что требования, предъявляемые тем или другим видом перевозки, вынуждают строить для каждого из них свой особый паровоз, отличающийся от паровозов, применяемых в других видах движения. Главным образом отличия эти состоят в размерах котла, количестве осей, участвующих в преобразовании давления пара на поршень в силу тяги и соединенных между собой сцепными дышлами, а также наличием поддерживающих и направляющих бегунковых осей.

Следовательно, в каждом паровозе могут быть эти три вида осей или колес, число которых меняется в зависимости от мощности паровоза.

Оси паровозов различают по их назначению: сцепные оси, такие, колеса которых вращаются от давления пара и этим самым приводят паровоз в движение.

Сцепные оси могут быть: 1) ведущими (движущими), т. е. такими, колеса которых непосредственно воспринимают давление пара, действующее на поршень от ведущего дышла и передают его другим колесам для образования силы тяги; 2) сцепными или спаренными *, не воспринимающими непосредственно давление пара от ведущего шатуна, а получающими его от ведущих колес через посредство сцепных дышел.

В любом паровозе число ведущих колес всегда меньше сцепных **. В паровозах двухцилиндровых ведущая ось одна; что касается трех- и четырехцилиндровых паровозов, то они могут иметь либо одну ведущую ось, либо две. Число сцепных осей как в первых, так и во вторых колеблется от двух и больше и зависит от мощности и рода службы данного паровоза.

Вес паровоза, приходящийся на сцепные и ведущие оси, есть сцепной вес; от величины его зависит величина развиваемой данным паровозом силы тяги.

Для улучшения прохождения кривых частей пути и для восприятия излишнего веса паровоза, не уменьшающегося на сцепных осях, впереди и сзади сцепных осей ставят добавочные оси.

Если эти добавочные оси находятся впереди сцепных осей, они носят название бегунковых осей, если сзади—поддерживающих.

Как бегунковые, так и поддерживающие оси могут иметь буксы в той же главной раме, что и сцепные оси, или же они могут иметь свою собственную раму, соединяемую с главной рамой при помощи шкворня, либо шаровой опоры. В первом случае эти оси будут просто бегунки или поддерживающие, а во втором случае они образуют тележку, которая может быть одноосной или двухосной в зависимости от числа осей, находящихся в тележечной раме.

Указание числа сцепных, бегунковых и поддерживающих осей или колес характеризует колесное устройство данного паровоза; иначе говоря—определяет его осевую или колесную характеристику.

* Сцепные оси (колеса) называются спаренными вследствие соединения (спаривания) их с ведущей осью сцепными дышлами (спарниками), благодаря чему сцепные оси вращаются вместе с ведущей осью

** В паровозе с одной осью число ведущих осей (колес) равно числу сцепных.

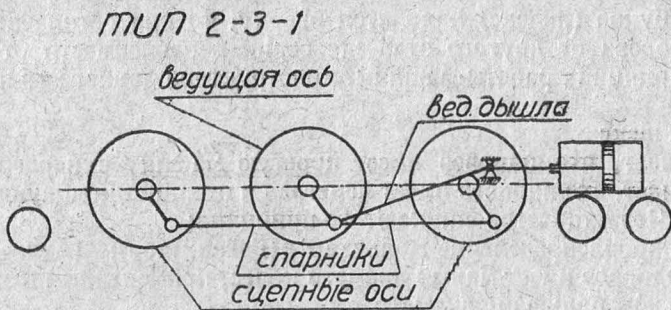
5. Принятые обозначения

У нас принято обозначать осевую характеристику цифрами, начиная от головы паровоза.

Первая цифра показывает число бегунковых осей (впереди паровоза), вторая цифра—число сцепных осей и третья—число поддерживающих осей. Каждая из цифр отделяется друг от друга чертой.

Паровоз, изображенный на фиг. 81, имеет впереди два бегунка, соединенных в одной тележке, три сцепных оси и одну поддерживающую. Следовательно, колесная характеристика или тип этого паровоза будет 2—3—1.

Кроме этого цифрового обозначения каждый тип имеет свое название, сохранившееся от американского названия типа паровоза.



Фиг. 81. Схема колесной характеристики.

Так, вышеуказанный паровоз типа

2—3—1	носит	название	„Пасифик“,
1—3—0	„	„	„Могул“,
1—3—1	„	„	„Прери“,
2—4—0	„	„	„Мастадонт“,
1—4—1	„	„	„Микадо“,
2—4—1	„	„	„Моунтень“,
1—5—0	„	„	„Декапод“,
1—5—1	„	„	„Санта-Фэ“

и так далее.

Если паровоз имеет две движущие тележки, то число и род осей указываются отдельно для каждой тележки и соединяются знаком + (плюс).

Наш паровоз Маллета обозначают 0—3—0 + 0—3—0; из этого следует, что он имеет две тележки. В каждой тележке по три сцепных оси. Первый ноль показывает, что паровоз не имеет бегунковых осей, второй ноль—отсутствие поддерживающих осей. Сказанное относится и ко второй тележке.

Кроме обозначения типа паровоза, характеризующего его колесное устройство, у нас употребляется еще обозначение паровозов буквами. Определенная буква должна соответствовать только одинаковым по устройству и мощности паровозам. Это сделано для того, чтобы отличить друг от друга одинаковые по колесному устройству, но разные по мощности паровозы.

Например, паровозов типа 2—3—0 у нас на сети имеется несколько вариантов: слабой мощности, средней и большой. Для того, чтобы не путать их друг с другом, ввели буквенное обозначение или серии. На этом основании паровозы типа 2—3—0 у нас имеются следующих серий:

2—3—0	серии	А—б.	Владикавказской и Рязано-Уральской ж. д.
2—3—0	„	Б-	Брянского завода;
2—3 0	„	Г—б	Владикавказской железной дороги;
2—3—0	„	Ж—	Московско-Казанской железной дороги;
2—3—0	„	З—	„ „ „ „
2—3—0	„	К и КУ	—Коломенского завода;

Кроме указания серии большой буквой иногда у той или другой серии внизу или вверху основной буквы справа добавляется малая буква. Если эта буква (индекс) находится вверху, то она обозначает отличие этого паровоза от другого этой же серии в зависимости от различия деталей, принципа работы машины, конструктора данного типа паровоза и т. д.

Так, индекс

п—обозначает, что паровоз имеет простую машину с перегревом;
ч—обозначает, что паровоз имеет перегрев и принцип компаунд (по фамилии пр.ф. Чечотта—сторонника этого принципа;

в, В—парораспределение Вальсхарта (Гейзингера); в (малое)—обозначает, что паровоз имеет малый диаметр колес, примененный в этой серии, В (большое)—большой диаметр;

д, Д—обозначает, что паровоз имеет кулису Джоя; разница в буквах (то же, что и выше) относится к диаметру колес данной серии;

у, У—обозначает, что эти паровозы усилены по сравнению с другими паровозами данной серии, т. е. они имеют усиленный котел и машину;

Буква внизу с правой стороны от обозначения серии указывает завод, построивший данный паровоз;

б—Брянский;

в—Вяткинский;

к—Коломенский;

л—Луганский-

м—Мальцевский;

н—Невский;

п—Путиловский;

с—Сарматовский;

х—Харьковский;

г—Геншель;

з—Зигль;

и—Кожериль;

р—Кесслер;

ф—Кайль;

ц—Шварцкопф;

ш—Шнейдер;

я—Бэрзиг,

а—Американский;

е—Английский;

ж—железнодорожные мастерские.

Согласно этим условным обозначениям паровоз типа 0—3—0+0—3—0 серии Θ^4 имеет две тележки, в каждой из которых по три сцепных оси.

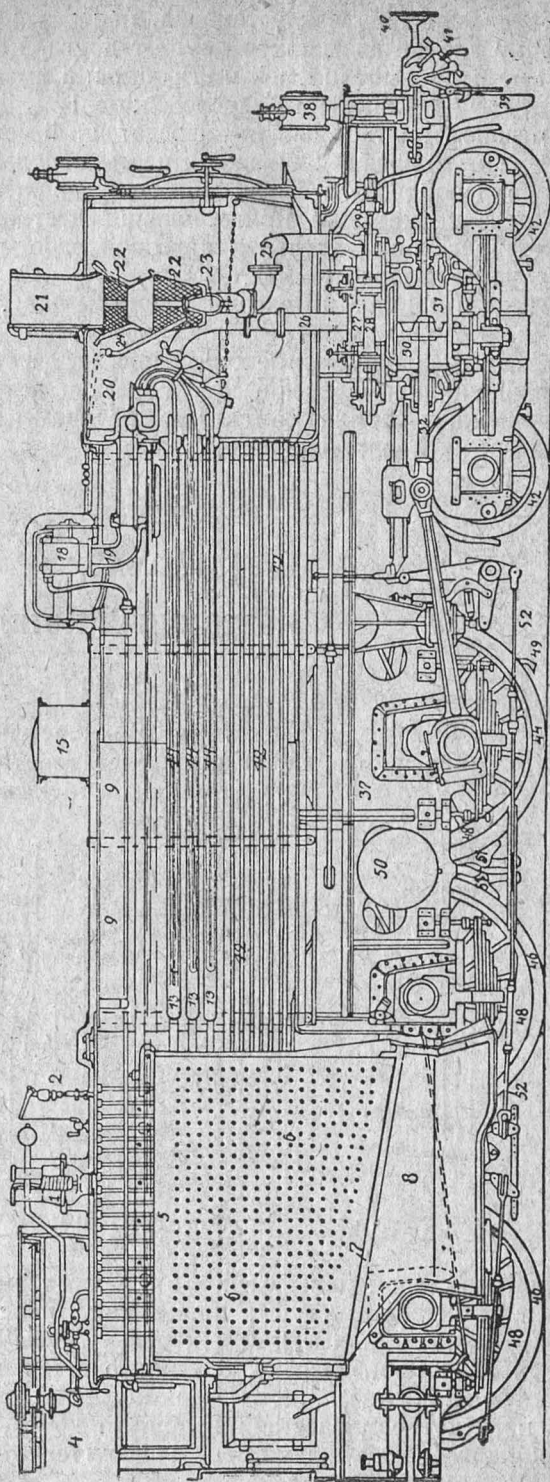
Буква ч указывает, что паровоз с перегревом и имеет машину, работающую по принципу компаунд.

Буква б—обозначает, что паровоз постройки Брянского завода.

6. Краткое описание устройства паровоза

Несмотря на больше чем столетнее существование со времени появления первых паровозов, современный паровоз сохранил все черты, которые были вложены в него первыми его изобретателями: Тревитиком, Гедлеем, Стефенсоном и др.

Современный паровоз отличается от своего предшественника лишь размерами (величиной и мощностью). Он как бы вырос, превратившись в гиганта, могущего вести поезд весом до 6 000—10 000 т и развивающего мощность около 4 000 л. с. Так как паровоз сам вырабатывает потребляемое им рабочее тепло—пар, то следовательно он представляет собой подвижную силовую установку, употребляемую для перевозки грузов или пассажиров в специальных поездах-вагонах.



Фиг. 82. Паровоз.

Как всякая силовая установка, паровоз состоит из трех отдельных частей, резко отличающихся друг от друга, как по своему устройству, так и по роду выполняемой ими работы, а именно, в нем имеется:

- 1) источник энергии—паровой котел;
- 2) трансформатор энергии—передаточный механизм—паровая машина;
- 3) рабочий орган—экипажная часть, использующая энергию силовой установки паровоза и сообщающая ему движение.

Котел служит для приготовления достаточного количества пара, необходимого для получения полезной работы в виде перевозки груза на то или иное расстояние.

Паровая машина использует давление пара, приготовленного для нее котлом. В паровой машине превращается это давление в силу, заставляющую вращаться паровозные колеса посредством передаточного механизма: цилиндра, поршня, штока, крейцкопфа и ведущего и сцепных дышел.

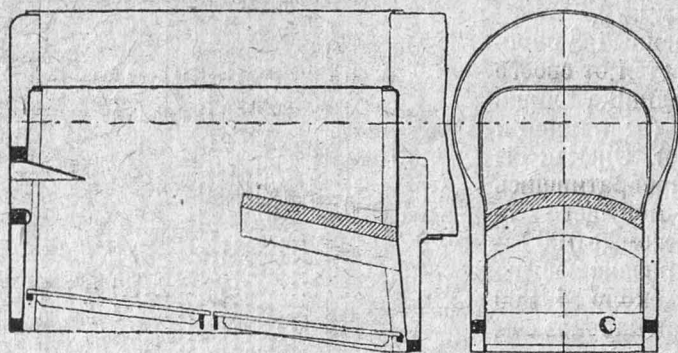
Экипажная часть служит опорой (фундаментом) для остальных частей паровоза, располагающихся над ней.

ГЛАВА X

ПАРОВОЗНЫЙ КОТЕЛ

7. Топка

Паровозный котел состоит из трех частей: топки, цилиндрической части и дымовой коробки. Топка представляет собой железную или медную коробку, в которой сжигается на колосниковой решетке топливо.



Фиг. 83. Топка.

В одной из стенок топки сделаны отверстия, в которые вставлены дымогарные и жаровые трубы, проходящие через цилиндрическую часть котла. Как дымогарные, так и жаровые трубы окружены водой.

Топочная коробка (фиг. 83) заключается в другую коробку (всегда делаемую из железа). Листы обеих коробок скреплены связями и, находясь на некотором расстоянии друг от друга, образуют пространство, заполняемое водой, из которой образуется пар при нагревании воды.

Тепло, необходимое для нагревания воды, получается в топке от сжигания топлива и передается через стенки и потолок топки окружающей их воде. Для безопасной работы паровозного котла, во избежание прогорания стенок и потолка топки, они должны быть постоянно окружены водой, отнимающей от стенок тепло и тем самым предохраняющей их от быстрого перегорания. Если стенки топки случайно окажутся не покрытыми водой, то материал стенок от действия высокой температуры топки быстро накаляется, сгорает, теряет свои упругие свойства, легко разрывается, и происходит взрыв котла со всеми тяжелыми последствиями в виде человеческих жертв, перерыва движения, порчи подвижного состава и т. д.

Поэтому понятным становится обязательное требование — не упускать воду в котле ниже наинизшего уровня, превышающего потолок топки на 100 мм. При этом уровне воды в котле все части котла, подверженные действию высокой температуры, оказываются покрытыми водой, почему они представляют меньше опасности для взрыва котла. Причина сильного разрушающего действия взрыва котла заключается в том, что давлению пара, заключенного в котел, соответствует определенный объем и температура пара; при этих условиях происходит нормальное парообразование. Если увеличить объем, занимаемый паром в котле, то давление пара понизится, температура же воды останется прежней, а так как более низкому давлению соответствует более низкая температура парообразования, то при увеличении объема произойдет «усиленное» парообразование.

В случае разрыва стенок котла объем, предоставляемый для пара, быстро увеличивается и происходит «мгновенное» парообразование нагретой до известной температуры воды. Огромное количество образующегося пара, не успевая уходить через предохранительные клапаны и трещину, разрывает весь котел, производя те ужасные последствия, о которых было сказано выше.

Во избежание этих последствий необходимо строго соблюдать, чтобы: во-первых, вода в котле никогда не опускалась ниже наинизшего допускаемого уровня, указываемого специальным указателем; во-вторых, следить за исправным состоянием предохранительных клапанов, манометра и водомерного стекла, постоянно наблюдая за исправностью работы их; и в-третьих, следить за тщательностью промывки котла.

В зидней стенке топки против переднего трубчатого листа делают отверстие (шуровку) для забрасывания (шурования) в топку топлива.

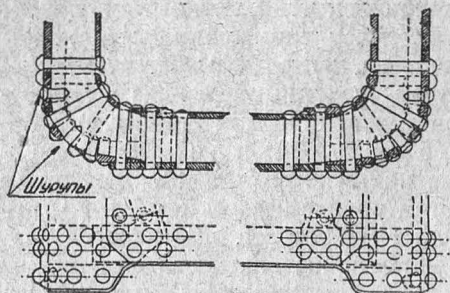
Наружная коробка (кожух топки), окружающая топочную коробку (топку), по форме похожа на нее, только большего размера.

В нижней части кожух топки и топка соединяются при помощи обвязочного, грязевого кольца, иногда называемого топочной рамой. Через кольцо проходит два ряда заклепок, соединяющих между собой кожух топки и топку. Соединение топки и кожуха внизу производится посредством заклепок. Только в углах вследствие невозможности размещения достаточного количества заклепок соединение листов и топочной рамы производится при помощи шурупов и заклепок (фиг. 84).

К топочной раме на специальных шпильках укрепляются колосниковые балки, поддерживающие колосники и образующие колосниковую решетку с отверстиями, подводящими воздух, необходимый для

сгорания топлива, забрасываемого на колосниковую решетку через шуровку.

Колосниковая решетка для легкости очистки от шлака и золы иногда делается опрокидывающейся, т. е. подвижной, и приводится в движение системой рычагов из будки или с площадки (фиг. 85).



Фиг. 84. Угол топки.

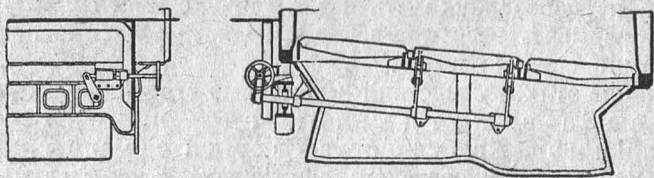
Боковые стенки огневого кожуха и кожуха топки скрепляются при помощи связей, которые ввинчиваются в листы огневого кожуха и топки и затем расклепываются. Связи изготовляются из мягкого материала: вязкого железа или красной меди.

Мягкость (вязкость) материала, употребляемого для связей, необходима ввиду особенностей работы связей.

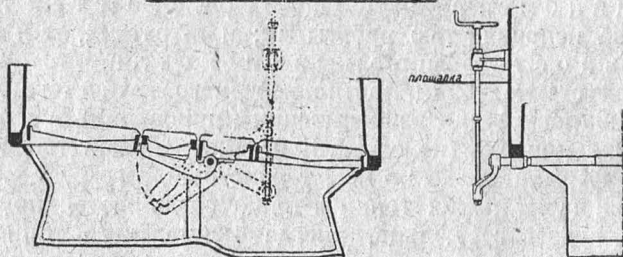
Огневая коробка, соприкасаясь непосредственно с огнем, имеет более высокую температуру, чем кожух топки, соприкасающийся с водой.

Поэтому огневая коробка расширяется больше кожуха и сдвигаясь заставляет изгибаться связь, как показано на фиг. 86-а; повторное действие такого изгиба при промывках котла и переменных режимах работы

*на всех паровозах серии Э.
на перв. 15 паровозах серии Э.*



*на всех паровозах серии Э.
на 485 паровозах серии Э.*



Фиг. 85. Колосники.

вызывает надрыв связи и затем ее обрыв. Если произойдет обрыв в одном месте нескольких связей, то происходит выпучивание стенок, а затем и разрыв их, что также опасно для работы паровозного котла.

Для возможности быстрого обнаружения оборванной или надорванной связи с обоих концов ее сверлят контрольные каналы диаметром

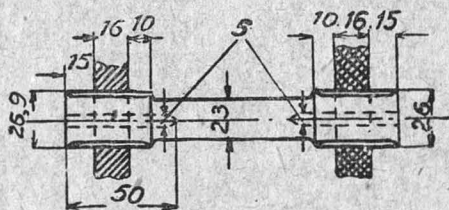
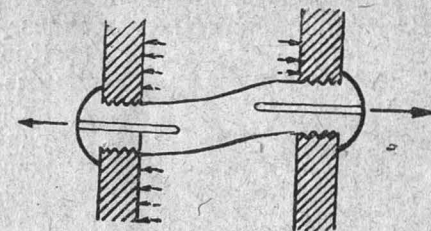
5 мм. При постановке связи на место канал выходит за пределы стенки или кожуха топки. Поэтому при надрыве связи в канал через трещину попадает вода, которая, превращаясь в пар, будет выходить из канала, и при внимательном отношении машиниста или помощника обрванная связь будет замечена во время. Обычно связи ставятся друг от друга на расстоянии около 100 мм.

Листы огневой коробки и кожуха склепываются друг с другом швом в накладку. Отдельные листы, составляющие топку и кожух, называются:

1) боковые листы огневой коробки—шинельными листами огневой коробки или соответственно шинельными листами кожуха;

2) задний лист огневой коробки и кожуха—лобовым листом огневой коробки или лобовым листом кожуха;

3) передний лист огневой коробки—задней трубчатой решеткой в отличие от передней трубчатой решетки в дымовой камере;



Фиг. 86-а и 86-б. Боковая топочная связь и ее изгиб во время работы.

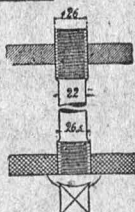
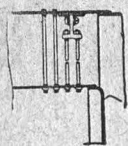
4) потолочный лист—потолком огневой коробки или соответственно потолком кожуха.

Для прочности топки боковые стенки (шинельные листы) и лобовой лист огневой коробки и кожуха скреплены друг с другом связями; потолок огневой коробки с кожухом укрепляются неподвижными анкерными болтами.

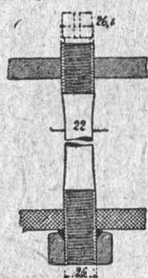
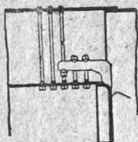
Анкерные болты так же, как и связи, делаются с нарезкой, которой они ввинчиваются в потолок; снизу они имеют головку с квадратом для завинчивания, а сверху расклепываются после постановки, или же имеют вверху головку, а снизу гайки с медной шайбой между гайкой и телом потолка (фиг. 87).

При больших размерах огневой коробки расширение ее настолько велико, что простые связи работают неудовлетворительно и приходится переходить к постановке «подвижных» связей Тэта, верхняя головка которых обточена в виде шара и находится во втулке с шаровой поверхностью. Последняя позволяет связи

на всех паровозах серии Э¹



на всех паровозах серии Э²

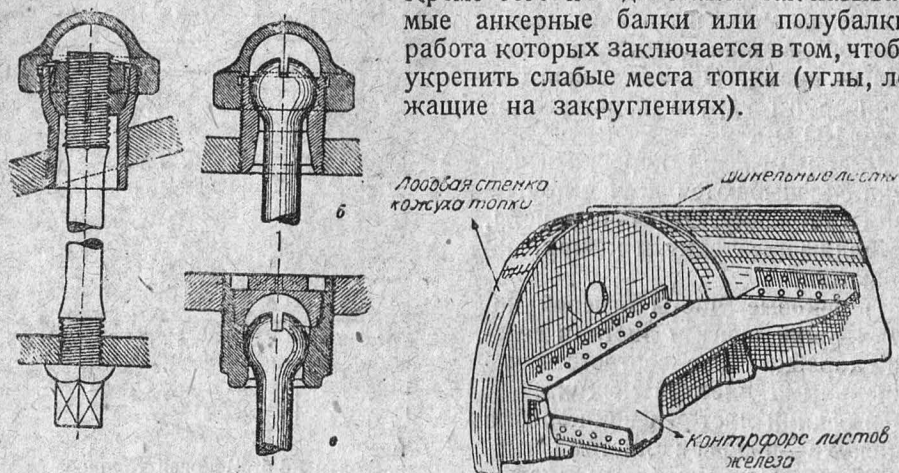


Фиг. 87. Анкерные связи (неподв. и подв.).

неудовлетворительно и приходится переходить к постановке «подвижных» связей Тэта, верхняя головка которых обточена в виде шара и находится во втулке с шаровой поверхностью. Последняя позволяет связи

легко поворачиваться без изгиба стержня и последующего обрыва его (фиг. 88).

Для придания большей эластичности потолку огневой коробки и кожуха, крайние ряды анкерных связей делают подвижными—шарнирными. Кроме того иногда ставят так называемые анкерные балки или полубалки, работа которых заключается в том, чтобы укрепить слабые места топки (углы, лежащие на закруглениях).



Фиг. 88-а, 88-б и 88-в. Связи Тэта.

[Фиг. 89. Контрфорс.

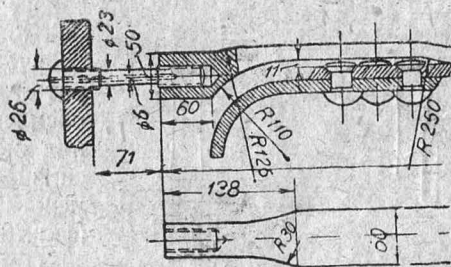
Кроме того для скрепления листов кожуха, находящихся над потолком, имеются поперечные связи, соединяющие боковые стенки кожуха, а также продольные связи, соединяющие лобовой лист кожуха и скобы, укрепленные на цилиндрической части котла.

Этой же цели служат и контрфорсы — листы, перпендикулярно прикрепленные уголками к укрепляемому листу (фиг. 89).

Задняя трубчатая решетка укрепляется дымогарными и жаровыми трубами, ввальцованными задним концом в заднюю решетку, а передним в переднюю трубчатую решетку, а так же лапчатыми связями, ввинчиваемыми в заднюю трубчатую решетку и в специальную скобу или лапу, прикрепленную к цилиндрической части котла (фиг. 90).



Фиг. 90-а.

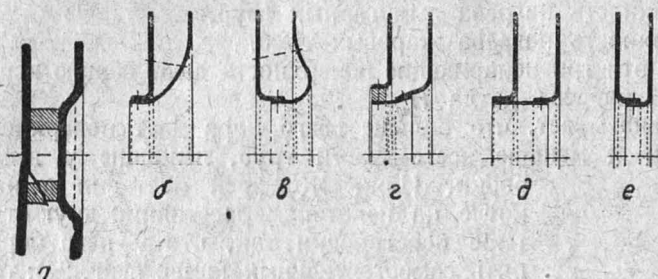


Фиг. 90-б. Лапчатые связи.

Соединение листов огневой коробки и кожуха у шуровки производится либо посредством шуровочного кольца, вставляемого между двумя листами и склепываемого с ними (фиг. 91), либо непосредственным скле-

пыванием листов друг с другом, по одному из способов, показанных на фиг. 91.

Для очистки котла от накипи и промывки служат люки и винтовые пробки, ввинчиваемые в отверстия, имеющиеся на углах топки вверх, посередине и внизу. В настоящее время такие пробки иногда ставят и посередине стенок при большой длине их (например, у нас на паровозе серии Ж).



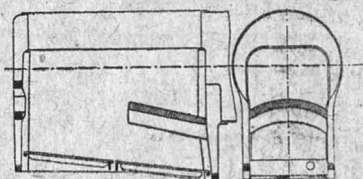
Фиг. 91. Типы шуровочных отверстий.

Снизу к топке на особых шпильках подвешивается зольник, закрепленный гайками или чеками. Зольник имеет своим назначением собирать проваливающееся сквозь колосниковую решетку горячее топливо и золу.

В зольнике имеются дверки, могущие открываться при помощи привода из будки машиниста.

Для лучшего использования топлива и поддержания более равномерной температуры в топке иногда ставят кирпичные своды, которые удлиняют путь пламени, идущего от слоя горячего топлива в дымогарные и жаровые трубы (фиг. 92).

На этом искусственно удлиненном пути несгоревшие частицы топлива и летучих веществ, заключающихся в газах сгорания, догорают и тем самым повышают температуру топки.



Фиг. 92. Свод.

8. Цилиндрическая часть котла

Цилиндрическая часть котла представляет собой ряд барабанов, склепываемых друг с другом по одному из способов, указанных на фиг. 93. Эта часть котла служит для помещения в ней дымогарных и жаровых труб и окружающей их воды.

Диаметр цилиндрической части котла и длина его непосредственно зависят от мощности паровоза.

Длина цилиндрической части, считающаяся между трубчатыми решетками, равна длине дымогарных труб и в среднем колеблется от 4 до 5,5 м, достигая в новейших многоосных паровозах 6,8 м, а в американских паровозах — даже 8,5 м. Диаметр котлов цилиндрической части в американских паровозах достигает 2 400—2 500 мм и настолько заполняет собой габарит, что песочницу приходится ставить сбоку котла.

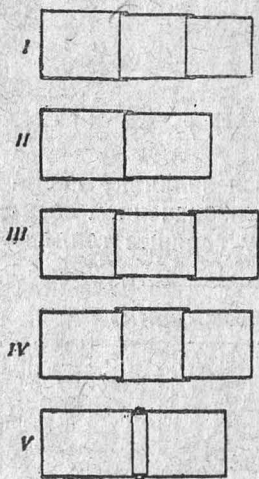
Поверхности частей паровозного котла, соприкасающиеся с одной стороны с водой, с другой стороны—с пламенем или газами, имеющими высокую температуру, участвуют в передаче тепла покрывающей их воде, а следовательно, в образовании пара и носят название испаряющих поверхностей нагрева.

К числу испаряющих поверхностей относятся:

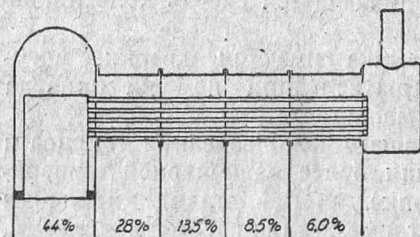
- а) поверхность нагрева топки,
- б) поверхность нагрева дымогарных труб,
- в) поверхность нагрева жаровых труб.

В сумме эти три испаряющие поверхности дают общую испаряющую поверхность нагрева котла H_w .

Опыт показывает, что больше всего пара дает поверхность огневой коробки и меньше всего—части труб, лежащие у дымовой коробки. Инж. Жюффрей поставил в паровозном котле на некотором расстоянии друг от друга четыре перегородки так, что у него образовались пять самостоятельных камер (фиг. 94): топка и четыре отдельных камеры в цилиндрической части котла; после этого паровоз был растоплен, и получившийся пар в каждой камере измерялся отдельно. Оказалось (фиг. 94), что топка дала



Фиг. 93. Соединение барабанов.



Фиг. 94. Опыт Жоффрея.

44%, т. е. почти половину всего количества пара, а каждый из барабанов—28; 13,5; 8,5 и 6%, как показано на чертеже.

Количество образовавшегося в котле пара B_k зависит как от поверхности нагрева котла (испаряющей), так и от форсировки котла. Под последней понимают среднее количество пара, получаемого с одного квадратного метра поверхности нагрева в течение одного часа. Поэтому количество образующегося в котле пара равняется произведению испаряющей поверхности нагрева котла H_w , на форсировку котла z , т. е.:

$$B_k = z H_w.$$

Величина форсировки котла зависит от рода топлива, соотношения испаряющей поверхности нагрева котла и площади колосниковой решетки, режима работы паровоза и т. д.

Если, например, форсировка котла паровоза серии Э равна

$$z = 50 \text{ м}^2/\text{час},$$

то при испаряющей поверхности нагрева котла $H_w = 194 \text{ м}^2$ в котле образуется

$$B_k = 50 \cdot 194 = 9700 \text{ кг/час}.$$

Таким образом часть труб, лежащая у дымовой коробки, дает очень мало пара, поэтому чрезмерно увеличивать длину труб невыгодно, гораздо лучше иметь малую длину труб между решетками и большее число труб, так как в этом случае поверхности труб будут лежать ближе к топке и, следовательно, дадут больше пара, чем длинные трубы, имеющие ту же поверхность нагрева.

Кроме того количество пара, приготовляемого котлом, также зависит от расстояния между дымогарными трубами. Если это расстояние будет больше, то пузырьки образовавшегося пара будут легко проходить вверх между трубами и парообразование будет хорошее, если же это расстояние будет мало, то проход пузырьков будет затруднен, они будут скапливаться у труб, в результате чего будет плохое парообразование котла.

Совершенно понятно, что более мощный паровоз, расходуя большее количество пара, должен иметь и большую поверхность нагрева, которую можно получить либо за счет увеличения длины котла, либо за счет увеличения числа труб при малой длине между решетками, либо за счет уменьшения объема топки.

Трубы, помещенные в цилиндрической части котла, служат также для прохода газов сгорания из топки в дымовую коробку. Если паровоз работает насыщенным паром (серии ОВ, НВ, Щ и т. д.), то все трубы называются дымогарными и имеют одинаковый диаметр (обычно 46 мм—внутренний и 51 мм—наружный), достаточный для прохода газов сгорания. В случае, если паровоз имеет перегрев пара, то часть труб делается большего диаметра (125 мм внутренний и 133 мм наружный) для возможности помещения в них перегревателей элементов (труб диаметром 27/34 мм), в которых пар, идя из котла к машине, перегревается. Эти трубы, в которых помещаются перегревательные элементы, носят название «жаровых». Таким образом, в паровозах с насыщенным паром бывают только дымогарные трубы; в паровозах с перегревом пара часть труб—дымогарных, а часть—жаровых. Число жаровых труб в наших перегреваемых паровозах колеблется от 24 до 90. Дымогарные и жаровые трубы изготовляются из мягкого сварочного или литого железа и имеют форму, показанную на фиг. 95.

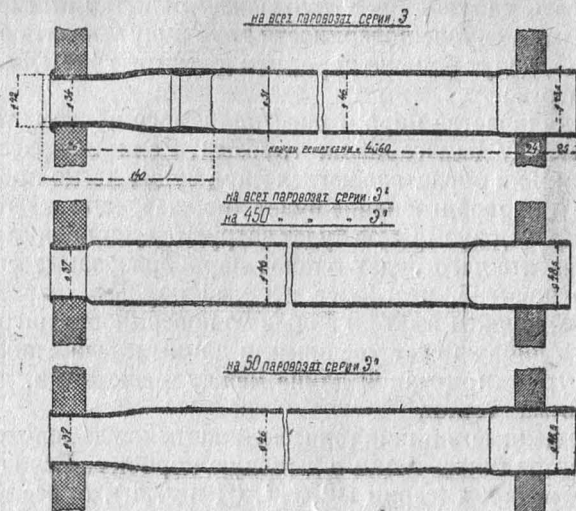
Большой диаметр труб у передней решетки делается для удобства вытаскивания труб при смене, так как во время работы котла на них отлагается накипь и тем самым увеличивается их диаметр.

Дымогарные и жаровые трубы уплотняются развальцовыванием концов как в огневой, так и в передней решетке. Кроме того для большей плотности и во избежание обгорания концы труб в огневой решетке разводятся и образуют буртик. На фиг. 96 показан котел перегретого паровоза.

Для промывки цилиндрической части и осмотра внутренних частей котла служит лаз (з верхней части заднего барабана), имеющий диаметр, достаточный для пролезания в него человека, а на кожухе толки имеется большое число небольших отверстий от ерстий, так называемых люки и пробки, для очистки котла от накипи скребками и прутьями и для промычки его водой; для промывки же служит и промывательный люк в передней решетке.

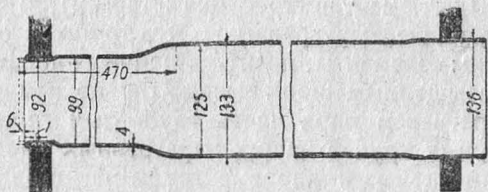
Парообразование паровозного котла происходит очень бурно, и пузырьки пара, выскакивая из воды, увлекают с собой частицы воды. Поэтому пар заключает в себе некоторое количество влаги, которое вредно отра-

жается на расходе пара машиной, увеличивая его; при большой влажности (бросании воды) в цилиндрах может произойти гидравлический удар, по-



Фиг. 95-а. Дымогарная труба.

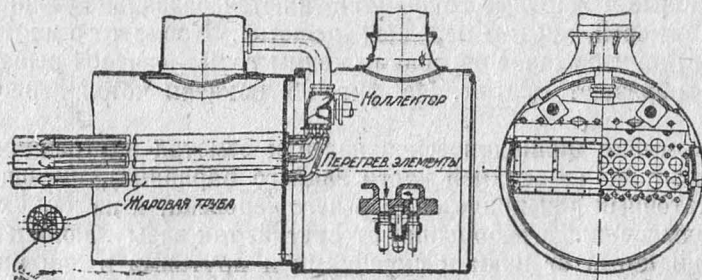
следствием которого может быть разрушение машины. Во избежание бросания воды нельзя быстро открывать регулятор, в особенности у паровозов с перегревом пара, у которых пространство за регулятором довольно большое и при быстром открывании регулятора пар с большой скоростью устремляется в него, увлекая с собой воду.



Фиг. 95-б. Жаровая труба.

Для избежания влажности пара, стараются забирать его в самой высокой части котла и с этой целью ставят над цилиндрической частью котла колпаки (фиг. 97), так называемые «сухо-

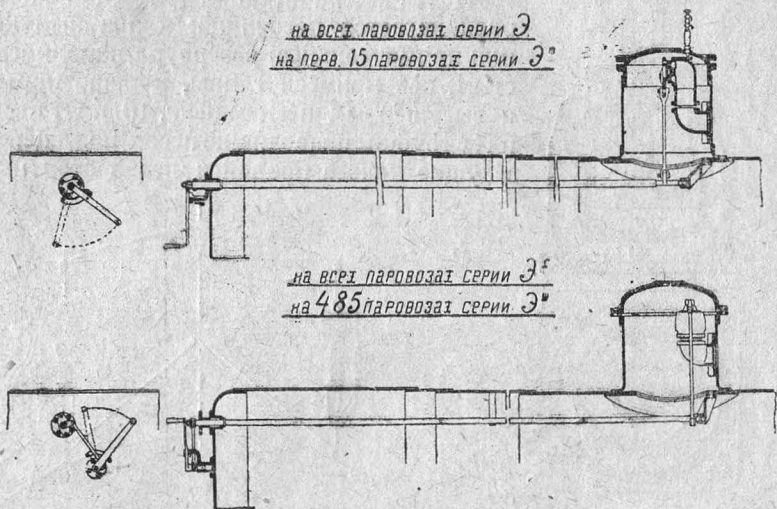
парники», из которых и забирается пар для работы машины. Для этой же цели служат и паросушители, помещаемые в сухопарниках, дейст-



Фиг. 96. Перегревательные элементы.

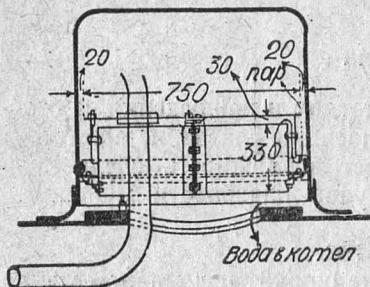
ву парники», из которых и забирается пар для работы машины. Для этой же цели служат и паросушители, помещаемые в сухопарниках, дейст-

ние которых основано на центробежной силе при изменении направления движения пара. Под действием центробежной силы более тяжелые частицы воды, заключенные в паре, отделяются от него и отводятся обратно в котел. Простейшим примером паросушителя может служить дырчатый лист, устанавливаемый в основании сухопарника.

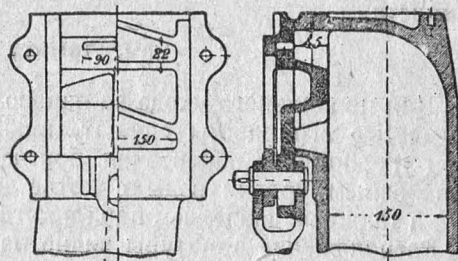


Фиг. 97. Паровой колпак.

Фиг. 98 гат разрез сухопарника с паросушителем в виде двух цилиндрических барабанов разного диаметра, входящих друг в друга. Верхний барабан имеет дно; путь пара показан сплошной стрелкой, а путь отделяющейся воды—пунктирной.



Фиг. 98. Паросушитель.



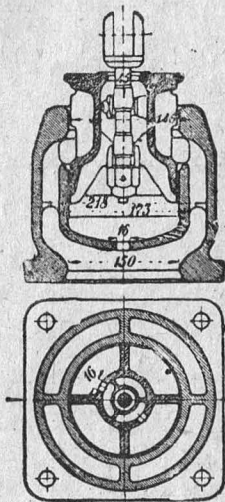
Фиг. 99. Плоский регулятор.

В сухопарнике помещается регулятор с регуляторной головкой, к которой присоединяется труба, подводящая пар к цилиндрам паровой машины.

У нас употребляются следующие типы регуляторов: 1) плоские с двумя золотниками—одним малым, служащим для небольшого открытия регулятора и для облегчения открытия (разгрузки) большого, и другим большим, служащим для больших открытий регулятора (фиг. 99); 2) клапанные (фиг. 100), также имеют два клапана системы «Цара», большой и малый. Последний находится внутри большого и служит для того

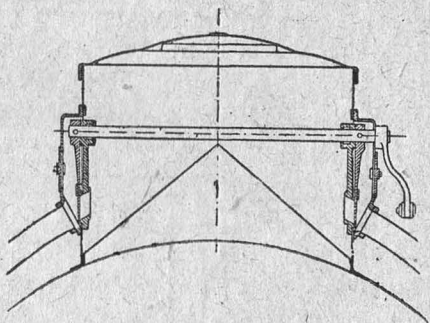
же назначения, что малый золотник плоского регулятора и 3) одноклапанный двухседельный американского типа.

Регуляторный золотник, или клапан приводится в движение от регуляторной ручки, находящейся в будке машиниста, при помощи регуляторного вала и системы рычагов.



Фиг. 100. Клапанный регулятор.

Почти всегда на цилиндрической части котла располагается песочница: клапанный круглый или прямоугольный резервуар, наполняемый чистым, без примеси глины, хорошо просеянным и высушенным песком (фиг. 101). От песочницы идут трубы, подводющие песок под сцепные или ведущие колеса правой и левой стороны паров-



Фиг. 101. Песочница.

воза. Песок подводится под колеса во время буксовки для увеличения трения колес о рельсы. Благодаря этому колеса перестают буксовать, т. е. вращаться на одном месте без качения по рельсам.

Песок попадает в трубы через отверстия, обычно закрываемые клапанами, приводящимися в движение от привода, находящегося в будке машиниста.

9. Арматура котла

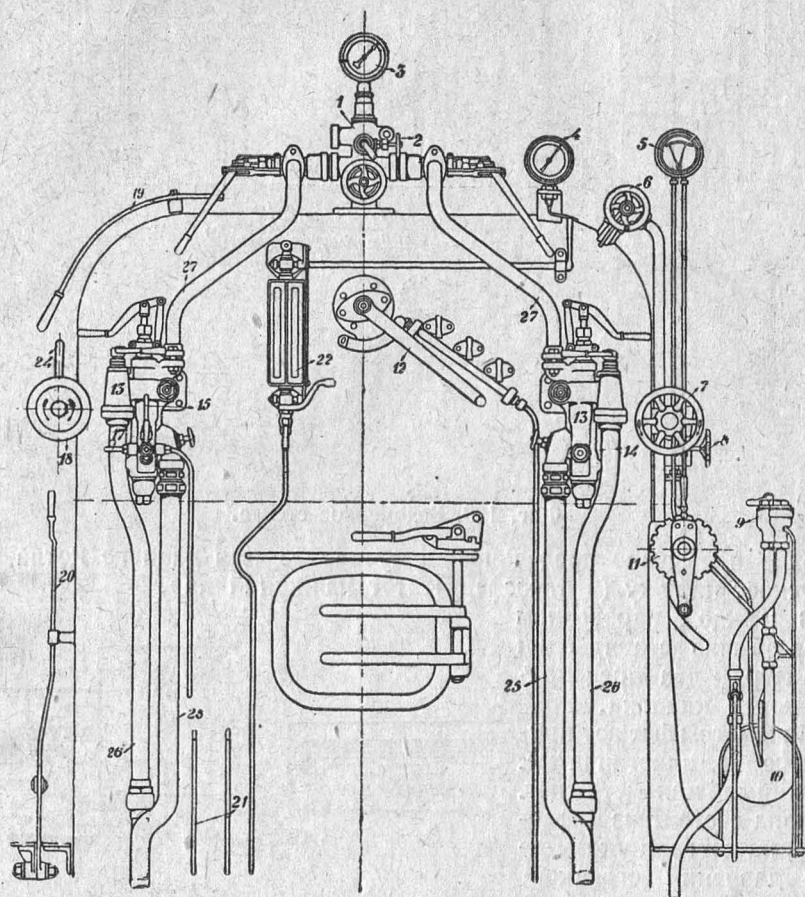
Для правильного ухода за паровозным котлом и наблюдения за безопасностью его работы служат приборы, носящие название арматуры. При их помощи паровозная бригада имеет возможность следить за положением уровня воды в котле и в случае надобности пополнять его, а также за давлением пара в котле.

Расположение арматуры видно на фиг. 102.

Для наблюдения за уровнем воды в котле служит водомерное стекло и водопробные краны. Водомерное стекло (фиг. 103) состоит из двух кранов, один из которых расположен в паровой части котла на лобовом листе, а нижний соединен с водяным пространством. Оба крана соединяются друг с другом стеклянной трубкой, в которой виден уровень воды в котле. На случай порчи стекла, там же, на лобовом листе, имеется три крана, расположенных на разном уровне, открывая которые можно также узнать уровень воды в котле.

На меньший уровень воды в котле, гарантирующий от перегорания потолка его коробки (100 мм над потолком), показывает указатель нижнего уровня воды, прикрепляемый на лобовом листе кожуха.

При понижении уровня воды ниже 100 мм начинается перегревание потолка топки; для предупреждения паровозной бригады об этом служат контрольные легкоплавкие пробки (фиг. 104), ввинчивающиеся в потолок топки и имеющие посредине сверленный канал, залитый легкоплавким сплавом (олово). Последний, расплавляясь при понижении уровня, открывает канал, через который в топку попадает смесь воды и пара,



Фиг. 102. Расположение арматуры.

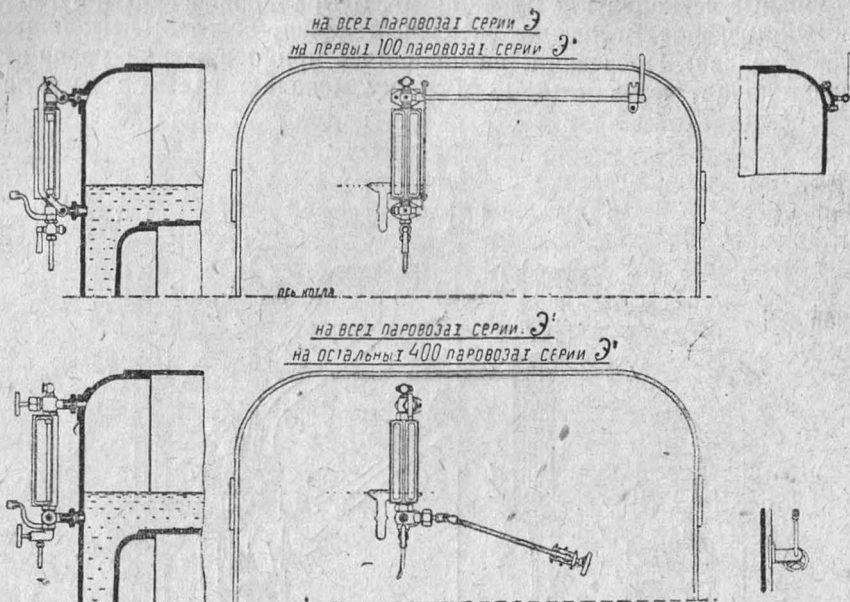
предупреждающая паровозную бригаду о понижении уровня воды, начавшемся поджоге потолка топки и о необходимости принятия экстренных мер, предупреждающих порчу паровоза (тушение огня в топке).

Для пополнения уровня воды в котле служат: инжекторы, всасывающие и нагнетательные (фиг. 105), а также насосы, применяемые при водоподогревателях.

Для обеспечения непрерывного питания водой котла на случай порчи одного инжектора обычно ставят их два. И тот и другой в состоянии поддерживать уровень воды в котле при максимальной работе паровоза.

Для наблюдения за давлением пара в котле служат манометр и предохранительные клапаны (фиг. 106 и 107).

Манометр показывает давление пара в котле в любой данный момент, а предохранительный клапан не только предупреждает, что давление пара

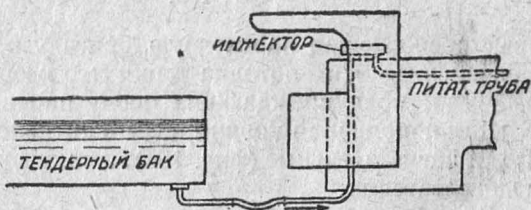
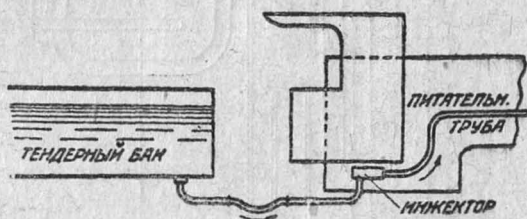


Фиг. 103. Водомерное стекло.

в котле превысило предельное, допускаемое для данного котла, но и выпускает наружу (в атмосферу) этот излишний пар.

В каждом паровозном котле обычно ставят один манометр и два предохранительных клапана.

Манометры бывают пружинные и пластинчатые. Пружинный манометр сист. Бурдона состоит из циферблата, на котором указываются давления стрелкой, приводимой в движение зубчатым механизмом от конца

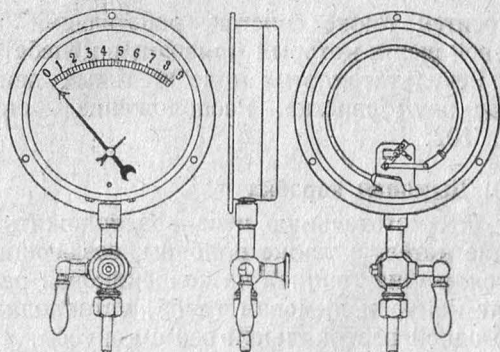


Фиг. 104. Контрольная легкоплавкая пробка.

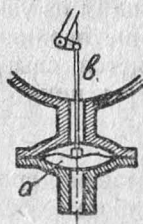
Фиг. 105-а и б. Расположение инжекторов.

эллиптической трубки, закрепленной в одном конце и согнутой по окружности. Свободный конец трубки под влиянием давления конденсационной

воды, находящейся внутри трубки, разгибается и тем самым приводит в движение стрелку, показывающую на циферблате давление пара. В пластинчатом манометре сист. Шеффера пар давит на волнообразно изогнутую пластинку, поднимает ее вместе с закрепленным в середине ее рычагом, который и приводит в движение стрелку, показывая на циферблате давление пара. На гаро. озных котлах применяются преимущественно манометры сист. Бурдона.

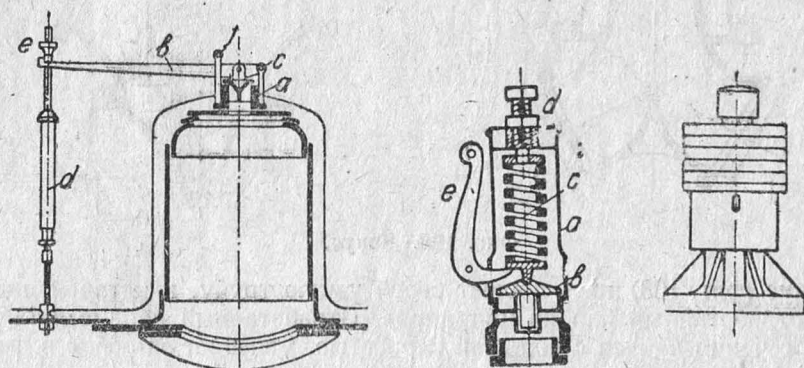


Фиг. 106-а. Манометр трубчатый сист. Бурдона.



Фиг. 106-б.
Манометр пластинчатый сист. Шеффера.

В обоих манометрах для контроля за превышением давления пара (сверх допускаемого) служит вторая маленькая красная стрелка. Эта контрольная стрелка сверху имеет штифт, за который задевает стрелка манометра, показывающая давление пара в котле. Благодаря этому



Фиг. 107-а, б и в. Предохранительные клапаны.

контрольная стрелка и передвигается вправо при давлении, превышающем предельное. При понижении давления контрольная стрелка сстается на месте, давая тем самым возможность контроля за имевшим место превышением давления пара в котле.

Предохранительные клапаны применяются у нас трех типов:

1) рычажные, (пружинные есы), фиг. 107-а, устанавливаемые на сухопарнике и состоящие из клапана, закрепленного на рычаге, один конец которого может вращаться на валике в точке *c*, а другой конец закреп-

пляется гайкой *e* и нагружается пружиной *e*, закрепленной в двух медных стаканах;

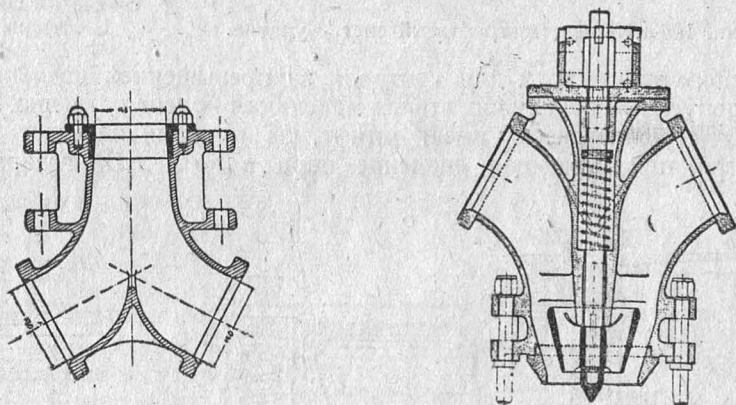
2) предохранительный клапан «Альфа» без шайб (фиг. 107-б), состоящий из клапана *b*, нагруженного спиральной пружиной *c* и тем самым прижимаемого к своему седлу. Величина давления пружины может регулироваться нажимным болтом *d*;

3) клапан «Альфа» с шайбами (фиг. 107-в), в которых имеется ряд мелких дырочек, через которые проходит пар при давлении, превышающ м допускаемое.

К числу арматуры относится также свисток, работающий паром, выходящим из узкой кольцевой щели, который приводит в колебательное движение верхнюю чашку. Результатом этих колебательных движений и является слышимый нами звук свистка. Расположение остальной арматуры понятно из фиг. 102.

10. Дымовая коробка

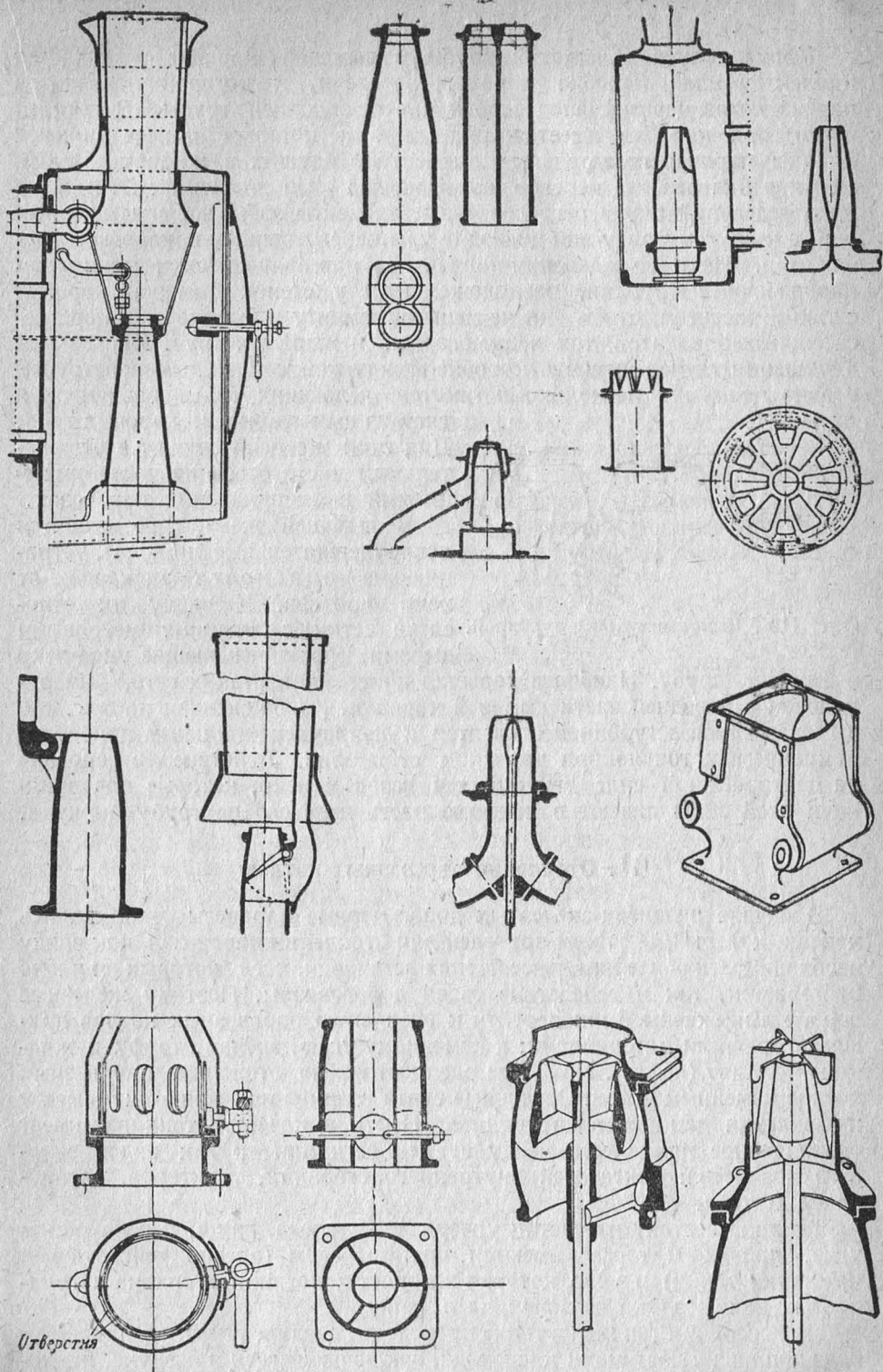
Дымовая коробка имеет вспомогательную цель—расположить в ней все приборы, обслуживающие котел, а также приборы, создающие тягу воздуха, необходимого для сжигания топлива на колосниковой решетке. Для последней цели служат конус и дымовая труба, устанавливаемая сверху дымовой коробки по одной вертикальной оси с конусом.



Фиг. 108. Конус.

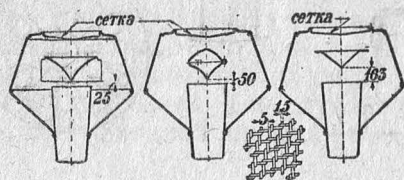
Конус (фиг. 108) представляет собой узкую трубу, к которой подводится отработанный пар из цилиндров. Отработанный пар, вылетая из узкого сечения конуса с большой скоростью, увлекает за собой в дымовую трубу газы сгорания, создавая в дымовой коробке разрежение, т. е. давление меньше атмосферного. Благодаря этому наружный воздух поступает под колосниковую решетку, а газы сгорания увлекаются из топки и, проходя через трубы, попадают в дымовую коробку и отсюда вместе с паром вылетают через трубу в атмосферу.

Конусы бывают либо постоянные, либо переменные; переменные конусы дают возможность регулировать площадь выходного сечения конуса в любой момент, а следовательно, скорость пара, выходящего из конуса и разрежение (тягу) в дымовой коробке, в зависимости от рода применяемого топлива и режима работы паровоза. Изменение сечения конуса достигается одним из способов, изображенных на фиг. 109.



Фиг. 109. Типы конусов.

Кроме конуса и дымовой трубы в дымовой коробке помещается коллектор или коробка пароперегревателя, к которой подводится пар из котла через фланец особой пароподводящей трубы. В нижней части этой коробки имеется ряд дыр, к которым присоединяются фланцы пароперегревательных элементов, идущих в жаровые трубы. Вся коробка разбита перегородками на два ряда отделений. От одного ряда отделений пароперегревательные элементы забирают насыщенный пар, а к другому ряду они подводят уже перегревшийся в жаровых трубах пар. Из этого отделения коллектора пар подводится к цилиндрам парорабочими трубами, расположенными у стенок дымовой коробки с таким расчетом, чтобы они не мешали ремонту и выемке как перегревателей элементов, так и дымогарных и жаровых труб. Иногда для влучшения тяги в дымовой коробке между конусом и дымовой трубой утаивают один или несколько петикотов, делающих более равномерный тягу из дымогарных и жаровых труб.



Фиг. 110. Дымовая труба с турбиной.

Для этой же цели служит и отжательный лист, особенно часто применяемый в американских паровозах. В дымовой же камере ставятся искроудержательные приборы, устраняющие опасность пожаров от искр паровоза. К числу их относятся сетки с пятимиллиметровыми дырами, предупреждающие унос искр в дымовую трубу. Наиболее хорошая конструкция таких сеток—американская в передней части дымовой коробки. Изображенная на фиг. 110 дымовая труба с турбиной относится к искроудержательным приборам, применяемым только при дрозном отоплении. Действие ее основано на центробежной силе движущихся газов и искр, которые под влиянием этой силы падают в нижнюю часть надетого на трубу кожуха.

11. Отопление паровозных котлов

В начале развития железных дорог первые паровозы отапливались коксом, который не совсем пригоден для отопления паровозов как ввиду необходимости более или менее частых остановок, после которых он плохо разгорается, так и вследствие своей дороговизны. Поэтому железные дороги вынуждены были перейти к отоплению паровозных котлов другими горючими материалами: к каменному углю, дровам, торфу и жидкому топливу (нефти). Наиболее распространено отопление паровозных котлов каменным углем. Остальные сорта топлива применяются по месту нахождения данного вида топлива. Нефть в качестве топлива имеет ограниченное применение ввиду ее ценности для других видов силового хозяйства: двигателей внутреннего сгорания, тракторов, автомобилей и т. д.

Топливо состоит из частиц углерода, водорода, азота, а в каменном угле, дровах и торфе имеются частицы серы (вредно действующей на стенки топки) и золы, которая засоряет колосники и сильно затрудняет проход воздуха из зольника в топку.

При сгорании топлива в топке происходит соединение углерода и водорода топлива с частицами кислорода, заключающегося в воздухе; проходящем через колосники. Это соединение частиц топлива и воздуха про-

исходит при сильном выделении тепла, которое и используется паровозным котлом для испарения воды.

При полном соединении частиц топлива и воздуха образуется углекислота и водяные пары*, так что дым, выходящий из дымовой трубы, почти прозрачен, и происходит полное сгорание частиц топлива.

Наоборот, при неполном соединении частиц топлива и воздуха произойдет образование окиси углерода** и неполное сгорание углеводородов, выделяющихся из топлива. Благодаря этому температура в топке будет ниже, чем при полном сгорании. Таким образом, вылетающие из дымовой трубы частицы топлива представляют собой несгоревшее топливо, что, конечно, невыгодно в экономическом отношении. Кроме того эти несгоревшие частицы топлива, проходя из топки в дымовую коробку по дымогарным и жаровым трубам, осаждаются на их стенках в виде сажи. Это, в свою очередь, понижает количество тепла, передаваемого от газов воде через стенки труб. Чем больше будет слой сажи на стенках труб, тем меньше будет передаваться тепла воде и тем выше будет температура газов, уходящих из котла в дымовую трубу, что также невыгодно.

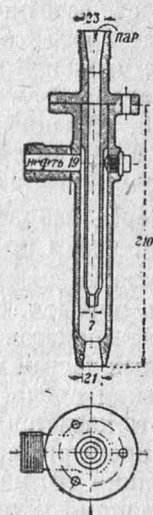
Насколько сильно сказывается влияние сажи, осевшей на дымогарных и жаровых трубах, видно из того обстоятельства, что количество тепла, передаваемого от газов воде через стенку трубы, покрытую слоем сажи, толщиной 1 мм, уменьшается на 23% по сравнению с количеством тепла, передаваемым через чистую стенку трубы.

Это обстоятельство от всех паровозников требует наблюдения за состоянием стенок паровозного котла и регулярного производства тщательного и своевременного удаления сажи со стенок топки и труб.

Для устранения неполного сгорания топлива в паровозных котлах вводятся различные приспособления, одним из которых являются кирпичные своды, введенные Ярроу еще в 1857 г.

Кирпичные своды могут применяться при всех видах топлива, но при нефтяном отоплении они обязательны, так как при сжигании нефти образуется очень большое количество углеводородов, которые при отсутствии свода не успевают сгореть в топке и уходили бы в трубы и осаждались на их стенках в виде сажи. Кроме того высокая температура горения нефти вызвала бы быстрое прогорание стенок огневой коробки. Для того, чтобы это не происходило, при нефтяном отоплении кроме свода закладывают часть стен кирпичом с целью предохранить их от прогорания. Форма кладки и ее размеры зависят от типа применяемой форсунки.

Форсунка (фиг. 111) вставляется через втулку в стенке лобовых листов кожуха и огневой коробки. Форсунка состоит из двух конусов, встав-



Фиг. 111. Форсунка.

* Углекислота состоит из одной части углерода и двух частей кислорода. Водяные пары состоят из двух частей водорода и одной кислорода.

** Окись углерода состоит из одной части углерода и одной кислорода. Углеводороды представляют собой соединение углерода с водородом, содержащимся в топливе.

ленных один в другой (типовая система Уркгар та). По внутреннему конусу подводится пар, а по наружному конусу подводится нефть.

Так как паровой конус кончается раньше нефтяного, то нефть смешивается с паром до выхода из форсунки. Под влиянием расширения пара нефть при входе в топку разбрызгивается на мельчайшие части, которые легко воспламеняются и, сгорая, выделяют тепло. Кроме этих кольцевых форсунок есть еще щелистые, в которых нефть и пар входят в топку через отдельные отверстия. Выходящие струи нефти и пара пересекаются под углом, отчего пар, ударяя в нефть, превращает ее в маленькие капли. Для лучшего сгорания нефти в кладке устраиваются каналы, по которым подводится воздух навстречу горящему нефтяному факелу. Нефть к форсунке подводится трубками под напором разности уровней нефти в форсунке и нефтяном баке, располагаемом наверху тендера.

Зимой нефть под влиянием низкой температуры сгущается, отчего ухудшается приток ее к форсунке. Поэтому в нефтяной бак помещают змеевик—винтообразно изогнутую трубку, внутри которой проходит пар, отдающий свое тепло окружающей трубке нефти и тем самым предохраняющий ее от сгущения.

Что касается твердых сортов топлива, то они для своего сжигания не требуют особенных приспособлений.

Все сорта твердого топлива сжигаются на колосниковой решетке, кроме угольной пыли, сжигаемой при помощи форсунок.

Каменный уголь в зависимости от его качеств делится на три сорта: бурый, каменный и антрацит, каждый из которых может сжигаться либо в чистом виде, либо в смеси с другим сортом. У нас обычно применяется сжигание каменного угля в смеси.

Перед забрасыванием в топку уголь (кроме антрацита) поливается водой, чтобы предотвратить унос мелких частиц угля из топки.

Остатки каменного угля (мелочь) сжигаются либо в виде угольной пыли, вдуваемой в топку из сопла наподобие нефтяной форсунки, либо в виде брикетов—спрессованной в куски мелочи. Для лучшей связи отдельных частиц мелкого угля в него при прессовке добавляется каменноугольная смола.

Что касается сжигания антрацита в паровозных котлах, то до последнего времени таковой широкого применения не имел как ввиду трудности сжигания его на обычной колосниковой решетке, так и ввиду того, что засыпанный в топку толстым слоем антрацит во время остановок горит настолько сильно (даже при закрытом поддувале), что образующийся в котле пар все время выходит из предохранительных клапанов. Кроме того антрацит очень плохо разгорается и требует для своего сжигания специальных колосниковых решеток и даже парового дутья под колосники.

Отопление паровозов дровами по существу не различается от отопления углем, за исключением того, что слой дров в топке приходится держать очень большим, по шуровку. Это необходимо вследствие больших промежутков между отдельными поленьями и ввиду большой быстроты, с которой сгорают дрова.

Торф, представляющий собой продукт гниения водяных растений без доступа воздуха, сжигают либо в виде кирпичей, хорошо высушенных на воздухе, либо в виде торфяной пыли (на шведских железных дорогах).

Тендер для торфяного отопления обычно имеет деревянную надстройку с крышей во избежание намокания торфа, который вследствие своей гигроскопичности* жадно впитывает влагу из воздуха.

Вследствие низкой температуры горения и быстроте сгорания торф приходится очень часто забрасывать и держать слой его почти до шуровки.

12. Работа паровозного котла

Ознакомившись вкратце с устройством главнейших частей паровозного котла, переходим к вопросу о его работе.

Топливо, загруженное на колосниковую решетку через шуровочное отверстие, попадая на горящий слой и соединяясь с кислородом воздуха, проходящим через колосниковую решетку из поддувала, сгорает. При сгорании топливо выделяет известное количество тепла и газов сгорания, имеющих высокую температуру, зависящую от сорта данного топлива.

Часть этого тепла передается через стенки коробки воде, непосредственно в самой топке, а часть тепла передается через стенки дымогарных и жаровых труб окружающей их воде. Вода, нагреваясь от горячих поверхностей стенок топки и труб, закипает и обращается в пар, который собирается над водой вверху цилиндрической части котла и в сухопарнике. Из сухопарника при открытом регуляторе пар по регуляторной трубе проходит в отделение насыщенного пара перегревательной коробки. Откуда он идет в перегревательные трубки, расположенные в жаровой трубе, встречается с газами сгорания, идущими из огневой в дымовую коробку и получает от них теплоту, которая повышает температуру пара и превращает его из насыщенного состояния в перегретое. Пар, пройдя все перегревательные трубки, возвращается в отделение перегретого пара перегревательной коробки и уже отсюда через парорабочую трубу проходит к цилиндрам машины.

Газы же сгорания, выйдя из дымогарных и жаровых труб в дымовую камеру, увлекаются паром, выходящим из конуса в дымовую трубу и далее в атмосферу.

Каждый килограмм топлива при сжигании его выделяет в топке определенное количество тепла в зависимости от сорта данного топлива. Это количество тепла, выделяемого одним килограммом топлива при его сжигании, называется теплотворной способностью.

Теплотворная способность наших топлив колеблется в следующих пределах:

1 кг нефти	дает при сжигании	10 000 кал **
1 „ угля марки Пж	дает при сжигании	6 800 „
1 „ „ „ Пс	„ „ „	7 000 „
1 „ дров	„ „ „	2 800—3 400 „
1 „ торфа	„ „ „	3 000 4 200 „

Ясно, что сжигая на колосниковой решетке определенное количество топлива определенной теплотворной способности получим вполне определенное количество тепла в топке. Часть этого тепла полезно исполь-

* Способность впитывать влагу из воздуха.

** Калорией называется количество тепла, которое необходимо для нагревания одного килограмма воды на один градус. Следовательно количество тепла, выделяющегося при сжигании одного килограмма нефти, может нагреть на один градус 10 000 кг воды, или 1 кг на 10 000°, или 2 кг на 5 000° и так далее.

зается котлом для нагревания воды и получения пара, необходимого для работы паровой машины.

Было бы ошибочно думать, что все количество тепла, заключающегося в топливе, идет на образование пара, так как работа парового котла происходит с неизбежными потерями и из всего количества тепла, располагаемого в топливе, полезно используется лишь часть его.

Величина отношения полезно использованного в котле тепла, пошедшего на образование пара к количеству тепла затраченного, служит мерилom экономичности котла, т. е. показывает—насколько экономически целесообразно происходит работа парового котла.

Величина этого отношения называется коэффициентом полезного действия котла и показывает—какая часть тепла, заключавшегося в топливе, пошла на образование пара.

Пусть мы сожгли на колосниковой решетке паровоза 1 000 кг угля марки Пж и получили 6 000 кг пара с теплосодержанием 700 кал, тогда: полезное тепло равно $6\,000 \cdot 700 = 4\,200\,000$ кал, а количество тепла, заключавшегося в 1 000 кг угля с теплотворной способностью 6 800 кал было 6 800 000 и, следовательно, коэффициент полезного действия котла или отношения использованного тепла к затраченному оказывается разным

$$\eta_k = \frac{4\,200\,000}{6\,800\,000} = 0,62.$$

Это значит в процентах, что только 62% тепла, заключавшегося в топливе, полезно использовано котлом. Остальное количество тепла, равное $6\,800\,000 - 4\,200\,000 = 2\,600\,000$ кал, бесполезно потеряно котлом.

Куда девается тепло—нам будет ясно, если мы проследим всю работу парового котла, начиная от загрузки топлива на колосниковую решетку и кончая полученным количеством пара в данном котле.

Топливо, загруженное на колосниковую решетку, частично проваливается через отверстия в зольник, да же не успев иногда загореться, или же проваливается туда уже в горящем виде, а также в виде мелких частиц уносится в трубу. Этот провал и унос составляет первую, так называемую, механическую потерю.

Затем мы уже видели, что в топке происходит неполное соединение углерода с кислородом в воздухе и недостаточно полное сгорание углеводород в на пути от слоя топлива до входа в дымовые и жаровые трубы, что дает вторую потерю—химическую неполноту сгорания.

Газы, выходя из дымовых и жаровых труб, имеют довольно высокую температуру, которая уже не может быть использована, так как газы сгорания выходят через дымовую трубу в атмосферу. Следовательно, то количество тепла, которое в них заключено, будет бесполезно потеряно. Поэтому количество тепла, заключающееся в газах сгорания, дает третью, так называемую потерю тепла сходящими газами.

Последняя потеря, которую мы имеем в паровом котле, заключается в том, что котел имеет более высокую температуру, чем окружающий воздух, благодаря чему котел «остывает». Для поддержания нужной температуры котла, соответствующей данному давлению пара в котле,

приходится затрачивать часть тепла. Это количество тепла и составляет потерю на наружное охлаждение котла.

Итак, мы можем написать следующее равенство: все количество тепла, заключающееся в загрузенном топливе, должно быть равно теплу, пошедшему на образование пара, и всему потерянному теплу.

Если мы примем количество тепла, заключающееся в топливе, за 100%, то все значения полезного тепла и каждой отдельной потери могут быть представлены примерно следующими величинами:

Приход	Расход	Про- центы
Тепло, заключающееся в топливе 100%	Полезное тепло	62
	Механическая потеря	10
	Химическая потеря	8
	Потеря с отходящими газами	18
	„ на наружное охлаждение	2
100%	Итого	100

Значения величин, записанных в графе «расход», в каждом отдельном случае бывают то больше, то меньше приведенных и зависят главным образом (не говоря о конструктивном устройстве котла) от той работы, которую совершает паровоз в данный момент.

ГЛАВА XI

ПАРОВАЯ МАШИНА

Для того, чтобы привести паровоз в движение, обычно пользуются поршневой паровой машиной, изобретенной Джемсом Уаттом.

В паровозе никогда не бывает меньше двух паровых машин, которые располагаются либо с наружной стороны рам (паровоз с наружными цилиндрами), либо внутри рам (паровоз с внутренними цилиндрами).

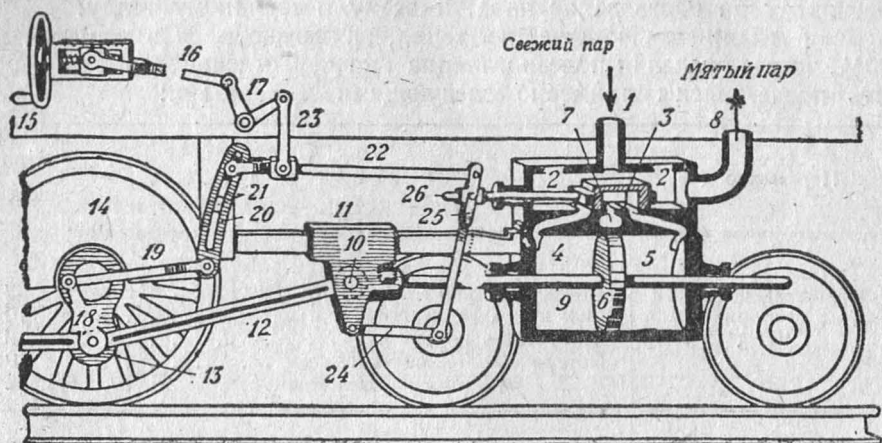
Отличительной особенностью паровоза с внутренними цилиндрами служит двухколенчатая ось, что, как известно, дорого в изготовлении и ремонте. Она также ненадежна в службе вследствие частых поломок этих осей* и неудобна для осмотра движущего механизма, находящегося внутри рам.

Паровая паровая машина состоит из парового цилиндра, движущего и парораспределительного механизмов (фиг. 112).

Паровой цилиндр служит для превращения внутренней энергии пара в силу, которая должна двигать паровоз. Движущий механизм передает силу, образовавшуюся в цилиндре, кривошипам колес. Эта сила приводит во вращение колеса и катит их по рельсам, а также и весь паровоз. Назначение парораспределительного механизма заключается в том,

* Паровозы серии Л, имеющие коленчатую ось, страдают хроническими поломками этих осей.

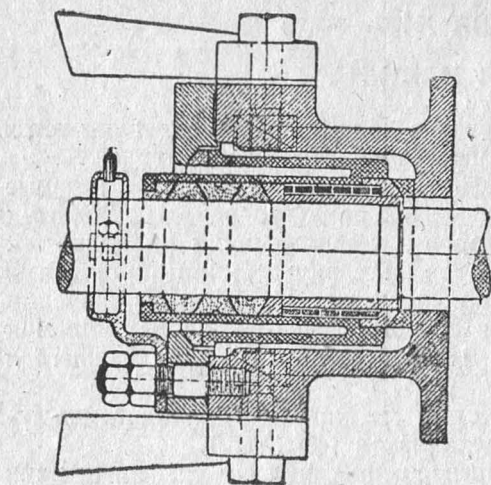
чтобы, во-первых, распределять пар по обе стороны поршня, во-вторых, регулировать работу машины в зависимости от профиля пути и веса состава и, в-третьих, менять ход паровоза с переднего на задний или наоборот.



Фиг. 112. Схема паровой машины.

13. Паровой цилиндр

Цилиндр представляет собой одну отливку, изготовляемую из хорошего чугуна, а в специальных случаях—из литой стали. Отливка



Фиг. 113. Поршневой сальник Шмидта с металлической набивкой.

состоит из двух соединенных между собой коробок: шиберной или золотниковой коробки с находящимся в ней парораспределительным прибором—золотником и цилиндрического пространства, в котором движется поршень, насаженный на скалку.

Шиберная коробка соединена каналами с передней и задней полостью цилиндра. По этим каналам производится впуск пара из шиберной коробки в цилиндр и выпуск его из цилиндра золотником. Последний движется взад и вперед и приводит в движение от парораспределительного механизма.

Цилиндровая отливка прикрепляется своими фланцами к раме при помощи так называемых цилиндрических болтов, которые настолько плотно входят в свои дыры, что забиваются ударом кувалды.

Как спереди, так и сзади цилиндрическое пространство, которое для краткости будем называть цилиндром, закрывается крышками, надеваемыми на шпильки и закрепляемыми гайками. Место соприкосновения цилиндра и крышки тщательно притирается во избежание пропуска пара.

Внутренняя поверхность цилиндра между передней и задней крышками, по которой движется поршень, растачивается специальными станками и имеет длину несколько большую, чем перемещение поршня из переднего крайнего его положения в заднее*.

Поэтому между крышкой и поршнем, находящимся в крайнем положении, образуется «вредное» пространство, играющее важную роль в паровой машине.

Благодаря «вредному» пространству, заполняемому паром, при подходе поршня к крайнему положению создается упругая паровая подушка. Она позволяет поршню изменить свое движение в противоположном направлении без толчков, вредно отражающихся на исправной работе машины.

Вредным пространством оно называется потому, что его придется заполнять паром, который не участвует в работе машины.

Для установки поршня в цилиндр, концевые части цилиндра растачиваются на больший диаметр по сравнению со средней, причем переход от узкой части к широкой делается на конус.

Шиберная коробка делается либо плоская, либо цилиндрическая** в зависимости от свойства рабочего пара. Если пар насыщенный, то шиберная коробка и помещенный в ней золотник делают плоскими с внешним впуском, если пар перегретый, то шиберная коробка имеет цилиндрическую форму, а золотник делается с двумя поршневыми дисками и внутренним впуском пара***. Шиберная коробка располагается большей частью над цилиндром, но иногда и сбоку с внутренней стороны.

Шиберная коробка имеет фланец с отверстием для впуска пара внутрь золотниковой коробки, передний и задний впускные каналы для впуска свежего пара в цилиндр и, наконец, выпускные каналы для выпуска отработанного пара в конус.

На фиг. 114-а, б показаны образцы цилиндрических отливок трех- и четырехцилиндровых паровозов, у которых внутренние цилиндры служат в одно и то же время междуцилиндровым креплением рам. В последнее время в Америке цилиндры отливаются из стали вместе с рамой и междурамными креплениями, что значительно удешевляет и упрощает пригонку и сборку рам, цилиндров, направляющих, креплений и т. д.

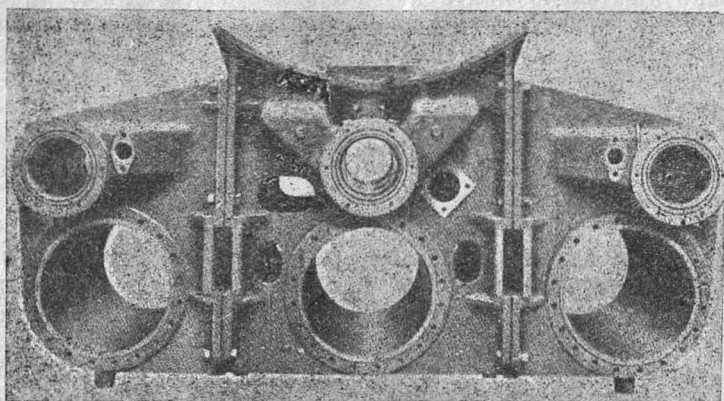
Крышки цилиндрические и золотниковые отливаются из чугуна и по форме похожи на поршень или цилиндрический золотник. Крышки делаются цельными или с нажимными кольцами, которые позволяют притирать крышку и фланец цилиндра без вывертывания шпильки.

* Это перемещение поршня из переднего положения в заднее называется ходом поршня и равно двойной длине радиуса кривошипа. Крайние положения поршня и соответствующие им положения кривошипа называются мертвыми положениями поршня и кривошипа.

** В цилиндрическую шиберную коробку вставляется втулка (или рубашка), по которой движется золотник. Делается это с целью избежать выкидывания цилиндрической отливки при износе шиберной коробки. В этом случае износившаяся втулка вынимается, а на ее место вставляется новая.

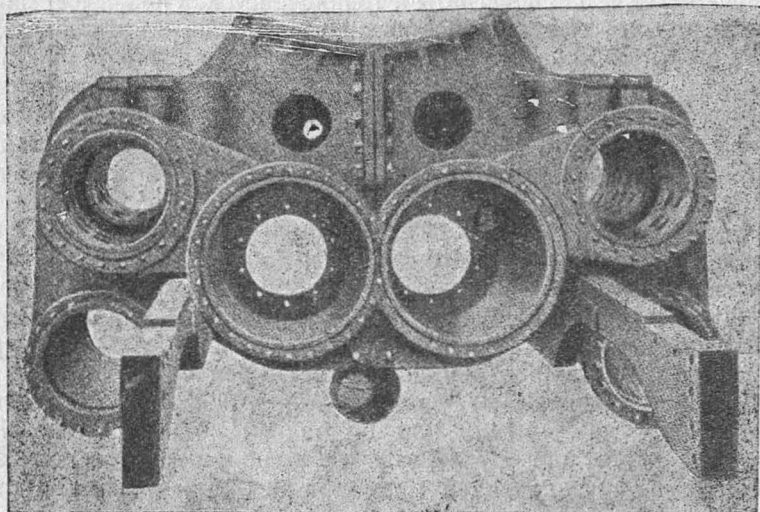
*** При перегретом паре делается внутренний выпуск пара, так как перегретый пар, обладая большой текучестью, легко проходит бы через сальники при внешнем впуске.

Как в передней, так и в задней крышке имеется гнездо для сальника, уплотняющего отверстия крышек, через которые проходит шток и контршток поршня.



Фиг. 114-а. Многоцилиндровая отливка.

У паровозов с насыщенным паром сальники делаются с простой набивкой—пенькой, льном или асбестом с салом или графитом; у перегретых паровозов простая набивка быстро сгорает вследствие высокой температуры пара. Поэтому набивка сальников таких паровозов де-



Фиг. 114-б. Многоцилиндровая отливка.

лается металлическими самоуплотняющимися разрезными кольцами из баббита (а лучше из бронзы), обточенными на конус и нажимаемыми пружиной. Устройство такого сальника показано на фиг. 113.

К переднему сальнику прикрепляется футляр, закрывающий контршток, во избежание несчастных случаев со сцепщиками.*

* В последнее время передние сальники цилиндров и золотников не делаются для избежания пропусков пара и частого ремонта сальников.

14. Движущий механизм

Движущий механизм состоит из поршня со штоком (или скалкой), крейцкопфа (или кулака), ведущего (или поршневого) дышла, кривошипов и спаренных (или сцепных) дышел.

Поршень. Внутри цилиндра движется круглый диск, насаженный на скалку, передний конец которой, проходящий через сальник, называется контрштоком и служит для поддержания поршня на весу, во избежание быстрого изнашивания как самого поршня, так и тела цилиндра. Диск укрепляется на штоке при помощи гайки, закрепляемой в предупреждение развинчивания шпилькой.

Поршневой диск делается на 2—3 мм меньше цилиндра и по окружности имеет уширение, в котором вытачиваются канавки.

В эти канавки помещаются пружинящие поршневые кольца, служащие для уплотнения цилиндра и поршня, чтобы не было перетекания пара с одной стороны на другую. Кольца делаются разрезными в замок и хорошо притираются к боковым поверхностям канавок.

Поршневые кольца делаются из мягкого упругого чугуна, благодаря чему они легко и быстро прирабатываются к поверхности цилиндра и прижимаются к ней силой своей упругости.

Поршневой шток закрепляется в поршневом диске указанным выше способом, а задним концом при помощи клина во втулке крейцкопфа, имеющей коническую форму. Плотность соединения крейцкопфа и штока обеспечивается притиркой их друг к другу и затягиванием клина. Ввиду больших усилий, передаваемых штоку от поршня, он делается из лучших сортов стали и имеет диаметр от 80 до 100—120 мм, а иногда и до 200 мм.

Во избежание быстрой разработки сальников поверхность штока и контрштока тщательно обрабатывается и полируется.

Крейцкопф и параллель. Для превращения прямолинейного движения поршня и связанного с ним штока во вращательное движение колеса служит крейцкопф с параллелью и кривошипно-шатунный механизм. Таким образом, с одной стороны—крейцкопф должен соединяться со штоком, а с другой—с ведущим дышлом и двигаться по параллели (направляющей).

Параллель представляет собой одну или две балки, один конец которой опирается на фланец сальника задней цилиндрической крышки, другой—на специальную стальную литую параллельную раму, прикрепляемую к главной паровой раме.

Конструкция крейцкопфа зависит от числа параллелей (одна или две). Крейцкопф отливаются из стали и имеет две скользящие поверхности, которые при двух параллелях располагаются по одной сверху и снизу крейцкопфа. В случае одной параллели обе скользящие поверхности располагаются наверху крейцкопфа и охватывают параллель.

Для уменьшения трения между крейцкопфом и параллелью вставляются медные прокладки (поползушки).

На фиг. 115 изображен крейцкопф для двух параллелей.

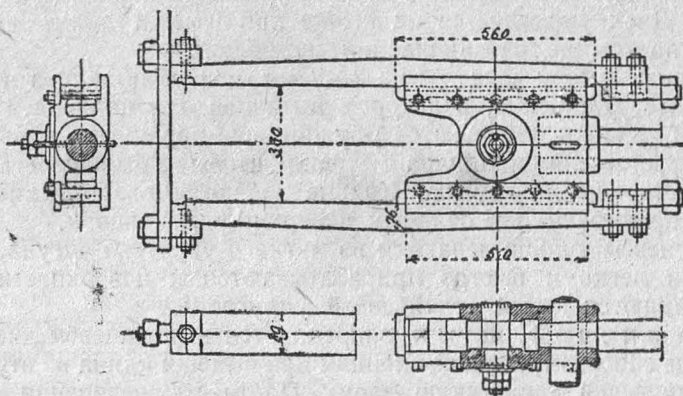
Передняя часть крейцкопфа соединена со штоком. Средняя часть имеет щеки с отверстием для крейцкопфного валика, закрепляемого в них от поворачивания шпонкой. Для предупреждения от выскакивания валик удерживается либо гайкой с шайбой (если крейцкопфный валик с вну-

тренней стороны крейцкопфа), либо планкой, прижимаемой к валу гайками, наворачиваемыми на шпильки.

Крейцкопфный валик изготавливается из стали, шлифуется и затем цементируется для уменьшения износа.

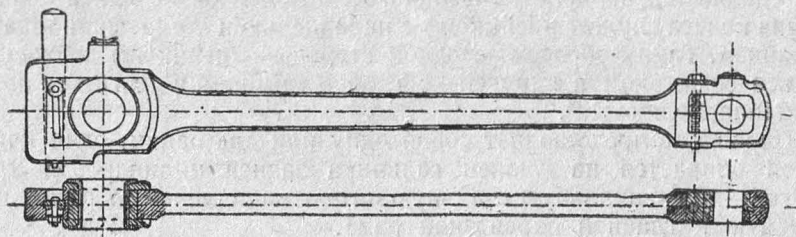
На крейцкопфный валик одевается передняя головка ведущего дышла.

Параллель, по которой происходит движение крейцкопфа, представляет собой прямоугольный брусок, тщательно отполированный; иногда это прямоугольное сечение параллели заменяется тавровым.



Фиг. 115. Крейцкопф.

Дышловое движение. Поршневое дышло, для передачи движения от крейцкопфа кривошипу, передней своей головкой соединяется с крейцкопфом, надеваясь на крейцкопфный валик, а задней — на ведущий палец кривошипа. Сцепные дышла соединяют между собой ведущую ось со сцепными осями.



Фиг. 116-а. Ведущее дышло.

Дышла делают либо прямоугольные, либо тавровые для облегчения веса.

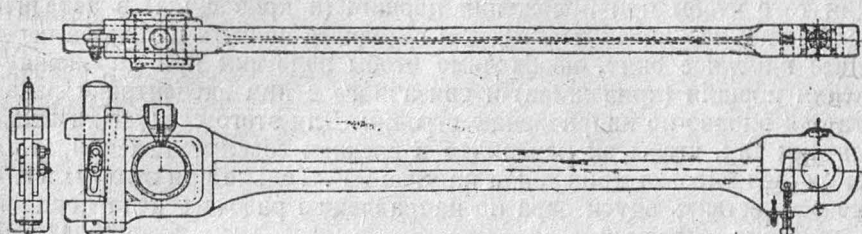
Конструкция дышловых головок составляет их главное отличие. Они бывают с закрытой головкой (фиг. 116-а) или с открытой (фиг. 116-в).

Закрытая головка представляет собой сплошную раму, а открытая с задней стороны имеет скобу, удерживаемую клином.

В каждую головку вставляют бронзовые подшипники, залитые баббитом и состоящие из двух половин (передней и задней). Обе половинки подшипника имеют зазор (натяг). Подшипники нажимаются с задней стороны камнем, который закрепляется клином, благодаря чему

обе половинки подшипника плотно прижимаются к шейке пальца. Чтобы клин не выскакивал, он удерживается штопорными болтами.

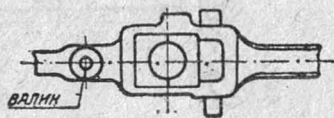
Устройство передней головки такое же, за исключением того, что закрепление подшипников и натягивание производится не клином, а ввиду недостатка места — «камнем» с болтом.



Фиг. 116-б. Ведущее дышло.

Когда подшипники сработаются, то они при движении начинают стучать; для устранения этого стука спиливают соприкасающиеся поверхности подшипников, чтобы был натяг, и подтягивают их клином или камнем с болтом.

Сцепные дышла имеют одинаковое с ведущим дышлом устройство, за исключением того, что промежуточные дышла за головкой, надеваемой на палец кривошипа, имеют хвостовик с отверстием для валика. При помощи последнего соединяются между собой сцепные дышла соседних осей. Для осей с поперечным перемещением употребляются спарники со специальным устройством, позволяющим осям иметь перемещение без опасения изгиба или излома спарников. С этой целью головки спаренных дышел у осей, имеющих поперечное перемещение, снабжены шаровыми подшипниками. Соединение же спаренного дышла с соседним производится двумя шарнирами: одним в вертикальной, другим в горизонтальной плоскости. Благодаря этому дышло, соединяющееся с осью, имеющей боковое перемещение, легко передвигается в сторону.



Фиг. 116-в. Головка сцепн. дышла.

15. Внутренний парораспределительный механизм

Парораспределительный механизм, имеющий своим назначением указанные выше три цели, состоит из внутреннего и внешнего парораспределительного механизма. К внутреннему парораспределительному механизму относится золотник со штоком, получающий движение от внешнего парораспределительного механизма. Внешний механизм состоит из маятника, поводка, кулисной тяги, кулисного камня, двигающегося в кулисе, нижний конец которой соединен эксцентриковым дышлом с контркривошипом.

Для изменения величины наполнения и направления движения паровоза передним или задним ходом, что зависит от положения кулисного камня в кулисе, служит подвеска, соединенная рычагом с переводной тягой и реверсом (рычагом перемены хода), находящимся в будке машиниста.

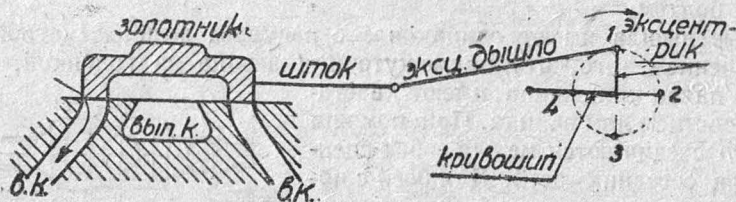
Поверхность, по которой движется золотник, называется «золотниковым зеркалом», а каналы, выходящие на это зеркало—«окнами впускными и впускными».

Рассмотрим паровую машину, золотник которой приводится в движение эксцентриком (фиг. 117).

Для того чтобы при положении поршня (и кривошипа) в передней мертвой точке пар начал поступать в переднюю полость цилиндра через переднее впускное окно, необходимо чтобы золотник при дальнейшем движении поршня (кривошипа) и связанного с ним эксцентрика начал сдвигаться вправо по направлению стрелки. Для этого следует насадить эксцентрик так, чтобы он находился в среднем своем положении, т. е. чтобы он шел впереди кривошипа на угол 90° . Только при этом условии можно осуществить выпуск пара по направлению рабочего хода поршня, как показано стрелкой.

Если золотник не имеет перекрыш, то схема золотника может быть представлена фиг. 117.

В этом случае при сдвигании эксцентрика в направлении часовой стрелки парораспределение происходило бы так: при нахождении экс-



Фиг. 117. Взаимное полож. эксцентрика и золотника.

центрика в точке 1 все каналы были бы закрыты, при движении эксцентрика от точки 1 к 2 будет происходить выпуск пара в переднюю полость и выпуск пара из задней полости в конус.

Когда эксцентрик будет находиться в точке 2, окна как переднее, так и заднее будут открыты на свою наибольшую величину. При движении эксцентрика от точки 2 к 3 окна начнут закрываться и закроются совсем при положении эксцентрика в точке 3. Эксцентрик, двигаясь от точки 3 к 4 будет открывать заднее окно для впуска пара, а переднее окно—для выпуска пара, и в точке 4 как заднее для впуска пара, так и переднее для выпуска пара будут открыты на свою наибольшую величину. При движении от точки 4 к 1 будет происходить закрывание обоих окон и в точке 1 оба окна будут закрыты.

На фиг. 118 показаны положения кривошипа, золотника и эксцентрика при различных моментах парораспределения.

Ясно, что при подобном золотнике машина будет работать без расширения, так как выпуск пара в цилиндр будет происходить на всем протяжении хода поршня, почему работа машины будет происходить не экономично и с толчками при перемене направления движения поршня.

Выше уже было отмечено, что для получения большей экономичности ввели в работу паровой машины принцип расширения, т. е. работу машины с неполным наполнением. С этой целью в золотник были введены так называемые перекрыши: перекрыша впуска для получения расширения

и перекрыша выпуска для увеличения степени расширения, т. е. чтобы не было раннего выпуска пара из полости цилиндра.

Перекрышей впуска называется расстояние от впускной кромки окна до впускной кромки золотника при совпадении середины золотника с серединой золотникового зеркала.



Фиг. 118. Движение золотника без перекрыш.

Перекрышей выпуска называется расстояние от выпускной кромки окна до выпускной кромки золотника при совпадении середины золотника с серединой золотникового зеркала.

На фиг. 119 изображен золотник с внешним впуском пара и с перекрышами.

Здесь:

АВ — перекрыша впуска,

А — впускная кромка золотника,

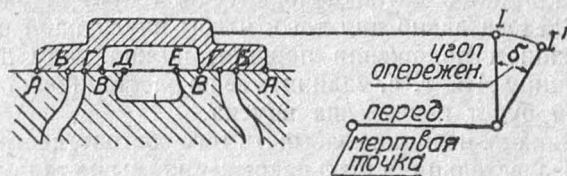
Б — впускная кромка окна,

ВГ — перекрыша выпуска,

В — выпускная кромка золотника,

Г — выпускная кромка окна,

ДЕ — выпускное окно.



Фиг. 119. Золотник с перекрышей.

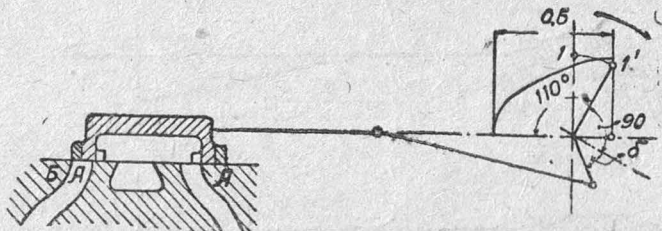
Если золотник имеет перекрышу впуска, то при положении кривошипа в передней мертвой точке (фиг. 119) и эксцентрика в точке 7 золотник

будет перекрывать впускное окно на величину перекрыши. А так как для правильного движения машины требуется, чтобы пар начал поступать в нее немного раньше, чем поршень придет в свое переднее мертвое положение, то эксцентрик сдвигают вперед по направлению движения на такой угол, чтобы золотник при переднем мертвом положении поршня уже открыл впускное окно на некоторую величину.

Эта величина открытия золотником окна при мертвом положении кривошипа (и поршня) называется линейным опережением впуска, а угол, на который сдвинут эксцентрик из среднего положения, — углом опережения. Угол между направлением кривошипа и направлением эксцентрика, под которым последний насажен по отношению к кривошипу, называется углом заклинения.

Таким образом эксцентрик при внешнем впуске будет всегда идти впереди кривошипа на угол 90° плюс угол опережения.

Положим, что нам нужно иметь впуск пара в цилиндр на расстоянии 0,6 хода поршня, т. е. чтобы в момент нахождения поршня в точке, соответствующей 0,6 его хода, впуск пара прекратился и впускная кромка золотника совпала с впускной кромкой окна (фиг. 120).



Фиг. 120. Золотник с углом опережения.

Когда поршень будет находиться в точке, соответствующей 0,6 хода, кривошип будет находиться под углом около 110° от своего переднего мертвого положения, а эксцентрик будет впереди кривошипа на угол $90^\circ + \delta$.

Золотник будет находиться в положении AA и начнет двигаться вперед в то время, когда поршень еще продолжает двигаться назад.

Из фиг. 120 видно, что если бы лапы золотника не имели перекрыши, то впускное окно было бы открыто на величину AB (расстояние от впускной кромки золотника до впускной кромки окна).

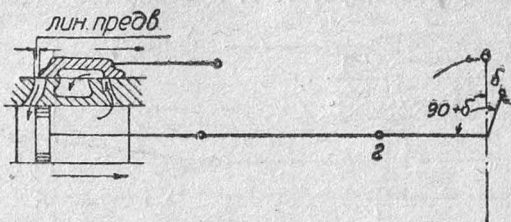
Следовательно для того, чтобы впуск пара в цилиндр кончился при указанном положении поршня, нужно лапу золотника увеличить на величину AB, т. е. удлинить ее на расстояние до впускной кромки окна — это и будет перекрыша впуска.

Однако, не нужно забывать того обстоятельства, что, вводя перекрышу, а, следовательно, и угол опережения, мы не только раньше кончаем впуск пара в цилиндр, но и раньше будем выпускать его из цилиндра. Поэтому, как было уже отмечено выше, делают перекрышу выпуска, которая не только задерживает выпуск, продолжая расширение, но и увеличивает сжатие. Иногда сжатие настолько велико, что давление в конце его превышает давление впуска и тормозит работу машины. Поэтому во избежание больших давлений сжатия зачастую не делают перекрыши выпуска, а у быстроходных машин делают недокрышу выпуска так, чтобы при среднем положении золотника выпускная кромка его уже открыла выпускную кромку окна.

16. Важнейшие моменты парораспределения

Рассмотрим подробно совместное движение поршня, золотника с перекрышами, кривошипа и эксцентрика, насаженного под углом заклинения.

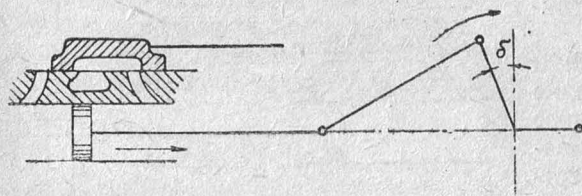
На фиг. 121-а кривошип и поршень находятся в передней мертвой точке. Эксцентрик находится впереди кривошипа на угол заклинения $90 + \delta$, т. е. отодвинулся из своего среднего положения на угол δ и сдвинул золотник из среднего положения на величину перекрыши впуска и линейного предварения впуска, открыв окно на величину линейного предварения. Пар поступает



Фиг. 121-а. Взаимное положение поршня, золотника и кривошипа.

в переднюю полость цилиндра и давит на поршень, заставляя его двигаться назад. Золотник тоже движется назад. Пар из задней полости выходит через открытое заднее окно в конус.

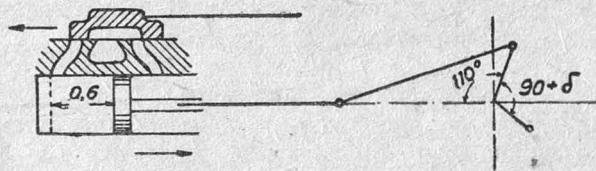
При дальнейшем движении кривошипа по часовой стрелке поршень и золотник будут двигаться по направлению стрелок. В переднюю полость будет производиться впуск пара, а из задней—выпуск.



Фиг. 121-б. Взаимное положение поршня, золотника и кривошипа.

Поршень движется назад, золотник, двигаясь назад, остановился. При дальнейшем движении кривошипа и эксцентрика по стрелке, золотник начнет двигаться в обратном направлении (вперед) и будет прикрывать переднее впускное окно для впуска пара и заднее для выпуска пара из задней полости (фиг. 121-б).

Поршень движется назад, золотник, двигаясь назад, остановился. При дальнейшем движении кривошипа и эксцентрика по стрелке, золотник начнет двигаться в обратном направлении (вперед) и будет прикрывать переднее впускное окно для впуска пара и заднее для выпуска пара из задней полости.

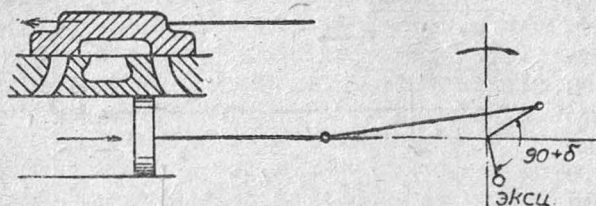


Фиг. 121-в. Взаимное положение поршня, золотника и кривошипа.

Наконец, в момент, изображенный на фиг. 121-в, когда поршень, например, пройдет 0,6 своего хода от передней мертвой точки, впускная, кромка золотника совпадет с впускной кромкой окна, кончится впуск пара в переднюю полость цилиндра, т. е. произойдет отсечка пара или начало расширения. Выпуск пара через заднее окно из задней полости продолжается.

Поршень находится на 0,6 своего хода, кривошип под углом около 110° , а эксцентрик расположен под углом $90 + \delta$ к кривошипу. Поршень движется назад, а золотник вперед и не дошел до своего среднего положения на величину перекрыши.

При дальнейшем движении в передней полости будет происходить расширение пара, т. е. падение его давления вследствие увеличения объема, получающегося при сдвигании поршня назад.



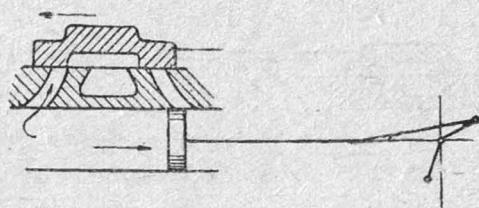
Фиг. 121-г. Взаимное положение поршня, золотника и кривошипа.

Поршень, продолжая двигаться назад, не дошел еще до своего крайнего заднего положения. Золотник движется вперед и не дошел до своего среднего положения.

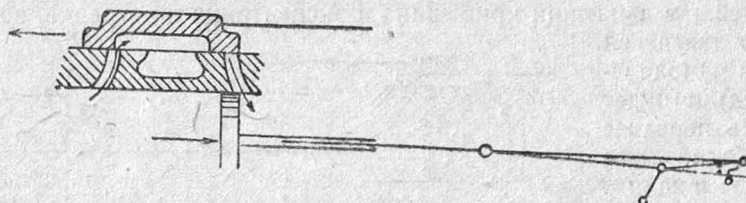
В задней полости происходит начало сжатия пара, а в передней продолжается расширение.

Оба окна закрыты золотником.

При дальнейшем движении кривошипа по часовой стрелке золотник придет в свое среднее положение, при котором кривошип не дойдет до заднего мертвого положения на угол опережения, а эксцентрик будет в своем среднем положении. Оба окна (переднее и заднее) будут перекрыты как со стороны впуска, так и со стороны выпуска на величину перекрыши. Золотник будет двигаться вперед, поршень — назад и еще не дойдет до заднего мертвого положения.



Фиг. 121-д. Взаимное положение поршня, золотника и кривошипа.



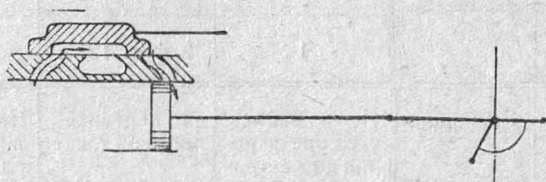
Фиг. 121-е. Взаимное положение поршня, золотника и кривошипа.

Двигаясь вперед, золотник займет положение, соответствующее фиг. 121-д, когда начинается выпуск пара из передней полости через переднее окно. Золотник сдвинулся из среднего положения на величину перекрыши выпуска и продолжает двигаться вперед. Поршень не дошел до своего заднего мертвого положения, продолжает двигаться назад, эксцентрик прошел среднее положение. В передней полости происходит начало выпуска — в задней продолжается сжатие.

На фиг. 121-е показан момент конца сжатия и начало предварения впуска пара в заднюю полость. В передней полости происходит выпуск пара. Золотник отклонился вперед на величину перекрыши выпуска плюс величина открытия окна.

Поршень не дошел до заднего мертвого положения. Сжатие пара в задней полости кончилось, и происходит поступление свежего пара навстречу двигающемуся поршню. Кривошип не дошел до задней мертвой точки на угол предварения впуска.

Наконец, на фиг. 121-ж показано положение золотника, когда кривошип находится в задней мертвой точке. Поршень находится в задней мертвой точке. Эксцентрик отошел от среднего положения на угол опережения и сдвинул золотник из среднего положения вперед на величину перекрыши впуска и линейного предварения впуска.



Фиг. 121-ж. Взаимное положение поршня, золотника и кривошипа.

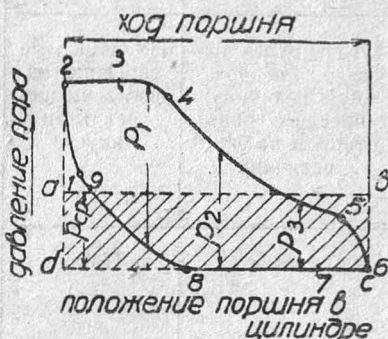
Пар впускается в заднюю полость цилиндра и выпускается из передней в конус. Золотник движется вперед, открывая заднее окно для впуска пара в заднюю полость цилиндра (стр. 124—125).

При дальнейшем поворачивании кривошипа по направлению от задней мертвой точки в передней полости будут происходить те же самые моменты парораспределения, которые были только что рассмотрены в задней полости, а в задней те, которые были в передней. Следовательно, мы можем составить следующую таблицу моментов парораспределения в передней и задней полостях (стр. 124—125).

Все эти моменты могут быть изображены на индикаторной диаграмме (фиг. 122), показывающей зависимость давления пара от положения поршня. По этой диаграмме можно легко отличить один момент парораспределения от другого.

В самом деле при впуске пара давление в полости остается почти одинаковым и изображено линией 2—4. Линия расширения 4—5 показывает, что давление пара падает; 5—6 предварение выпуска — резкое падение давления, 6—8 выпуск — при постоянном давлении. 8—9 сжатие — постепенное повышение давления. 1—2 предварение впуска — быстрый подъем давления до давления впуска.

Задний ход машины. Все изложенное касалось переднего хода машины. Для получения заднего хода машины эксцентрик надо насадить таким образом, чтобы он давал впуск пара в рабочую полость цилиндра и двигал поршень в противоположную сторону.



Фиг. 122. Индикаторная диаграмма.

Таблица моментов

№№ по порядку	Наименование частей	Моменты парораспределе			
		Начало предварения выпуска	Начало выпуска	Наибольшее открытие переднего выпускного окна	Конец выпуска, начало расширения
		1	2 фиг. 121-а	3 фиг. 121-б	4 фиг. 121-в
1	Кривошип	Не дошел на угол предварения до мертвого положения	В передней мертвой точке	Не дошел до среднего положения на угол опережения	Поршень находится в точке, соответствующей отсечке
2	Поршень	"	"	Подходит, но не дошел до середины	"
3	Эксцентрик	Сдвинулся из среднего положения на угол предварения	Сдвинулся из среднего положения на угол опережения	В заднем мертвом положении	Под углом $90+\delta$ к кривошипу, не прошел середины
4	Золотник	Сдвинулся назад на величину перекрыши	Сдвинулся назад на величину перекрыши выпуска и линейн предварения	Отодвинулся назад на наибольшую величину; переднее окно открыто на наиб. величину	Не дошел до середины на величину перекрыши выпуска
5	Движение поршня	Вперед	Остановился	Назад	Назад
6	Движение золотника	Назад	Назад	Остановился	Вперед

Соответственные моменты паро

Выпуск	Выпуск	Выпуск	Выпуск
--------	--------	--------	--------

ния в передней полости

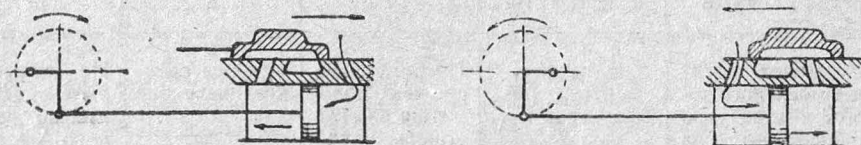
Конец расширения, начало предварения выпуска	Начало выпуска	Наибольшее открытие переднего выпускного окна	Конец выпуска—начало сжатия	Конец сжатия—начало предварения выпуска
5 фиг. 121-е	6 фиг. 121-д	7	8	9
Не дошел до заднего мертвого положения на угол предвар. выпуска	В заднем мертвом положении	Не дошел до среднего положения на угол опережения	Прошел среднее положение	Не дошел на угол предварения до переднего мертвого положения
Не дошел до мертвого заднего положения	"	Подходит, но не дошел до середины	"	"
Под углом $90+\delta$ к кривошипу	Сдвинулся из среднего положения на угол опережения	В переднем мертвом положении	Не дошел до своего среднего положения	Сдвинулся из среднего положения на угол предварения
Сдвинулся вперед на величину перекрыши выпуска	Сдвинулся вперед на перекрышу выпуска линейное предвар. выпуска	Отодвинулся вперед и открыл переднее окно на наибольшую величину для выпуска и заднее для выпуска пара	Не дошел до середины на величину перекрыши выпуска	Сдвинулся назад на перекрышу выпуска
Назад	Остановился	Вперед	Вперед	Вперед
вперед	Вперед	Вперед и остановился	Назад	Назад

распределения в задней полости

Сжатие	Конец предварения выпуска и начало выпуска	Расширение	Расширение	Предварение выпуска
--------	--	------------	------------	---------------------

В самом деле, возьмем схему паровой машины, поршень которой и кривошип находятся в среднем положении. Тогда для того, чтобы паровоз шёл вперед, поршень двигался назад, а колесо вращалось по часовой стрелке, пар должен поступать в переднюю полость, и переднее впускное окно должно быть открыто для впуска пара. Эксцентрик должен быть впереди кривошипа в заднем своем мертвом положении. Таким образом эксцентрик должен быть впереди кривошипа (фиг. 123-а).

Наоборот, при движении паровоза и вращении колес против часовой стрелки пар должен поступать в заднюю полость цилиндра; заднее



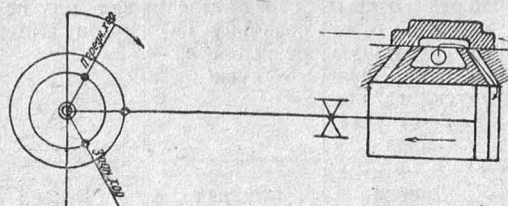
Фиг. 123-а и б. Задний ход.

впускное окно должно быть открыто и, следовательно, эксцентрик должен быть то же впереди кривошипа, но в переднем своем мертвом положении.

Машины, могущие двигаться взад и вперед, называются реверсивными. Постоянные паровые машины в большинстве вращаются всегда в одну сторону.

Паровозная машина, пароходная и некоторые из постоянных строятся реверсивными.

В этих машинах изменение направления вращения достигается постановкой на валу эксцентрикового диска. Однако это требует остановки



Фиг. 124. Внутренний впуск.

Внутренний впуск. У паровозов, имеющих внутренний впуск пара, эксцентрик должен быть закреплен по отношению к кривошипу иначе, чем при наружном впуске. Если впуск внутренний, то пар в паровпускной канал должен поступать через внутреннюю кромку золотника. При переднем ходе паровоза (вращение по часовой стрелке) и нахождении поршня в переднем мертвом положении золотник должен открыть переднее впускное окно на величину линейного предварения впуска и, следовательно, передвинуться вперед из среднего положения на величину перекрыши и линейного предварения. Для обеспечения дальнейшего впуска пара в переднюю полость золотник должен передвигаться вперед. Это возможно будет осуществить, если эксцентрик уже

машины, поэтому паровая машина (еще первых паровозов) была снабжена двумя эксцентриками: одним для переднего и другим для заднего хода, могущими по желанию быстро включаться и выключаться*.

* При применении кулисных механизмов (Гейзингера и др.) без обычных эксцентриков изменения направления хода машины и величины наполнения достигается изменением положения камня в кулисе.

пройдет свое среднее положение, т. е. эксцентрик должен сдвинуться на угол опережения δ из среднего положения $O-O$ и отставать от кривошипа на угол $90-\delta$ при переднем ходе паровоза. Только при таком положении эксцентрика возможно будет обеспечивать открытие переднего выпускного окна и выпуск пара в переднюю полость.

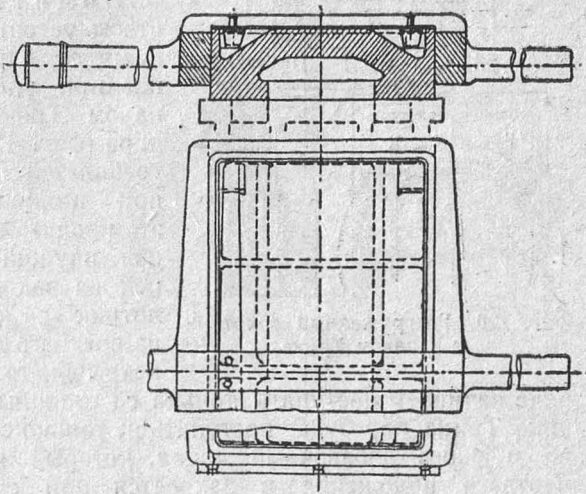
При внутреннем выпуске наружная перекрыша, игравшая при внешнем выпуске роль перекрыши выпуска, служит перекрышей выпуска, а внутренняя перекрыша, служившая перекрышей выпуска, служит перекрышей выпуска. Величины перекрыш с изменением выпуска меняют так же, как и их роль. Важнейшие моменты парораспределения при внутреннем выпуске остаются те же, что и при внешнем.

17. Золотники

По характеру выпуска пара золотники бывают с наружным выпуском и с внутренним. Последние предпочтительно употребляются для перегретого пара вследствие большой его текучести. При внутреннем выпуске употребляют цилиндрические золотники в отличие от плоских, коробчатых, обычно применяемых при наружном выпуске. Иногда же встречаются и круглые золотники с наружным выпуском пара.

Плоский золотник состоит из медной коробки с полями или лапами золотника. Внутренняя часть золотника служит для выпуска отработанного пара в паропроводящую трубу. Золотник заключают в железную или стальную раму, составляющую одно целое с золотниковым штоком (фиг. 125). Плоские золотники неудобны тем, что на их верхнюю поверхность с большой силой давит свежий пар. Давление пара на золотник вызывает большое трение между золотником и зеркалом и как следствие быстрый износ их, а также частей кулисного механизма.

Для устранения этого недостатка, присущего плоским золотникам, применяют разгруженные золотники (фиг. 126), в которых давление на верхнюю поверхность золотника устранено при помощи разгрузочного кольца ф. Борриса. Кольцо ф. Борриса представляет собой два клиновидных кольца, из которых наружное кольцо—разрезное и постоянно прижимается пружинками к внутреннему, надетому на выступ золотника. Последнее в свою очередь прижимается к компенсаторной плите, по которой оно и скользит все время, прижимаясь к ней и к шаровой поверхности выступа золотника. Благодаря такому устройству золотника вся поверхность его, заключенная внутри кольца, избавлена от давления на нее пара.



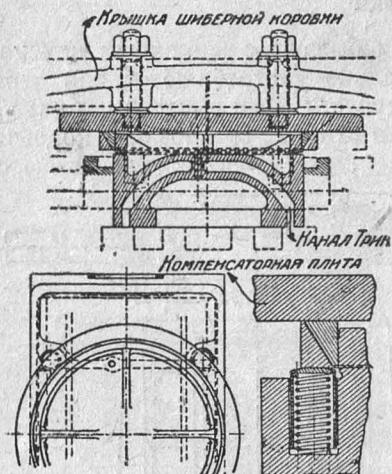
Фиг. 125. Золотник.

Более радикальное устранение трения получается при применении цилиндрических или поршневых золотников, представляющих собой скалку с насаженными и закрепленными на ней двумя цилиндрическими дисками. На эти диски надеваются кольца так же, как и на поршень. Эти диски для удобства сборки золотника иногда делают разъемными. Подобный цилиндрический золотник двигается внутри шиберной коробки по рубашке или золотниковой втулке, вставляемой в нее для предупреждения износа шиберной коробки.

Золотниковая втулка представляет собой чугунный барабан, отливаемый из мягкого чугуна и тщательно обрабатываемый. Во втулке делаются отверстия для впуска, выпуска пара и для смазки. Отдельная втулка удобнее тем, что после износа она легко может быть вынута и заменена новой.

Парораспределение, даваемое цилиндрическим золотником, ничем не отличается от плоского.

Золотник Трика. Для того, чтобы устранить медленный впуск пара и мятие пара при мертвом положении поршня, употребляют золотник с каналом Трика для добавочного впуска пара (фиг. 126). Золотник Трика употребляется как при плоских, так и при цилиндрических золотниках. В этом золотнике имеется добавочный канал, идущий внутри золотника с передней на заднюю его сторону. Когда золотник с каналом Трика сдвинулся из среднего положения на величину перекрыши, то пар в обыкновенном золотнике начинает поступать только со стороны впускной кромки. В золотнике Трика пар будет поступать не только со стороны впускной кромки, но и через добавочный канал, который начнет открываться вблизи мертвого положения и закроется при наибольшем открытии окна. Благодаря добавочному впуску пара при алых открытиях окна происходит быстрый впуск пара без излишней потери давления. Поэтому в особенности золотник Трика хорош во время работы паровоза с малыми отсечками.



Фиг. 126. Разгруженный золотник с каналом Трика.

При закрытом регуляторе поршень паровой машины во время движения паровоза всасывает из дымовой коробки газы сгорания, в которых заключаются твердые несгоревшие частицы угля. Эти газы, всосавшись вместе с мелкими частицами угля в золотниковую коробку, могут сгущать смазку и произвести задиры и порчу золотниковых колец и втулок.

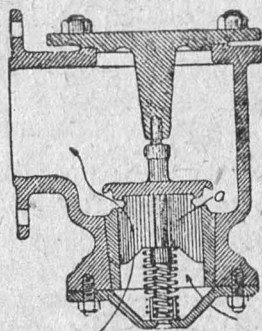
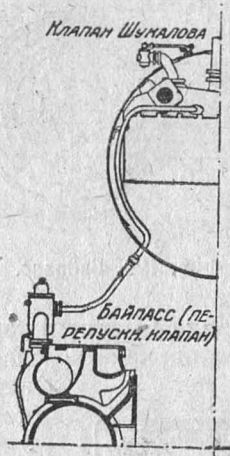
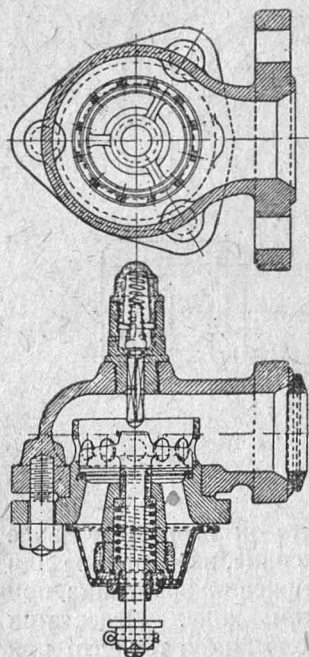
Для предупреждения всасывания продуктов сгорания из дымовой коробки у паровозов с насыщенным паром на цилиндре ставят клапан Риккура (фиг. 127), через который всасывается в цилиндр воздух из окружающей атмосферы. У паровозов с перегревом для этой цели ставят на перегревательную коробку (на камеру насыщенного пара) паровоздушный клапан Лопушинского или Шукалова (фиг. 128), по-

дающий смесь воздуха и пара в цилиндр. Благодаря этому устраняется всасывание газов сгорания.

Клапаны Рикюра ставились только на старых паровозах. Кроме их ставили так называемые перепускные клапаны—байпасы. Байпасы устраняют не только всасывание газов из дымовой коробки, но также и всасывание наружного воздуха, летом содержащего частицы пыли, а зимой имеющего низкую температуру, в то время, как эти последние недостатки имеются при клапанах Рикюра.

Байпас (фиг. 129) представляет собой трубу, соединяющую переднюю и заднюю полости цилиндра. Посредине трубы находится клапан, поднимающийся под давлением воздуха, вытесняемого поршнем из цилиндрической полости. Это позволяет перепускать воздух из передней полости в заднюю, а затем из задней в переднюю и так далее. Таким образом перепускной клапан устраняет как всасывание газов, так и излишнее противодавление на поршень.

Наконец, нашим изобретателем Трофимовым был предложен золотник-байпас, которым и оборудуются с 1924 г. наши паровозы (фиг. 130).



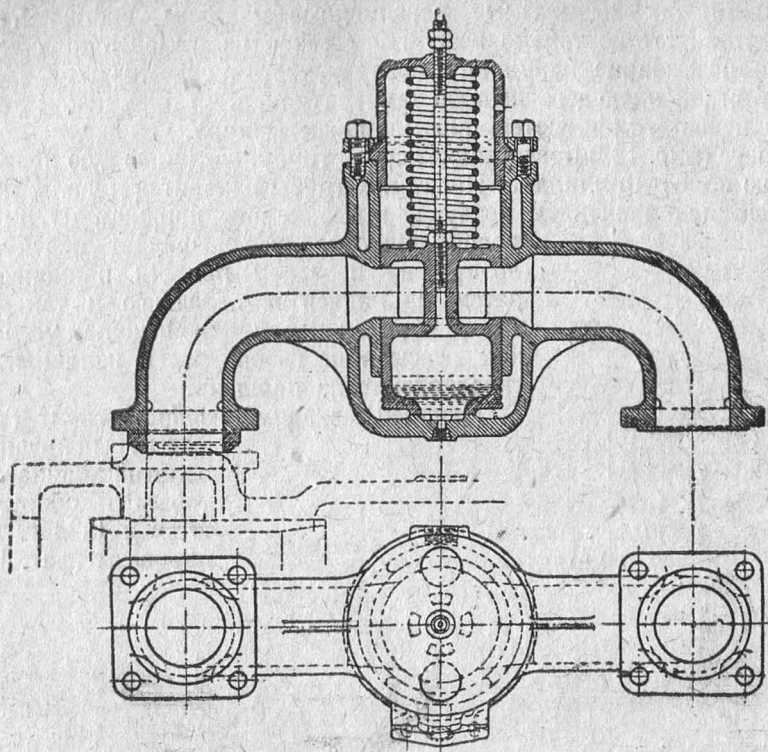
Фиг. 128-а и б. Клапан Шукалова.

Фиг. 127. Клапан Рикюра.

В золотнике Трофимова два золотниковых диска свободно могут перемещаться по штоку. При открытом регуляторе пар, входя в пространство между дисками, нажимает на них, раздвигает и прижимает их к неподвижным упорным шайбам, закрепленным гайками на штоке, и золотник работает как обыкновенный.

При закрытом регуляторе пар перестает давить на диски; они сдвигаются упорными шайбами В к середине золотниковой втулки и остаются там без движения. Между штоком, имеющим посредине меньший диаметр, чем у неподвижной упорной шайбы, и втулкой золотни-

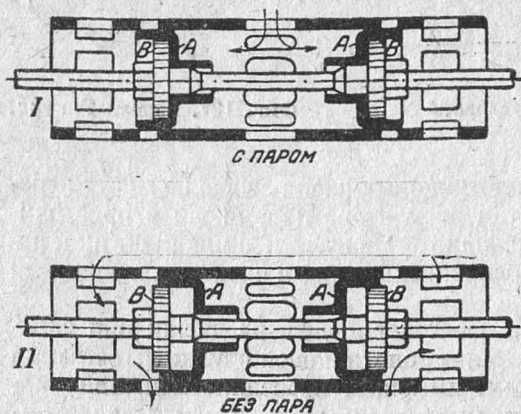
кового диска *A* образуется свободное пространство, через которое и проходит воздух из одной полости цилиндра в другую.



Фиг. 129. Байпас.

Достоинство этого золотника состоит в том, что он уменьшает износ втулки и колец золотника, а также уменьшает усилие, необходимое для

передвижения золотника при холостом ходе. Недостаток этих золотников тот, что при быстром открытии регулятора пар в большом количестве устремляется в золотниковую коробку и быстро раздвигает диски, отчего последние с большой силой ударяются об упорные шайбы. Для устранения этого явления необходимо при открывании регулятора ставить реверс ближе к центру, ибо в этом случае ход золотников будет наименьшим, а следовательно, и сила удара будет ослаблена.



Фиг. 130. Золотник Трофимова.

18. Внешний парораспределительный механизм

Для удобства изменения направления хода и регулирования впуска пара в 1842 г. был введен кулисный механизм, усовершенствованный в 1843 г. Стефенсоном. Он состоял из двух эксцентриков: переднего и заднего хода, каждый из которых соединялся с кулисой. В прорезе последней помещался камень, соединенный с золотниковым штоком.

Если опустить кулису вниз, то золотник будет двигаться от эксцентрика переднего хода и паровоз пойдет вперед (фиг. 131-б).

Наоборот, при положении кулисы вверх золотник будет двигаться от эксцентрика заднего хода, и паровоз пойдет назад. Ход золотника в обоих случаях будет наибольший так же, как и величина впуска пара в цилиндр в обоих случаях будет наибольшей при мертвых положениях эксцентрика.

При промежуточном положении эксцентрика ход золотника будет короче и отсечка меньше.

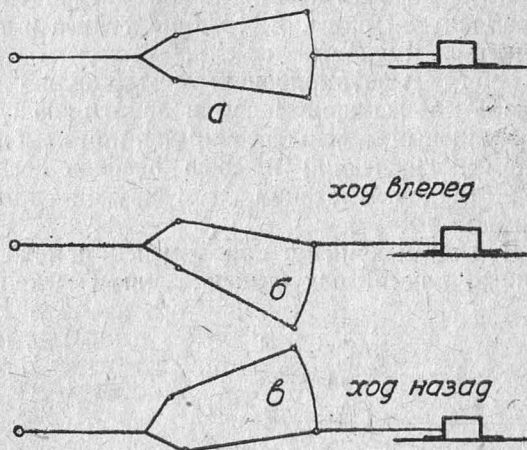
Подобные кулисные механизмы отличаются друг от друга только формой кулисы.

Кулиса, обращенная выпуклостью к золотнику (фиг. 132-а), называется «кулисой Стефенсона». В механизме Гуча кулиса обращена выпуклостью к ведущей оси (фиг. 132-б), а в механизме Аллана кулиса прямая (фиг. 132-в).

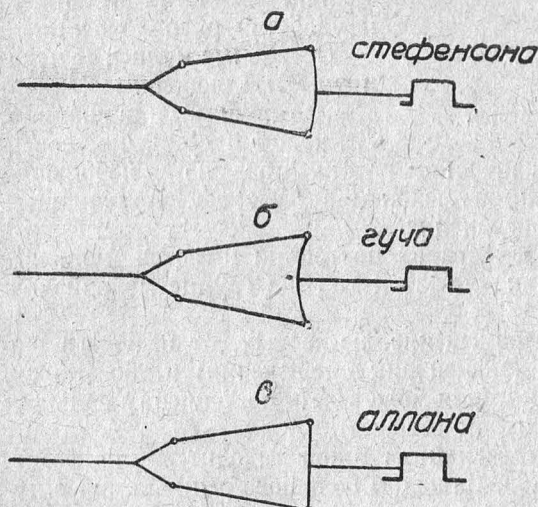
Изменение положения кулисы достигается системой рычагов и тяг, соединяющих кулису с рычагом или в интом—реверсом, находящимся в будке машиниста.

Характерной чертой этих механизмов являются два эксцентрика с острыми углами опережения.

Кулисные механизмы Стефенсона, Аллана и Гуча в настоящее время на новых паровозах не ставятся за исключением некоторых французских паровозов, имеющих кулисный механизм Стефенсона.



Фиг. 131. Кулисное парораспределение.



Фиг. 132. Схемы кулис.

Большинство паровозов имеет парораспределительный механизм Гейзингера или Вальсхарта (фиг. 112), который состоит из контркривошипа, составляющего продолжение ведущего кривошипа и образующего эксцентриситет эксцентрика. Палец этого контркривошипа соединен эксцентриковой тягой с нижней частью кулисы, могущей вращаться на двух цапфах в подшипниках, располагаемых обычно на кронштейне параллельной рамы. В середине кулисы имеет прорез, в котором может двигаться кулисный камень.

Иногда контркривошип представляет отдельную часть, надевающуюся на ведущий палец и закрепляющуюся болтом.

Кулисный камень соединяется при помощи золотникового тяги с маятником*. Последний в свою очередь соединяется, с одной стороны, с золотниковым штоком, а с другой—при помощи поводка—с крейцкопфом.

В этом механизме при изменении хода или отсечки опускается не кулиса, как в трех вышеуказанных механизмах, а кулисный камень.

Изменение положения кулисного камня достигается при помощи рычагов, переводного вала, переводной тяги и реверса (фиг. 133).

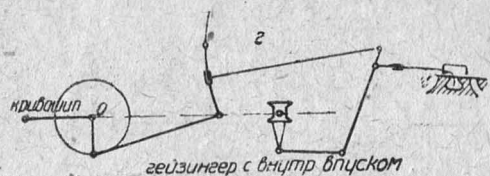
Кулисный механизм Гейзингера получил очень большое распространение благодаря правильности распределения пара, незначительному трению в частях механизма и удобству расположения.

Остальные кулисные механизмы, предложенные Гаквортом, Броуном, Маршаллом, Беккером и др., у нас совершенно не употребляются, да и за границей также пользуются небольшим распространением за исключением механизма Беккера, получившего в Америке небольшое распространение.

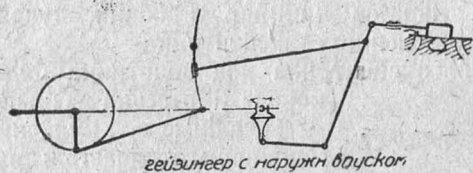
Наконец, у нас на паровозах старой постройки имеются кулисные механизмы Джоя, которые принадлежат к той же группе механизмов, что и Гейзингер.

Здесь золотник получает перемещение, во-первых, от ведущего шатуна или радиуса кривошипа (эксцентрик опережения) и, во-вторых, от движения камня по кулисе, которая может быть поставлена с большим или меньшим наклоном (эксцентрик отсечки).

В настоящее время кулисный механизм Джоя выходит из употребления вследствие своих недостатков. Слишком большое трение камня в кулисе влечет за собой быстрый износ их и кроме того неверное парораспределение, являющееся результатом укрепления кулисы на паровозной



гейзингер с внутр. впуском



гейзингер с наружн. впуском

Фиг. 133. Механизм Гейзингера.

* При наружном впуске верхний конец маятника соединяется с золотником, нижний—с поводком. При внутреннем впуске верхний конец маятника соединяется с кривошипом, нижний—с крейцкопфом и между ними помещается точка соединения маятника и золотникового штока.

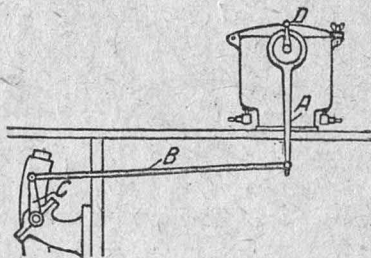
раме и кулисного камня, связанного с частями машины. Благодаря этому при игре рессор получают значительные взаимные перемещения кулисы и камня, искажающие парораспределение.

19. Арматура машины

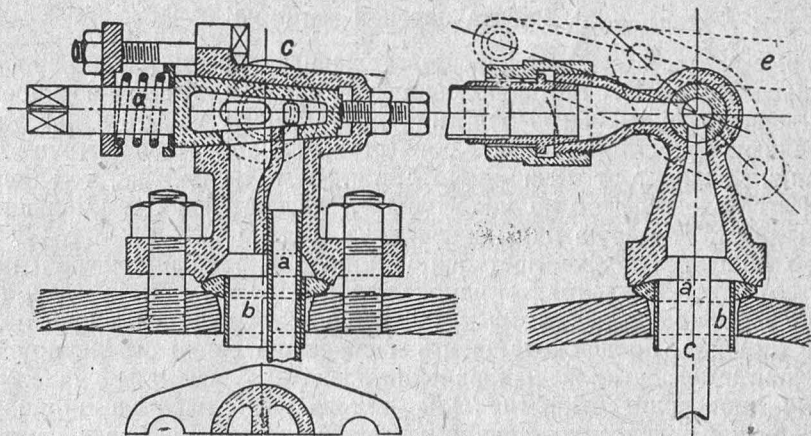
К арматуре машины относятся уже описанные перепускные клапаны, предохранительные клапаны цилиндров, шиберные и цилиндрические продувочные краны, приборы для смазки цилиндров и золотников, кран Лешателье и модераторы.

На каждую полость цилиндра ставят по одному предохранительному клапану для устранения гидравлических ударов. На каждом цилиндре устанавливаются по два цилиндрических и одному шиберному крану для продувки цилиндров и спуска накопившейся конденсационной воды. Открывание этих кранов производится при помощи привода из будки машиниста.

Смазка золотников и цилиндров осуществляется всасывающими и автоматическими пресс-масленками. Пресс-масленка приводится в движение иногда от кулисы, иногда от крейцкопфа (фиг. 134). Такая пресс-масленка автоматически работает во время движения паровоза и представляет собой два ряда насосов, соединенных между собой коро-



Фиг. 134. Привод к пресс-масленке.



Фиг. 135. Кран Лешателье.

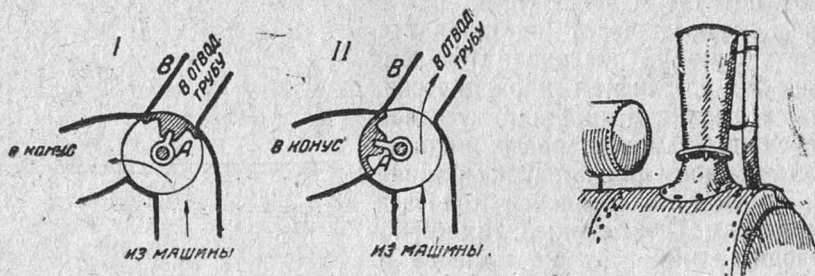
мыслами, надетыми на приводной вал масленки. При поднимании поршенька вверх масло всасывается в насос, при движении вниз нагнетается в маслопровод, а отсюда в цилиндры и золотниковые коробки.

Для смазки цилиндров и золотников ввиду больших температур пара в цилиндрах и шибере паровозов с пароперегревателями применяются вязкие масла. К таким маслам относятся вискозин и вапор.

Смазка паровоза с перегревом простым мазутом не годится, ибо он легко сгорает и ведет к задирам цилиндров и золотников.

Для устранения всасывания воздуха и газов сгорания из дымовой коробки при применении контрпара применяется кран Лешателье. Кран Лешателье состоит из крана, помещаемого на лобовом или шинельном листе кожуха, и имеет две трубки, одна из которых входит в паровое пространство котла, а другая—в водяное (фиг. 135).

Пар и вода, входящие в эти трубки, при открытом кране Лешателье проходят по соединительной трубке в цилиндры и, заолняя цилиндровую полость, препятствуют засасыванию газов из дымовой камеры.



Фиг. 136-а и б. Модератор.

Модератор, изображенный на фиг. 136, служит для ослабления тяги в паровозном котле при езде паровоза с закрытым регулятором. Это осуществляется выпуском пара не в конус, а непосредственно в атмосферу через особую трубу.

20. Работа паровой машины

Пар, вышедший из пароперегревательной коробки (если паровоз с перегревом) проходит по парорабочим трубам в золотниковую коробку.

Парораспределительный золотник распределяет пар то в переднюю, то в заднюю полость цилиндра. Количество выпускаемого золотником пара в цилиндр зависит от величины отсечки. Чем она больше, тем больше количество входящего в цилиндр пара и, следовательно, тем больше будет та работа, которую пар произведет в цилиндре.

Пар во время впуска, поступая в цилиндр, давит на поршень и заставляет его перемещаться в том направлении, в котором он на него давит. Однако после прекращения впуска пара, в период расширения, пар, попавший в цилиндр, продолжает давить на поршень силой своей упругости и передвигает его в том же направлении. Недалеко от мертвого положения поршня происходит открытие окна для выпуска пара из цилиндров. При обратном движении поршня будут происходить поочередно выпуск, сжатие, предварение впуска и, наконец, при новом мертвом положении—опять впуск.

Давление пара на поршень передается посредством скалки связанному с ней крейцкопфу, ведущему шатуну и кривошипу. Последний приводит во вращение ведущий и сцепные скаты, заставляя их катиться по рельсам и передвигать паровоз и прицепленный к нему поезд с большей или меньшей скоростью вперед или назад, в зависимости от направления вращения колес.

Результатом перемещения паровоза и поезда будет полезная работа * перемещения веса поезда на определенное расстояние.

Работа пара в цилиндре или сила, с которой давит пар на поршень, зависит от давления пара. Чем выше будет давление, тем больше нужно будет затратить тепла на нагревание воды и на образование в котле пара этого давления, так как пар будет содержать в себе большее количество тепла.

Таким образом первоисточником работы пара является то количество тепла, которое заключается в нем.

Если бы мы смогли в паровой машине использовать всю энергию пара, т. е. все то количество тепла, которое заключается в образовавшемся паре, то подобная машина была бы верхом совершенства и ее коэффициент полезного действия был бы равен единице. Но вся беда в том, что паровая машина так же, как и гаровой котел, далеко не совершенна и при ее работе будут происходить значительные потери тепла. Поэтому использовать мы сможем лишь небольшую часть его, так называемую индикаторную работу.

Мы уже видели, что давление пара на поршень в любом его положении выражается ординатами индикаторной диаграммы (фиг. 122) P_1, P_2, P_3 и т. д.

Если мы все эти разные давления, действующие при различных положениях поршня, заменим одним и тем же давлением, действующим на всем протяжении поршня, с таким условием, чтобы работа первоначальных разных давлений P_1, P_2 была равна работе при одинаковом среднем давлении $P_{ср}$, то такое давление называется средним индикаторным давлением. Величина среднего индикаторного давления равна высоте — $P_{ср}$ прямоугольника $abcd$ и действует на поршень на всем протяжении его хода. Тогда заштрихованная площадь прямоугольника есть произведение силы на путь, т. е. работа пара в цилиндре за один ход поршня.

Индикаторная диаграмма может быть получена и записана опытным путем, при исследовании экономичности работы машины, самопишущим прибором индикатором, соединяющимся при помощи трубок с передней и задней полостью цилиндра.

Положим, что среднее индикаторное давление, действующее на всем протяжении хода поршня, равно $P_{ср} = 10$ кг на каждый кв. сантиметр площади поршня. Диаметр цилиндра паровоза серии С равен $d = 550$ мм, диаметр штока 85 мм.

Площадь поршня

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14}{4} \cdot 55^2 = 2374,7 \text{ см}^2.$$

Площадь штока

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14}{4} \cdot 8,5^2 = 56,7 \text{ см}^2.$$

Чистая площадь поршня, на которую давит пар,

$$F - f = 2374,7 - 56,7 = 2318,0 \text{ см}^2.$$

Сила давления пара на поршень

$$P = (F - f) P_{ср} = 2318 \cdot 10 = 23180 \text{ кг}.$$

* Работа в секунду называется мощностью машины и позволяет иметь более правильное суждение о работоспособности той или другой машины.

У паровоза серии С ход поршня $s = 700$ мм. Следовательно, работа пара за один ход поршня будет

$$R = Ps = 23180 \cdot 0,7 = 16226 \text{ кгм.}$$

Пусть колеса паровоза делают при этом $n = 60$ оборотов в минуту, или один об/секунду. А так как за один оборот приходится два хода поршня, то, следовательно, работа в секунду или так называемая индикаторная мощность будет * равна

$$L = Ps \cdot n \cdot 2 = P \cdot s \cdot n \cdot 2 = 16226 \cdot 1 \cdot 2 = 32452 \text{ кгм.}$$

Та же мощность в лошадиных силах будет равна **:

$$L = \frac{Psn \cdot 2}{75} = \frac{32452}{75} = 432 \text{ л.с.}$$

21. Экономичность машины

Все количество тепла Q_0 , заключавшееся в паре, поступившем в цилиндр из котла, расходуется:

- во-первых, на полезную индикаторную работу Q_1 ;
- во-вторых, на потери тепла вследствие теплообмена между паром и стенками цилиндра Q_2 ;
- в-третьих, на потери с выхлопным паром, уходящим в конус Q_3 ;
- в-четвертых, на наружное охлаждение цилиндра Q_4 ;
- в-пятых, на утечки пара через неплотности сальников, золотниковых и поршневых колец Q_5 .

Из этого перечисления видно, что в машине потери тепла через неплотность парораспределительных органов соответствует в котле потере от уноса части топлива в несгоревшем виде в трубу и потере от провала через колосники в поддувало. Потеря с выхлопным паром соответствует потере с отходящими газами из котла. Потеря от теплообмена со стенками соответствует в котле неполному сгоранию топлива. Значения остальных величин—полезного тепла и внешнего охлаждения в машине—соответствуют таковым же в котле.

Пусть для разобранного случая у паровоза серии С давление пара, поступающего в золотниковую коробку, равно 13 кгсм^2 , а температура его 300° . При этих условиях теплосодержание одного килограмма пара будет $\lambda_u = 725 \text{ кал.}$, а количество пара, расходуемого за ход поршня, $u = 0,47 \text{ кг.}$

Тогда

$$Q_0 = \lambda_u u = 725 \cdot 0,47 = 340 \text{ кал.}$$

Количество же полезно использованного тепла, т. е. тепла, перешедшего в полезную индикаторную работу за один ход поршня, будет равно

$$Q_1 = A \cdot L = \frac{16226}{427} = 38 \text{ кал.}$$

Здесь A —тепловой эквивалент работы, т. е. число, которое показывает—скольким килограммометрам равна одна калория. Опытами найдено, что 427 кгм эквивалентны одной калории тепла.

* Что соответствует скорости движения паровоза $v =$ около 20 км/час при диаметре колес в 1800 мм.

** Одна лошадиная сила делает работу в 75 кгм.

Отношение тепла, перешедшего в индикаторную работу, к теплу, заключавшемуся в паре, впущенном в цилиндр, называется индикаторным коэффициентом полезного действия машины.

В нашем случае он равен:

$$\eta_{\text{индик.}} = \frac{Q_1}{Q_0} \cdot 100 = \frac{38}{340} = 0,111 = 11,2\%$$

т. е. в машине мы используем всего лишь 11% от всего тепла, заключавшегося в паре в момент впуска в цилиндр. Остальные $100 - 11 = 89\%$ от всего располагаемого тепла бесполезно теряются как потери, неизбежно сопутствующие работе машины. Примерные величины этих потерь показаны в таблице.

Таблица тепловых потерь в машине

Обозначение	Наименование	Значение в процентах от располагаемого тепла
Q_0	Располагаемое тепло	100
Q_1	Тепло, пошедшее на индикаторную работу	10—14
Q_2	Теплообмен	} 5—15 55—65 остальные 1—2 5—10
Q_3	Потеря с выхлопным паром	
Q_4	Наружное охлаждение	
Q_5	Утечки через неплотности	
Q_6	Утечки через неплотности	

Однако 11% тепла от располагаемого использовано в цилиндре паровой машины, а на валу машины *будет использовано меньше на 1 600 кгм вследствие затраты части тепла на преодоление внутреннего трения частей машины (поршней, золотников, сальников и т. д.).

Работа, получаемая на валу в данном случае

$$L_k = 16\,226 - 1\,600 = 14\,626 \text{ кгм}$$

или в тепловых единицах

$$L_k = \frac{14\,626}{427} = 34,2 \text{ кал.}$$

Величина отношения работы, полученной на валу, к работе индикаторной называется механическим коэффициентом полезного действия машины и в нашем случае этот коэффициент равен

$$\eta_m = \frac{L_k}{L} = \frac{14\,626}{16\,226} \cdot 100 = \frac{34,2}{38} = 0,9 = 90\%$$

т. е. на трение пошло $100 - 90 = 10\%$.

Сколько же всего использовала машина?

* В паровозе—на обода движущихся колес.

На этот вопрос дает ответ полный коэффициент полезного действия машины, иначе говоря—отношение тепла (работы), перешедшего в полезную работу на валу машины, к теплу, заключающемуся в паре, впускном в цилиндр:

$$\eta = \frac{L_k}{Q_0} = \frac{34,2}{340} = 0,101, \text{ т. е. } 10,1\%.$$

Следовательно машиной использовано 10,1% от тепла, заключающегося в паре, подведенном к золотниковой коробке.

ГЛАВА XII

ЭКИПАЖНАЯ ЧАСТЬ

22. Рама

Экипажная часть паровоза представляет собой, во-первых, фундамент для расположения на ней котла и паровой машины и, во-вторых, экипаж, позволяющий паровозу перемещаться в том или ином направлении.

Экипажная часть паровоза состоит из рамы, рессорного подвешивания и ходовых частей. Рама паровоза служит для поддержки котла и паровой машины. Ходовые части—для передвижения паровоза, а рессорное подвешивание—для смягчения толчков, передаваемых ходовым частям, раме и расположенным на ней котлу и машине.

Паровозные рамы бывают наружные или внутренние. В современных паровозах рама выполняется либо по типу листовой (все наши паровозы, кроме серии ЕФ), либо брусковой. Как в том, так и в другом случае рама представляет собой солидную конструкцию, способную сопротивляться большим усилиям. Это усилия в вертикальной плоскости от веса расположенных на раме частей котла и машины, а так же в результате работы машины и толчков со стороны пути. В горизонтальной же плоскости они появляются от работы машины и от давлений рельса на колеса, которые возникают при прохождении паровозом кривых частей железнодорожного пути. Поэтому паровозная рама изготавливается из двух продольных балок, соединенных между собой поперечными креплениями.

Листовая рама представляет собой клепаную конструкцию из листов и уголников (фиг. 137), прикрепленных к главным продольным листам, делаемым из толстого железа толщиной до 32 мм.

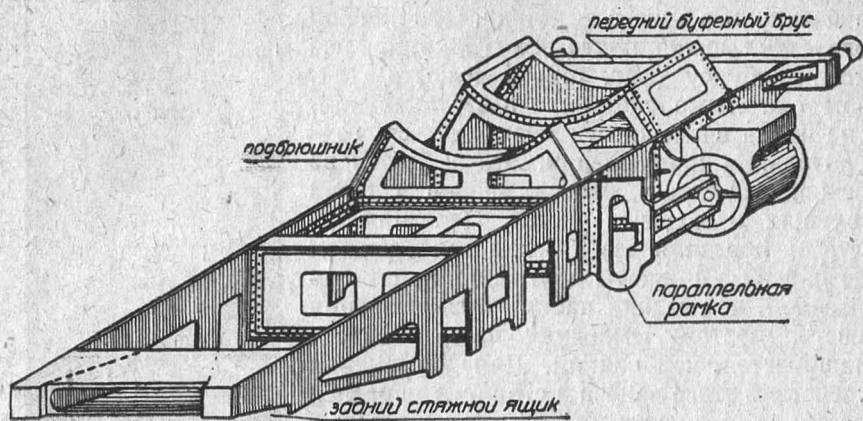
Часть междурамных креплений вместо клепаных делается иногда для удешевления стоимости постройки в виде стального фасонного литья.

Впереди продольные рамы в поперечном направлении соединены передним буферным брусом, одновременно служащим опорой для укрепления буферов и упряжи. Там, где расположены цилиндры, обычно впереди паровоза, ставят междуцилиндровое крепление, служащее для придания особой жесткости этому месту. В то же время верхняя часть этого крепления, имеющая название фонаря, служит для неподвижного прикрепления дымовой коробки котла.

Задние концы продольных рам соединяются фасонной стальной отливкой—задним упряжным ящиком, который помимо соединения продольных рам и опоры для задней подвижной части котла служит также

для укрепления буферных приборов и сцепления между паровозом и тендером. Наконц, кроме этих обязательных креплений, иногда ставят так называемые подбрюшники, г. е. вертикальные поперечные листы с угольниками, имеющие своим назначением поддерживать котел.

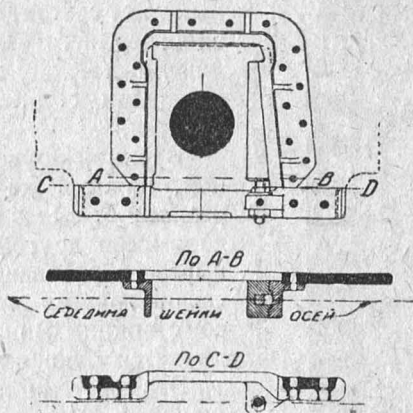
Для создания второй опоры для параллели, к продольным рамным листам прикрепляют параллельные рамки. При внутренних цилиндрах



Фиг. 137. Листовая рама.

параллельная рамка одновременно служит и поперечным креплением. Для установки в рамах осей с буксами, в продольных рамных листах делают буксовые вырезы. Поэтому это место рамы, над вырезом, является самым слабым по прочности.

Для укрепления рамы ставят подбуксовую струнку после постановки на место буксы. Струнка плотно охватывает концы в нижней части выреза и только при этом условии она воспринимает часть усилия и тем самым разгружает ослабленное сечение рамы. Ослабленное сечение усиливается специальными накладками, приклепываемыми над вырезом. Иногда эти накладки составляют одно целое с фланцами буксовых челюстей, а иногда, если позволяет конструкция, просто увеличивают высоту рамы над вырезом.



Фиг. 138. Вырез в раме для буксы.

Для облегчения веса рамы в ней делают дополнительные вырезы, обычно располагаемые между вырезами для букс. Наконец, во избежание перекоса продольных рам, ставят горизонтальные крепления, клепанные или литые, располагаемые над осями. Эти крепления имеют большие вырезы для возможности осмотра внутренней части паровоза.

Для установки осевых букс служат буксовые челюсти, устройство которых ясно на фиг. 138. Буксовые челюсти боковыми фланцами при-

креплены при помощи болтов или заклепок к рамам. Форма передней и задней буксовых челюсти неодинакова. В то время как задняя челюсть имеет вертикальное буксовое лицо, переднее лицо имеет уклон, так что внизу расстояние от середины оси больше, чем вверху. Сделано это с целью помещения между буксой и буксовой челюстью буксового клина. При помощи этого клина можно, подтягивая гайки, хорошо закрепить буксу (фиг. 142) в челюсти так, чтобы она легко скользила в вертикальном, но не имела возможности перемещаться в горизонтальном направлении. Это делается во избежание быстрого износа, ударов и порчи движущих и ходовых частей. Передняя челюсть и передняя часть буксы при переднем ходе паровоза прижаты друг к другу с большей силой, чем задняя часть буксы и задняя челюсть, поэтому передняя часть быстрее изнашивается, чем задняя. Для устранения последствий этого износа и ставят в передней части буксы клин, который периодически подтягивается.

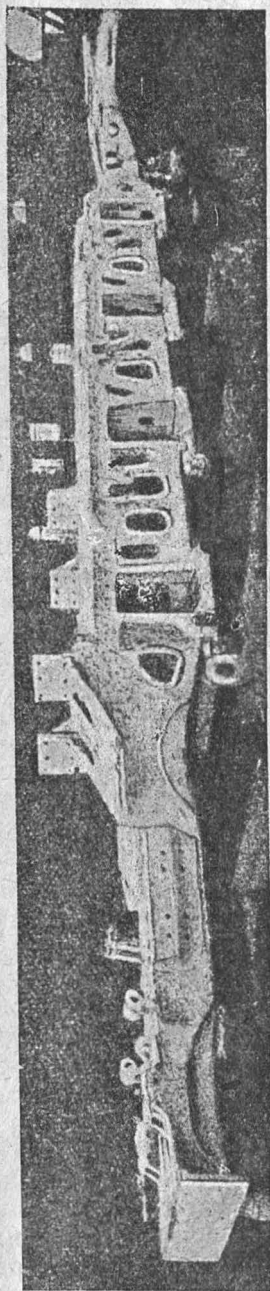
Брусковые рамы (фиг. 139-а) также состоят из двух продольных рам-брусков толщиной 100 × 100 мм или до 120 × 120 мм. Каждая из продольных рам состоит из двух брусков: верхнего и нижнего, соединенных между собой вертикальными стойками того же сечения.

Верхний брусок — сплошной, нижний же идет с перерывами от выреза одной оси до выреза другой. Буксовые вырезы образованы стойками, соединяющими верхний брусок с нижним. Внизу вырез соединяется буксовой стрункой.

Эта система рам, появившаяся в Америке, начинает прививаться и в Европе из-за присущих ей достоинств: прочности, легкости, доступности для осмотра внутренних частей и возможности рационального конструирования цилиндров.



Фиг. 139-а. Брусковая рама.



Фиг. 139-б. Цельнолитая рама.

Там же, в Америке, в недавнее время появились, как уже отмечалось, стальные литые рамы, отлитые заодно со всеми поперечными кре-

плениями, цилиндрами и т. д. На фиг. 139-б, представлена такая сплошная рама, имеющая общий вес около 37 т. Ясно, что применение таких рам сильно упрощает изготовление их, удешевляет стоимость изготовления и ремонта, а также обеспечивает большую надежность в работе благодаря большой своей жесткости.

23. Ходовые части

Ходовые части паровоза состоят из скатов и букс, надеваемых на шейки скатов.

Букса служит для передачи давления от рамы, с опирающимися на нее котлом и машиной, на шейки осей. Передача давления от рамы к буксе осуществляется при помощи рессорного подвешивания, с одной стороны прикрепленного к раме, а с другой стороны опирающегося на буксы (фиг. 140).

Колесная пара (фиг. 141), представляющая собой ось с двумя колесами, наглухо на нее надетыми под прессом и закрепленными на ней шпонками, имеет следующие характерные особенности:

1) неизменность расстояния между колесами 1440 мм. Допускаются отклонения в ту или другую сторону на 3 мм;

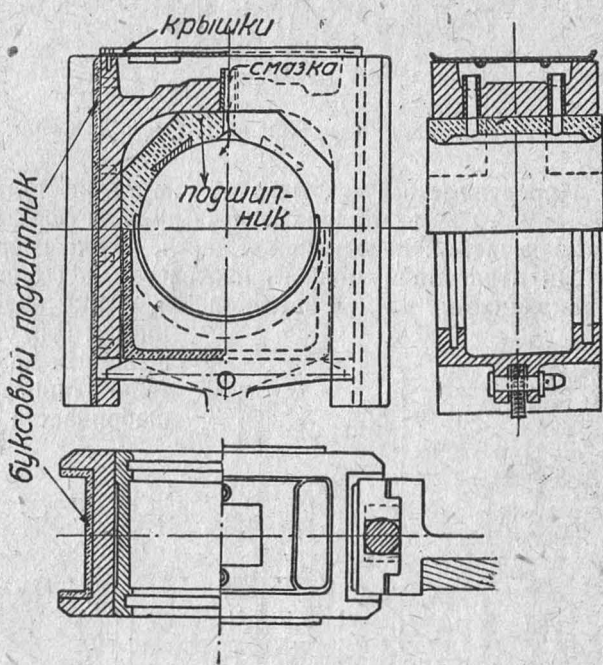
2) наличие бандажей для возможности легкой замены износившегося обода колеса;

3) наличие гребней у бандажей для направления движущегося паровоза по рельсам;

4) коничность бандажей, позволяющая внешнему колесу при движении по кривой двигаться без скольжения. В противном случае колесо, катящееся по окружности большого радиуса, часть пути проходило бы скольжением, так как путь внешнего колеса больше, чем внутреннего;

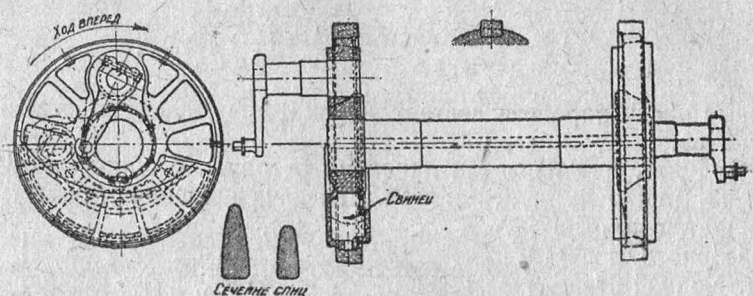
5) параллельность всех осей, необходимая, во-первых, для правильности работы машины, а во-вторых, чтобы не было набегания гребней колеса на внутренние грани рельсов, отчего создавалось бы излишнее сопротивление движению;

6) внутренние шейки осей и передача давления на шейку через буксу. Внутренние шейки осей вызываются тем обстоятельством, что в паро-



Фиг. 140. Букса.

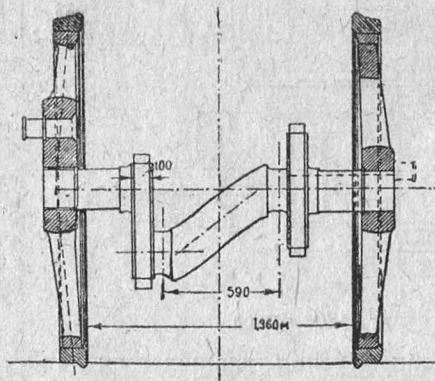
возной машине необходимо иметь у сцепных колес кривошип, соединенные между собой дышлами. Хотя иногда встречаются оси с внешними шейками, но в этом случае ось и кривошип выходят более громоздкими и большую часть употребляются у маломощных паровозов (напр. узкоколейных).



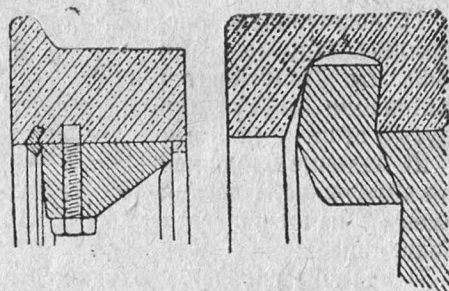
Фиг. 141. Ось с колесами.

Паровозные оси отковываются из литой стали и после проковки идут на станок, где и обтачиваются до нужной формы и размера. Ось состоит из трех частей: подступичной части, шейки и средней части.

На подступичную часть надевается под большим давлением колесо и закрепляется на ней шпонкой. На шейку надевается букса с подшипником. Для уменьшения трения между шейкой и подшипником, шейка тщательно шлифуется, а подшипник пришабривается к ней. Передвижение



Фиг. 142. Коленчатая ось.



Фиг. 143. Укрепление бандажа.

подшипника по шейке вдоль оси ограничено, с одной стороны, подступичной частью, а с другой—заплечиком.

Паровозное колесо состоит из ступицы (на фиг. 142 показана конструкция двухколенчатой паровозной оси), спиц и обода, на который надет бандаж. Кроме того во всех сцепных колесах имеется: кривошип с запрессованным в него пальцем, ведущим или сцепным, на которые надеваются подшипники и дышла. Кроме того у обода колеса помещается противовес. Центробежная сила противовеса уравнивает центро-

бежную силу всех вращающихся и часть силы инерции возвратно движущихся масс паровозной машины. Благодаря этому движение паровоза становится более плавным. Его меньше бросает из стороны в сторону и дергает взад и вперед. Благодаря противовесу же давление колес на рельсы во время движения паровоза изменяется в небольших пределах, гарантирующих безопасность движения. Форма стального бандажа показана на фиг. 143. Диаметр внутренней части бандажа перед посадкой на обод несколько меньше, чем наружный диаметр обода. Поэтому бандаж одевается на обод в горячем состоянии и закрепляется на нем показанным на фиг. 143 способом. Он состоит в том, что после одевания бандажа на обод в канавку бандажа вставляется фасонное кольцо.

Для передачи веса паровоза на шейку служит букса. Букса состоит из двух частей. В верхней части помещается подшипник, фитиль и углубление для смазки (фиг. 140). Нижняя служит для помещения в нее подбивки. Букса помещается в вырезе рамы и для правильной работы машины должна иметь только вертикальное перемещение. Последнее осуществляется клином, который необходимо время от времени подтягивать в зависимости от игры букс. Игра букс может быть легко замечена по характерному стуку, издаваемому буксой.

Для уменьшения износа буксы и челюсти в трущихся местах буксы ставят медные наделки, привинчиваемые к буксе шурупами с потайными головками.

24. Рессорное подвешивание

Рессорное подвешивание в паровозе служит для передачи веса паровоза буксам, надлежащего его распределения между отдельными осями, а также для смягчения толчков и ударов на раму и котел. Эти толчки вызываются неровностями пути и бандажей. Рессорное подвешивание состоит из спиральных или, по большей части, листовых рессор, рессорных подвесок, которыми рессора соединена с рамой, рессорных упоров, которыми передается давление от рессоры на буксу, и, наконец, балансиров, служащих для выравнивания нагрузки смежных осей или распределения общей нагрузки между отдельными осями в желаемом отношении.

Листовая рессора состоит из отдельных листов, число которых доходит до 12—14. Два крайних верхних листа имеют полную длину. Каждый из остальных листов имеет меньшую длину, чем предыдущий. Все листы соединены вместе рессорным хомутом. Нижняя часть хомута представляет собой упорку, передающую давление на буксу.

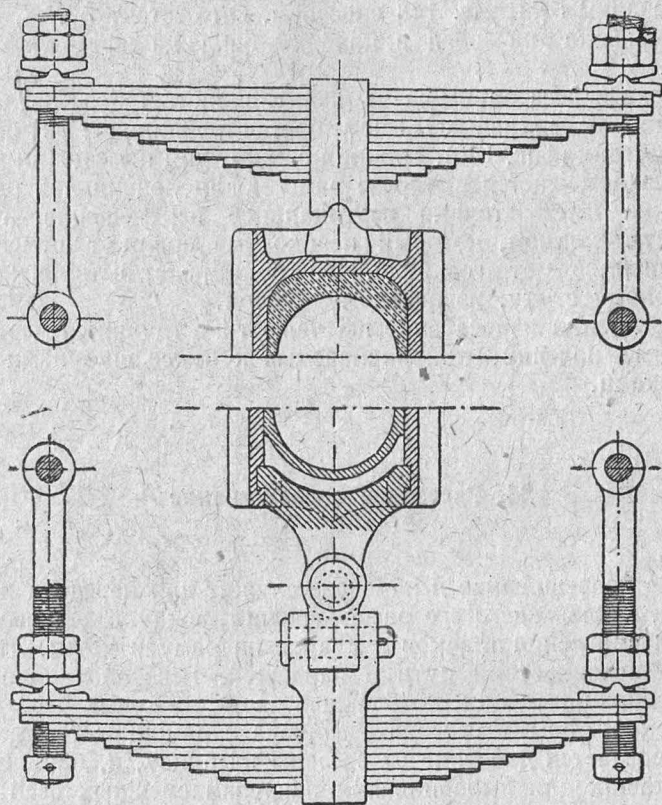
Края рессоры соединяются рессорными подвесками либо с рамой, либо с балансиром, имеющим в средней части точку вращения, укрепленную на раме.

Рессоры располагаются сверху или снизу осей в зависимости от обстоятельств, делающих возможным применение верхнего или нижнего подвешивания. На фиг. 144 и 144а показаны типы верхнего и нижнего подвешивания, а на фиг. 145—балансирное соединение рессор.

25. Тележки

Для улучшения условий движения паровоза как в кривых частях пути, так и в прямых, а также с целью повышения безопасности приходится прибегать либо к специальным устройствам в конструкции ходовых частей, либо к применению одно- или двухосных тележек.

С этой целью в первую очередь применяют бандажи с подрезанными или сточенными гребнями, а также оси с боковыми разбегами. Боковой разбег оси достигается за счет уменьшения длины подшипника по срав-



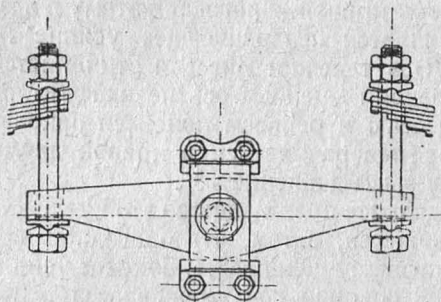
Фиг. 144-а и б. Рессора и ее подвешивание.

нению с длиной шейки. Этот способ применяется только для получения небольшого перемещения оси. Большой разбег в шейках вызвал бы беспокойный ход паровоза вследствие влияния его на шейке и отсутствия сил, могущих сопротивляться этому влиянию, кроме сил трения между подшипником и шейкой.

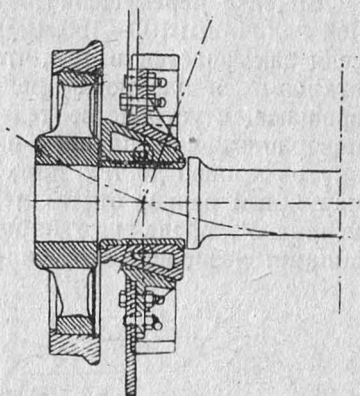
Для возможности бокового перемещения оси при подобном устройстве необходимо удлинить палец кривошипа той оси, которая имеет перемещение. Подобное устройство для ведущей оси вследствие ее непосредственного соединения с ведущим дышлом не может быть допущено, так как боковое перемещение, осуществленное за счет разбега подшипника в шейке ведущей оси, при сдвиге оси может вызвать поломку ведущего дышла.

Это обстоятельство заставляет прибегать к частичному срезыванию гребня (сточенная реборда) и даже к полному срезыванию его (безребордная ось) у ведущих осей при необходимости бокового перемещения этой оси. Эти же меры применяются и к прочим сцепным осям, за исключением первой и последней, в которых не применяются безребордные оси.

В случае необходимости применять оси с большим боковым перемещением переходят либо к радиально-устанавливающимся осям, либо к тележкам одноосным и двухосным. Как те, так и другие применяются и для бегунковых и для поддерживающих осей.



Фиг. 145. Рессорный балансир.



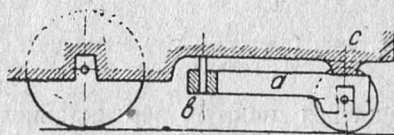
Фиг. 146. Радиальная ось Адамса.

Радиально-устанавливающиеся оси имеют радиальные буксы, которые позволяют этой оси сдвигаться в бок на некоторый угол в горизонтальной плоскости (фиг. 146).

Ось имеет возможность сдвигаться в бок благодаря цилиндрическим направляющим и таким же буксовым лапам, описанным из одного и того же центра.

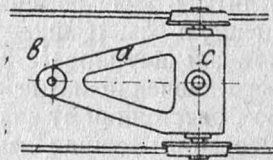
Для удерживания радиально-устанавливающихся осей в среднем положении в прямых частях пути и для возврата в среднее положение по выходе из кривой служат возвращающие устройства в виде рессор или же в виде особых скользунов. Последние устраиваются между верхней частью буксы и нижней поверхностью рессорной упорки в виде наклонных плоскостей. Благодаря этим плоскостям собственная нагрузка буксы этой оси дает горизонтальные силы, возвращающие ось в среднее положение.

Одноосная тележка типа Бисселя (фиг. 147) имеет ось вращения в шкворне на заднем конце вожжи. Нагрузка на тележку передается в передней части. Между колесами тележечной оси ставится отдельная опора-скользун для передачи вертикальной нагрузки. Пере-



Фиг. 147.

Тележка Бисселя.



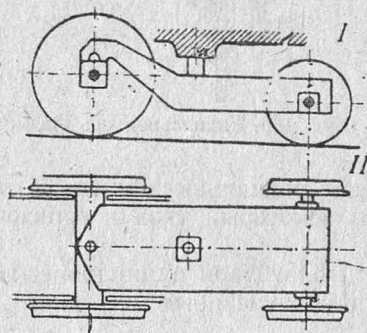
дача нагрузки большею частью производится через клиновые секторы или наклонные подвески, не только передающие вес, приходящийся на ось, но и возвращающие ось в среднее положение. При малейшем отклонении тележки от середины появляются горизонтальные силы, старающиеся вернуть тележку в ее среднее положение. Возвращающее устройство подобных тележек осуществляют при помощи рессор или пружин, либо, как уже было отмечено, особым подвешиванием (люлькой), как на паровозе серии Ш, или при помощи секторов, как у задней тележки серии Л и С^У.

Боковое перемещение в тележке Бисселя может достигать значительной величины: 100—150 мм на сторону. Особенность работы тележки Бисселя заключается в том, что при входе в кривую ось Бисселя начинает отклоняться наружным рельсом внутрь кривой. Благодаря этому в возвращающем устройстве тележки появляется возвращающее усилие *B*, поворачивающее паровоз в кривой. Ось тележки Бисселя отклоняется внутрь кривой до тех пор, пока передняя сцепная ось не набегит на наружный рельс, отчего между этой осью и рельсом появится боковое усилие *У*, после чего паровоз будет поворачиваться в кривой двумя силами: возвращающей силой *B* и боковым давлением *У*.

Основное преимущество этой тележки заключается в том, что благодаря возвращающему усилию *B*, боковое усилие первой сцепной оси уменьшается в 2—2,5 раза.

Недостаток тележки Бисселя тот, что первая сцепная ось, не имеющая бокового перемещения с возвращающей силой, набегает на наружный рельс с ударом.

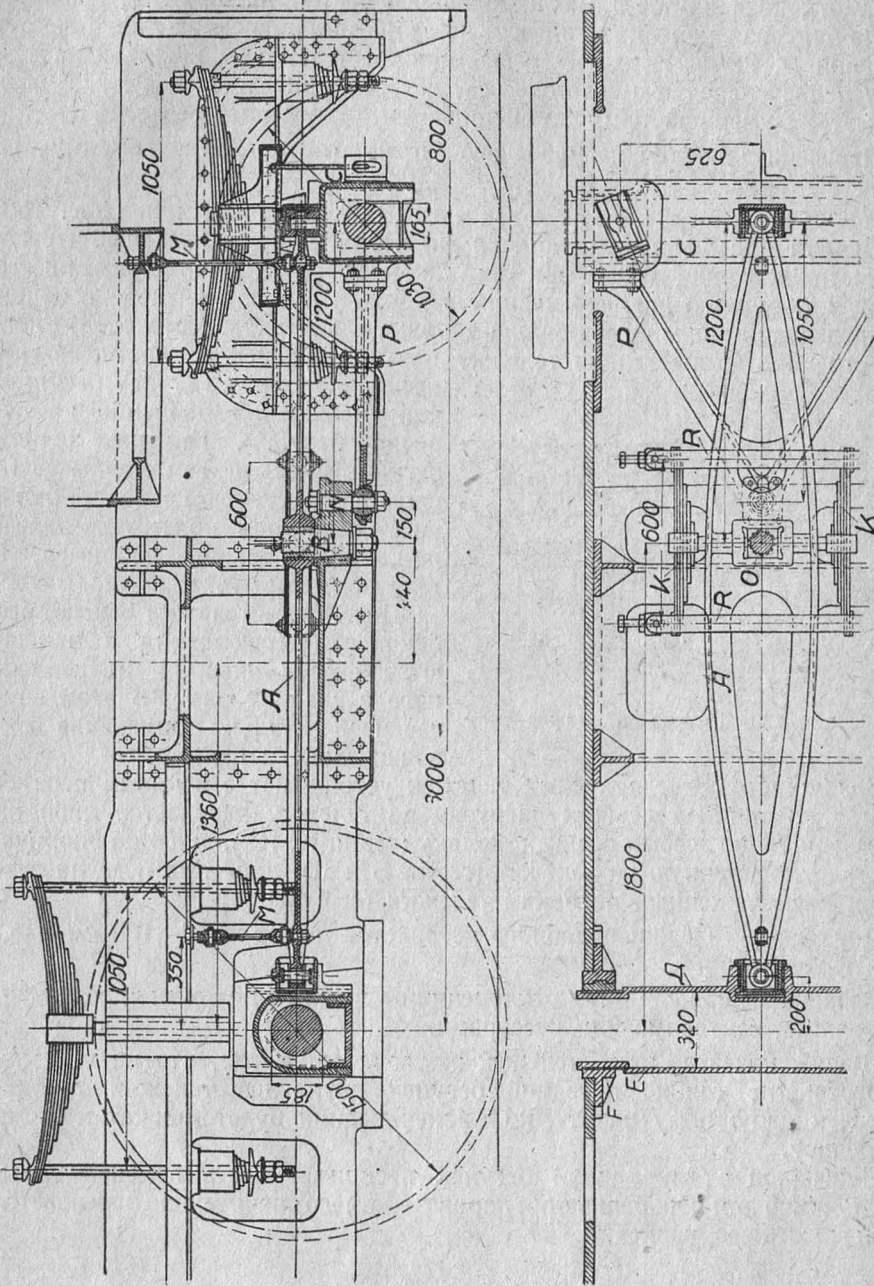
а) Тележка Краусса. Эта тележка (фиг. 148 и 149) представляет собой соединение передней бегунковой оси с передней сцепной осью. Обе оси соединяются между собой горизонтальным рычагом *A*, могущим



Фиг. 148. Тележка Краусса-Гельмгольца.

вращаться вокруг вертикального шкворня *B*, укрепленного в главной раме. Обе буксы бегунковой оси представляют одно целое с продолговатой коробкой *C*, открытой снизу. Концы этой коробки отлиты в виде обычных бусок. Подобная же коробка надета на первую сцепную ось. Концы рычага *A* соединяют между собой обе коробки при помощи шарниров с вертикальными шкворнями. Для уменьшения бокового давления на переднюю сцепную ось шкворень помещен на некотором расстоянии от середины рычага *A*, ближе к передней бегунковой оси. Передняя сцепная ось сможет перемещаться на 25 мм в сторону благодаря зазору между буксой и буксовой челюстью.

К коробке бегунковой оси прикреплено водило *P*, образующее с ней треугольник, напоминающий вожу Бисселя. В точке *D* водило вращается в шкворне, укрепленном в главной раме. Для возможности вертикального перемещения бегунковой оси шкворень *D* заключен в шаровой стакан. Возвращающая сила создается двумя рессорами *K*, хвостовики хомутов которых нажимают на камень, охватывающий шкворень *B*,



Фиг. 149. Тележка Крауса-Гельмгольца.

помещающийся в прорезе рычага А и могущий иметь боковое перемещение до 15 мм на сторону.

При входе в кривую передний бегунок, набегая на наружный рельс, будет отходить внутрь кривой, вращаясь вокруг шкворня Д. Одновременно буксовая коробка С поведет за собой рычаг А, вращая его вокруг шкворня В. Рычаг А задним своим концом будет передвигать к наружному рельсу переднюю сцепную ось, которая прижмется к нему. Благодаря этому уменьшается удар сцепной оси о наружный рельс.

Передача давления на переднюю бегунковую ось происходит при помощи секторов.

б) Двухосные тележки. Двухосные тележки (фиг. 150) применяют для больших скоростей движения с целью повышения безопасности движения как в прямых, так и в кривых. Они применяются также для улучшения вписывания в кривые, а в равной мере с целью распределения давления на большее число поддерживающих осей. Главное строение опирается на тележку почти в средней ее части, обычно несколько ближе заднему бегунку, для уменьшения давления на передний бегунок. Так как задний бегунок имеет в этом случае большую нагрузку, то он обладает большим диаметром колес, чем передний, как сделано, например, в тележке серии М.

Двухосные тележки бывают без бокового перемещения и вращаются вокруг шкворня, закрепленного в главной раме. В этом случае необязательно применение возвращающих устройств.

Большинство же двухосных тележек устраивают с боковым перемещением. В таких тележках нагрузка на тележку передается либо на подвешенную на особых серьгах люльку (серии К, К^У), либо на опорную чашку, укрепленную на тележке (серии Б и Л), либо при помощи секторов, расположенных по бокам тележки (сер. М).

Двухосные тележки подобного устройства имеют от 40—100 мм бокового перемещения*.

Возвращающая сила при отклонении от среднего положения создается подвесками, секторами или рессорами.

Ценное качество этих тележек заключается в том, что на высоких скоростях не только передний бегунок двухосной тележки прижимается к наружному рельсу, но также и задний будет прижат к этому же рельсу.

Благодаря этому задний бегунок воспримет часть боковой силы, необходимой для поворачивания паровоза, отчего значительно повышается безопасность его движения.

* Тележка паровоза 2—6—1, недавно построенного в Америке, имеет отклонение больше 200 мм.

26. Тормоза

Идея торможения заключается в том, что в особом тормозном цилиндре происходит нажатие воздуха на поршень, которое, передаваясь через ряд рычагов, нажимает на тормозные колодки, прижимающиеся с известной силой к бандажам вращающихся колес. Нажатие колодок на колеса вызывает силу трения, препятствующую свободному вращению колеса. Благодаря этому происходит замедление движения паровоза, а затем и полная его остановка. Наряду с воздушными тормозами применяется и ручной тормоз, сущность действия которого остается та же, что и в воздушном. В настоящее время у нас применяются две системы тормозов: старая—Вестингауза и новая—Казанцева, испытанная в 1925 г. на Закавказских железных дорогах и показавшая ряд преимуществ по сравнению с другими системами. Последние испытания тормозов доказали блестящие качества нового тормоза Матросова, который принят НКПС как типовой и которым будет оборудоваться наш подвижной состав.

27. Силы, развивающиеся в экипаже, и их влияние на работу паровоза

Мы видели, что при движении паровоза большинство ходовых частей находится в движении друг относительно друга. При этом движении будут неизбежно развиваться силы трения, как бы хорошо ни были обработаны эти части и как бы они ни смазывались. Появление сил трения при движении тел друг относительно друга объясняется неровностями соприкасающихся поверхностей движущихся тел. При движении этих поверхностей друг по другу происходит зацепление выступов друг за друга, отчего и создается сопротивление свободному перемещению тел. Кроме того появление сил трения объясняется так же молекулярным сцеплением частиц движущихся тел.

Благодаря силам трения в любой машине недостаточно подводить (для приведения ее в движение или для поддержания равномерного хода) только полезную работу, но нужно еще преодолевать работу вредных сопротивлений. Поэтому часть подведенной работы затратится на преодоление работы сил трения. Таким образом подведенная работа L_m равна сумме работ, полезно использованной L_u и работы на преодоление вредных сопротивлений (сил трения) L_n .

$$\text{т. е. } L_m = L_u + L_n \text{ или полезная работа } L_u = L_m - L_n.$$

Отсюда видно, что полезная работа машины будет тем больше, чем меньше работа сил трения.

Для суждения об экономичности работы машины может служить величина отношения полученной работы к работе затраченной, называемая механическим коэффициентом полезного действия т. е.

$$\eta_m = \frac{L_m - L_n}{L_m} = 1 - \frac{L_n}{L_m}.$$

Отсюда видим, что механический коэффициент полезного действия η_m всегда меньше единицы. Но чем ближе он к единице, тем экономичнее машина.

В нашем примере с паровозом серии С часть работы, которую развивает машина на валу L_m будет затрачиваться на преодоление работы

сил трения в подшипниках ведущих осей, сцепных дышел, между буксовыми направляющими и буксами и т. д. Эта часть работы в нашем случае составляет $L_n = 726$ кгм и, следовательно, механический коэффициент полезного действия будет равен:

$$\eta_m = \frac{L_m - L_n}{L_m} = \frac{14626 - 726}{14626} 100 = 95\%$$

т. е. на трение в частях экипажа тратится 5%.

Таким образом от всего количества тепла, которое мы ввели в топку, окончательно нами использовано всего лишь $\frac{13900}{427} = 42,5$ кал.

Теперь уже не трудно определить общий коэффициент полезного действия паровоза серии С, зная что мы ввели в топку в одну секунду 488 кал. Таким образом общий коэффициент полезного действия всего паровоза получим равным

$$\eta_s = \frac{32,5}{488} 100 = 0,0665 = 6,65\%$$

Следовательно, лишь 6,65% от всего введенного в топку тепла полезно использовано в паровозе. Величина очень малая. Поэтому со времени постройки первого паровоза, в котором коэффициент полезного действия был еще ниже, мысли всех паровозников были направлены на увеличение использования вводимого в топку топлива.

На фиг. 151 представлена диаграмма распределения потерь тепла в паровозе, наглядно показывающая—какую незначительную часть от всего тепла составляет полезно-использованное тепло.

ГЛАВА XIII

КРАТКИЙ ОБЗОР ДОСТИЖЕНИЙ ПАРОВОЗНОЙ ТЕХНИКИ

28. Причины, вызывающие необходимость усовершенствования паровоза

Коэффициент полезного действия современного паровоза, оборудованного всеми усовершенствованиями, не превышает сейчас 8—10%, а в рядовых эксплуатационных условиях не редко составляет 5—6%.

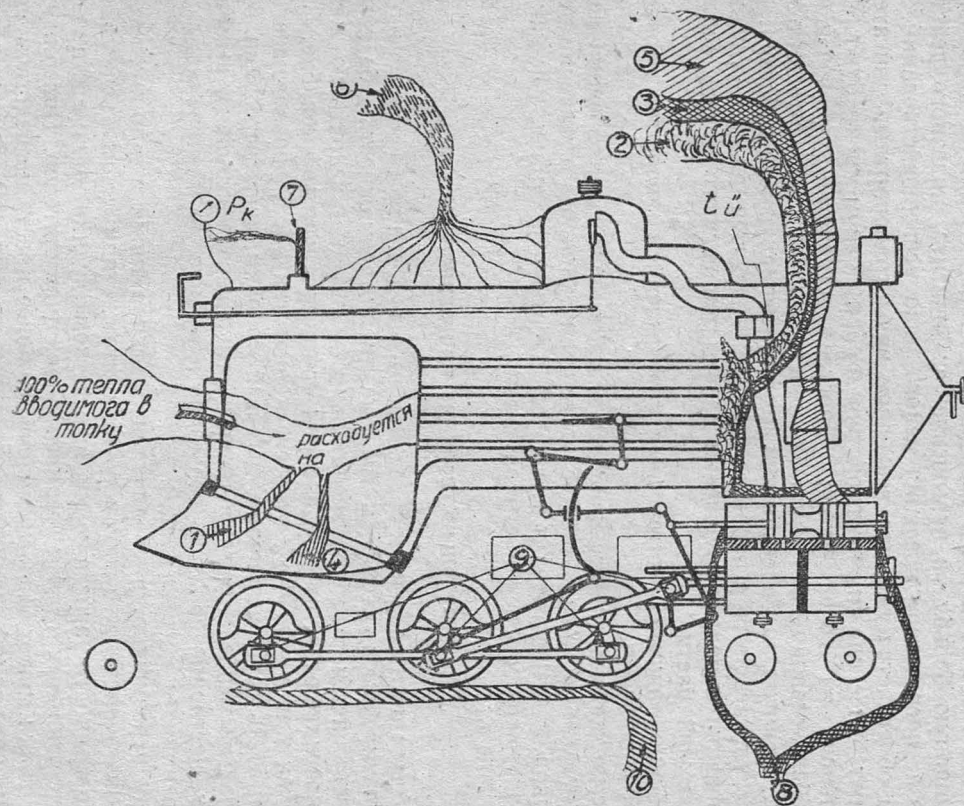
По сравнению с первым паровозом Стефенсона, имевшим коэффициент полезного действия всего лишь 1—1,5% в современном паровозе сделан огромный скачок вперед в отношении улучшения использования топлива, вводимого в топку.

В сравнении же с стационарными машинами, имеющими коэффициент полезного действия 30%, паровоз сильно отстает.

Если бы паровоз попрежнему имел коэффициент полезного действия 1—1,5%, как у первых паровозов, то в мощных паровозах, развивающих 2 000 л. с. и больше, пришлось-бы сжигать огромное количество угля в час.

* Эта же величина коэффициента полезного действия паровоза получится, если мы перемножим между собой отдельные коэффициенты полезного действия котла, машины, экипажа; тогда

$$\eta_0 = 0,7 \cdot 0,112 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,0665 = 6,65\%$$



- ①-потеря в поддувало-4%
- ②- " сходящ газами-14%
- ③- " химическая-4%
(несгоревш частицы и сажа)
- ④-потеря тепла в золе-8%
- ⑤- " с выхлопн паром-52%
- ⑥- " на лучеиспускан-5%
- ⑦- " на свисток, предохранительный клапан и проч вспомог. устройства — 6%
- ⑧-потеря от утечки пара в цилиндрах-1%
- ⑨- на трение в механизме движения — 1,5%
- итого потерь-95,5%
- ⑩- полезная работа на ободе колес-100-95,5=4,5%

Фиг. 151. Использование и потери тепла в паровозе.

Во-первых, это очень дорого бы стоило, а во-вторых, не было бы физической возможности сжечь такое огромное количество топлива, как этого требовала бы топка больших размеров. Последнюю же невозможно было бы осуществить в пределах железнодорожного габарита. Кроме того, столь низкое использование топлива при сравнительно ограниченных мировых запасах его было бы расточительностью.

Наконец, конкуренция со стороны других видов двигателей оказывается немаловажным моментом, толкающим к постоянному усовершенствованию паровоза. К числу таких конкурентов относятся: электрово́зы, тепловозы, турбовозы и пр.

Эти новые транспортные двигатели обладают более высоким коэффициентом полезного действия, чем паровоз, а именно:

электрово́зы	12—15%
тепловозы	до 23%
турбовозы	15%

Вот эти обстоятельства и вызывают со стороны техников паровозного дела упорную борьбу за повышение коэффициента полезного действия паровоза, посредством введения целого ряда усовершенствований. Эта борьба облегчается тем, что все новые виды транспортных двигателей обладают более сложным устройством и оборудованием и требуют более тщательного за собой ухода. Простое устройство паровоза и простота обслуживания дают ему возможность выходить победителем в этой борьбе, несмотря на более низкий коэффициент полезного действия.

В результате этого в паровозе все время вводится целый ряд усовершенствований с целью улучшения работы паровозного котла, машины и экипажной части.

Особенно важным и интересным нововведением являются паровозы высокого давления.

Рассмотрим вкратце все наиболее важные усовершенствования паровоза, имевшие место за самое последнее время. Вопросы о введении перегрева пара, водоподогрева и т. д. здесь касаться не станем, так как он был достаточно освещен в литературе.

29. Усовершенствование паровозного котла

а) Улучшение циркуляции воды в паровозном котле. Из описания опыта Жоффрэя мы уже имели возможность убедиться, как уменьшается паропроизводительность одного квадратного метра поверхности нагрева труб с удалением от топки к дымовой коробке. В то время, как топка дает 44% от всего количества пара, образовавшегося в котле, часть труб, лежащая у дымовой коробки, дает всего лишь 6%.

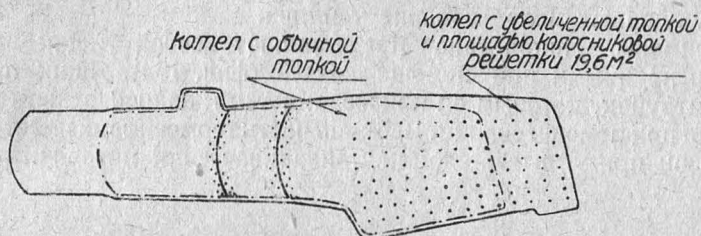
Столь небольшое количество пара, образующегося в трубах у дымовой коробки, заставило обратить серьезное внимание на увеличение размеров поверхности нагрева топки.

Ввиду невозможности увеличения размеров топки в ширину, сверх оределенного предела, диктуемого габаритом, стали добиваться увеличения поверхности нагрева топки посредством ее удлинения и постановки в ней кипячительных трубок, термосифонов, циркуляторов. Поверхность нагрева топки может быть увеличена наиболее просто посредством увеличения длины самой топки, как показано на фиг. 152. Здесь пунктиром изображен котел с обычной топкой, а сплошной линией,—котел,

имеющий увеличенные размеры топки, длина которой больше половины расстояния между решетками. Площадь колосниковой решетки такой топки достигает 16 м^2 . *

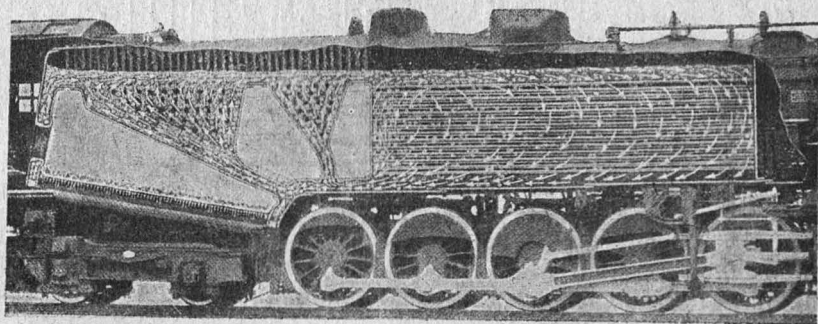
Постановка кипяtilьных трубок, термосифонов и циркуляторов, кроме непосредственного увеличения поверхности нагрева топки, увеличивает паробразование котла за счет улучшения циркуляции воды в нем.

Паровозный котел представляет собой несовершенное устройство для приготовления пара, ввиду того, что вода в нем находится в покое, т. е. не движется или иначе говоря—не циркулирует.



Фиг. 152. Котел паровоза с топкой 16 м^2 .

Вследствие отсутствия циркуляции воды в паровозном котле тепло от нагретых поверхностей топки и труб передается частицам воды, непосредственно соприкасающимся с ними. От этих нагретых частиц воды тепло также передается соседним с ними частицам и т. д. Но эта передача тепла от одной частицы воды к другой происходит очень слабо и медленно, так как вода плохо проводит тепло.



Фиг. 153. Циркуляция воды в котле.

В котлах же, имеющих кипяtilьные трубки, термосифоны и тому подобные устройства, происходит циркуляция воды. Благодаря этому нагретые частицы воды, обладая меньшим весом, поднимаются вверх, будучи вытесняемы снизу более холодными частицами с большим весом. Последние в свою очередь, нагреваясь, вытесняются кверху и идут в более холодные части котла и т. д. При этом происходит непрерывное движение воды в котле, энергичное перемешивание горячих частиц воды с холодными, что улучшает передачу тепла и увеличивает количество образующегося пара.

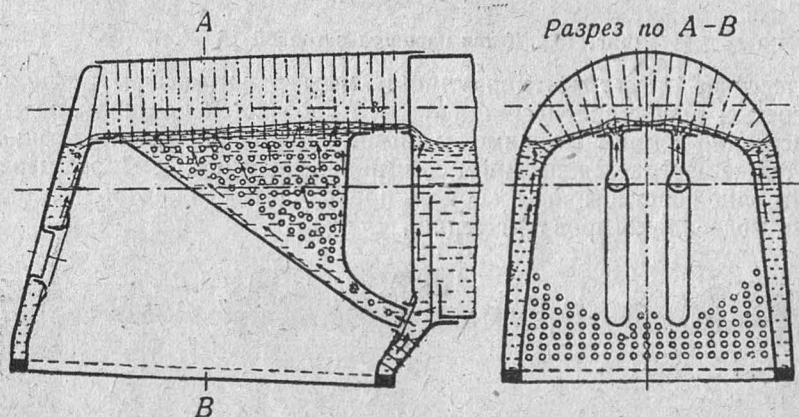
* В последнее время в некоторых американских паровозах площадь колосниковой решетки достигла $19,6 \text{ м}^2$.

На фиг. 153 показана циркуляция воды в паровозном котле, снабженном четырьмя термосифонами в топке. Благодаря последним вся вода в котле находится в непрерывном движении (циркулирует).

Даже постановка двух или трех кипяtilьных труб диаметром 50—60 мм в топке паровоза улучшает циркуляцию воды. Постановка труб производится либо посредством развальцовки их, либо путем приварки. Для осмотра и очистки труб от накипи на лобовом и ухватном листах против труб ставятся винтовые пробки.

На кипяtilьных трубах обычно располагают кирпичные своды, которые улучшают использование топлива.

Термосифоны Никольсона представляют собой ящик со стенками, укрепленными при помощи связей (фиг. 154). Ящик переходит книзу в патрубок, которым он присоединяется к задней решетке на заклепках или при помощи сварки. Верхняя часть термосифона имеет фланцы, которыми он приклепывается или приваривается к потолочному листу топки.



Фиг. 154. Термосифон Никольсона.

Чем шире топка, тем больше термосифонов можно в ней поставить. Так, при ширине топки 1 000 мм можно поставить только один сифон; при ширине от 1 250 до 2 000 мм—два; при ширине топки больше 2 000 мм можно поставить три сифона.

Если паровоз имеет большую длину топки или камеру сгорания, то в одном ряду по длине можно поставить два термосифона: один большой, другой маленький.

На фиг. 155 показана фотография внутренней части топки с пятью термосифонами, а также вид потолка топки с термосифонными отверстиями.

На нижних краях термосифонов так же, как и на кипяtilьных трубах, располагают кирпичный свод.

Постановка термосифона увеличивает на 15—45% поверхность нагрева топки. Это увеличение зависит от количества поставленных термосифонов, т. е. от размеров топки.

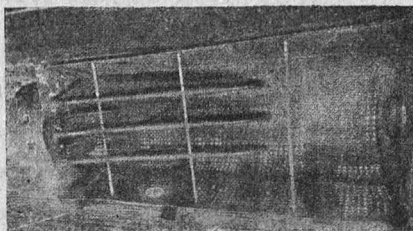
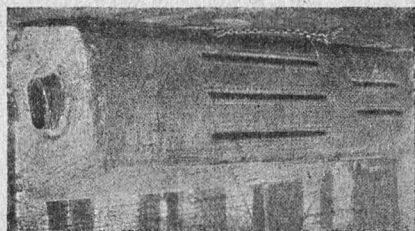
Одновременно с улучшением паропроизводительности котла циркуляция воды в котле с термосифоном предохраняет потолок топки от поджога,

а котел от взрыва при упущенном уровне воды даже на 100—150 мм ниже потолка топки.

Это обстоятельство объясняется тем, что уровень воды над термосифоном благодаря циркуляции всегда выше уровня воды в остальной части котла.

Кроме всего этого энергичная циркуляция воды в котле предупреждает осаждение накипи на стенках топки и труб, что уменьшает расходы на ремонт и содержание паровоза. Это обстоятельство особенно важно для участков с плохой водой, обладающей большой жесткостью.

Наконец, последнее, что дает термосифон благодаря циркуляции,—это установление более одинаковой температуры по всему котлу и уменьшение времени заправки паровоза после охлаждения. Это уменьшает расход топлива на заправку паровоза и температурные напряжения в отдельных частях котла.



Фиг. 155. Топка с термосифонами.

Американцы считают, что термосифон, в силу создающейся энергичной циркуляции воды в котле, ведет к экономии в расходе топлива при работе паровоза на 10—12%. Поэтому они на многие свои паровозы ставили термосифоны.

У нас недавно на М.-Казанской железной дороге был оборудован термосифоном паровоз серии ЭШ № 4041, испытания которого не дали вышеуказанной ожидаемой экономии топлива. Благодаря неудачной форме самого термосифона наблюдалось появление трещин в загибе термосифона при остывании паровоза.

Полученные результаты не дают возможности для суждения об экономичности термосифона, которая сможет быть выявлена лишь посредством дальнейших испытаний паровоза в условиях повседневной эксплуатации.

Для паровозов, отапливаемых нефтью, с целью увеличения поверхности нагрева и улучшения циркуляции, а также устранения завалов накипи у топочной рамы, применяется циркулятор Мартина (фиг. 156 и 156-а).

Циркулятор Мартина состоит из двух элементов, заполняемых водой и образующих низ топки.

Впереди эти элементы соединяются с трубчатой решеткой при помощи стальных труб, привариваемых к решетке. С боков они соединяются с боковыми листами топки фланцами, привариваемыми или приклепываемыми к обвязочному кольцу. Верхние и нижние листы элементов укреплены между собой связями для большей жесткости.

В котлах, снабженных циркулятором Мартина, получают все вышеперечисленные преимущества циркуляторных устройств: увеличение паропроизводительности, равномерная температура, меньшее осаждение накипи, больший срок службы котла, уменьшение стоимости содержания топочной кладки, благодаря ее меньшим размерам, уменьшение потребного на промывку времени и сбережение топлива при каждой растопке паровоза.

К этому же разряду циркуляционных устройств относятся трубчатые топки, применяющиеся в паровозах с несколько повышенным против обычного (12—16 атм) давлением пара.

Дело в том, что при повышении давления пара выше 18—20 атм обычная листовая топка должна иметь листы большой толщины, чтобы безопасно выдержать такое давление. Увеличение же толщины листов топки вызывает увеличение веса котла, а следовательно, всего паровоза, что невыгодно, а иногда затруднительно в конструктивном отношении.

С целью устранения этих неудобств применяют так называемые водотрубные топki, показанные на фиг. 157 и 158.

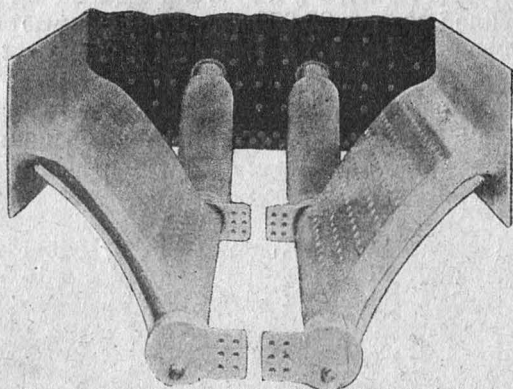
Первым изобретателем этих топок является инж. Бротан, разработавший проект этих топок более 30 лет тому назад. По этому проекту был построен паровоз с котлом Бротана, работавший на М.-Казанской железной дороге.

Однако благодаря плохой технике укрепления труб, этот паровоз работал неудовлетворительно из-за хронической течи труб. В настоящее время это обстоятельство устранено благодаря далеко шагнувшей вперед технике соединения труб, главным образом благодаря сварке.

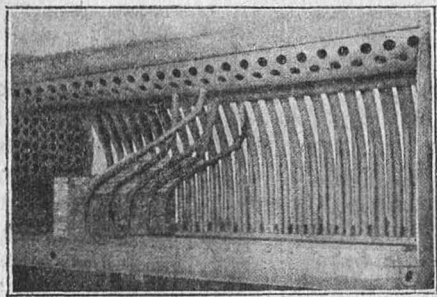
Показанная на фиг. 157 водотрубная топка состоит из двух солидных верхних барабанов, приклепываемых или привариваемых к задней решетке, вставленной в цилиндрическую часть котла. Внизу имеется обвязочная трубчатая рамка, прикрепляющаяся к цилиндрической части котла коленчатыми трубами на фланцах. Сзади барабан и обвязочная рама соединяются листом. С боков же они соединяются при помощи ряда труб, составляемых и привариваемых в верхний барабан, а внизу—в обвязочную трубчатую раму. Два ряда таких трубок образуют стенки топочной коробки, которая для герметичности снаружи покрывается огнеупорным составом.

Показанная на фиг. 157 водотрубная топка состоит из двух солидных верхних барабанов, приклепываемых или привариваемых к задней решетке, вставленной в цилиндрическую часть котла. Внизу имеется обвязочная трубчатая рамка, прикрепляющаяся к цилиндрической части котла коленчатыми трубами на фланцах. Сзади барабан и обвязочная рама соединяются листом. С боков же они соединяются при помощи ряда труб, составляемых и привариваемых в верхний барабан, а внизу—в обвязочную трубчатую раму. Два ряда таких трубок образуют стенки топочной коробки, которая для герметичности снаружи покрывается огнеупорным составом.

Два ряда таких трубок образуют стенки топочной коробки, которая для герметичности снаружи покрывается огнеупорным составом.



Фиг. 156-а. Циркулятор Мартина.



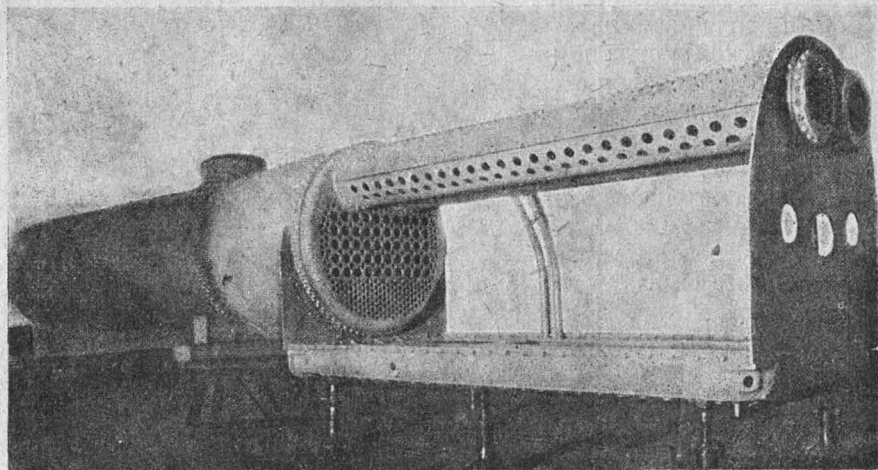
Фиг. 157. Водотрубная топка.

Сзади барабан и обвязочная рама соединяются листом. С боков же они соединяются при помощи ряда труб, составляемых и привариваемых в верхний барабан, а внизу—в обвязочную трубчатую раму. Два ряда таких трубок образуют стенки топочной коробки, которая для герметичности снаружи покрывается огнеупорным составом.

вом и обшивкой. Такие водотрубные топки очевидно обладают хорошей циркуляцией, а следовательно, и всеми преимуществами, возникающими от нее.

Однако усиленное испарение воды в тонких трубах не спасает от образования в них накипи и быстрого их прогорания. Поэтому применение подобных топок требует от питательной воды хороших качеств.

б) **Отопление паровозов.** Паровозы большой мощности, с силой тяги от 20 000 кг и больше, имеют площадь колосниковой решетки больших размеров. Поэтому любой кочегар или помощник машиниста при всем своем опыте и физической силе не будет успевать забрасывать уголь на колосниковую решетку и распределять его по ней равномерным слоем. Производившиеся опыты над нашими паровозами при их испытании



Фиг. 158.

доказали это обстоятельство. Они дают основание сказать, что пределом для ручной загрузки топлива (угля), служит расход его от 1 800 до 2 000 кг/час. Уже при этом количестве топлива кочегар должен все время подбрасывать уголь так, что шуровка остается большей частью времени открытой. Поэтому в нее поступает холодный наружный воздух, понижающий экономичность работы паровоза и легко могущий вызвать течь труб при усиленной работе паровоза. Некоторое увеличение количества подаваемого угля в топку можно получить, заставив работать двух кочегаров, которые одновременно подбрасывали бы уголь через одну или две шуровки, специально устраиваемые с этой целью. Однако эта мера не спасает от понижения коэффициента полезного действия котла и всего паровоза.

Поэтому для бесперебойного обслуживания паровозов с большими топками ставят приборы, механически забрасывающие уголь в топку. Это так называемые «стокеры» или механические кочегары, получившие большое распространение в САСШ. Имеется несколько различных типов стокеров, служащих для механического подвода топлива в паровозную топку **Т и п е р в ы й**. В нем топливо подводится к топочной дверке и затем вдувается в топку и распределяется по всей колосниковой решетке при помощи струи пара или сжатого воздуха (фиг. 159).

Тип второй. Топливо подводится к дверке и затем распределяется по колосниковой решетке посредством механических лопаток (тип Эльвина и Дуплекс) или распределителей (фиг. 159, 160 и 160-а).

Тип третий. Топливо подается снизу при помощи бесконечного конвейера, который продвигает топливо на колосниковую решетку. Это так называемый «стокер с нижним питанием».

Первые два типа стокеров, принадлежащие к типу с «верхним питанием» наиболее обычны в американской практике. Они состоят из конвейера для транспортировки (подведения) угля с тендера к месту ссыпки в стокер, элеватора-конвейера для подъема его к топочной дверке, распределительного устройства для распределения по колосниковой решетке и регулирующего устройства для регулирования количества подводимого угля и размещения его на колосниковой решетке.

Стокер приводится в движение небольшой паровой машиной, расположенной в средней его части.

На тендере располагается дробилка, размельчающая крупные куски угля, прежде чем они попадут в стокер. Если на тендер берется готовый измельченный уголь, то дробилка не ставится.

Стокер с «нижним подводом угля» приводится в движение от небольшой паровой машины. Он состоит из винта или конвейера с задвижками для передачи угля с тендера и группы плунжеров (поршней), распределяющих уголь по всей колосниковой решетке. Иногда вместо плунжеров устраивают винтовой конвейер.

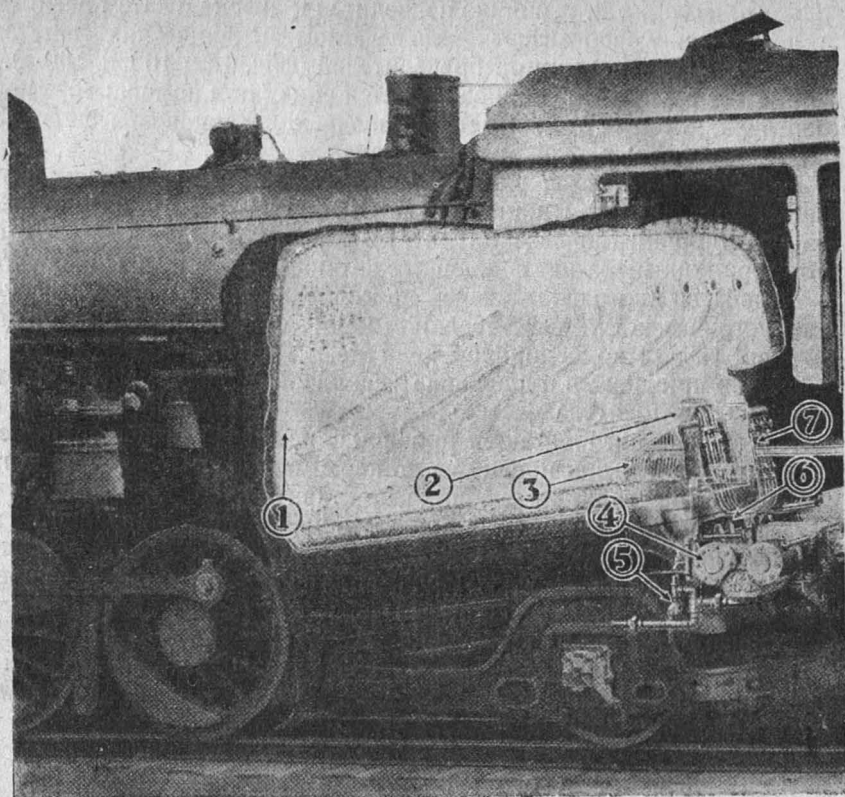
Наиболее распространены на паровозах стокеры первых двух типов: пароструйные и лопаточные. На американских дорогах имеется много типов стокеров: «Дуплекс», «Эльвина», «Стандарт», «Ганна» и т. д. Обилие типов объясняется желанием усовершенствовать их конструкцию и улучшить их работу.

в) Паровозы высокого давления. Первые паровозы имели давление пара в котле 3—3,5 атм. Повышение же давления пара в котле производилось единственно с целью уменьшить диаметр цилиндров или же с целью получения большей мощности при прежнем диаметре цилиндров. На экономию, получаемую при увеличении давления пара в котле, не обращалось внимания, так как физические свойства пара не были еще изучены в достаточной степени. С течением времени исследования показали, что при увеличении давления пара повышается экономичность работы машины. Это объясняется тем, что при увеличении давления пара на каждую следующую атмосферу затрата тепла на приготовление определенного количества пара понижается. Это значит, что затрата тепла на приготовление 1 м³ пара возрастает медленнее работоспособности пара или иначе — мощности, которую дает пар, работая в цилиндрах.

Примем, что затрата тепла на приготовление пара давлением 16 атм равна единице. Мощность, даваемую этим паром при работе в цилиндрах, будем считать также равной единице.

Тогда при давлениях меньших 16 атм затрата тепла на приготовление некоторого качества пара, дающего единицу мощности, увеличивается. При 3,5 атм затрата тепла на единицу мощности на 82% больше, чем при давлении 16 атм.

Вместе с этим при одном и том же количестве пара получаемая мощность в цилиндрах уменьшается с понижением давления. При давлении 3,5 атм она составляет только 12% от мощности, даваемой паром при



Фиг. 159.

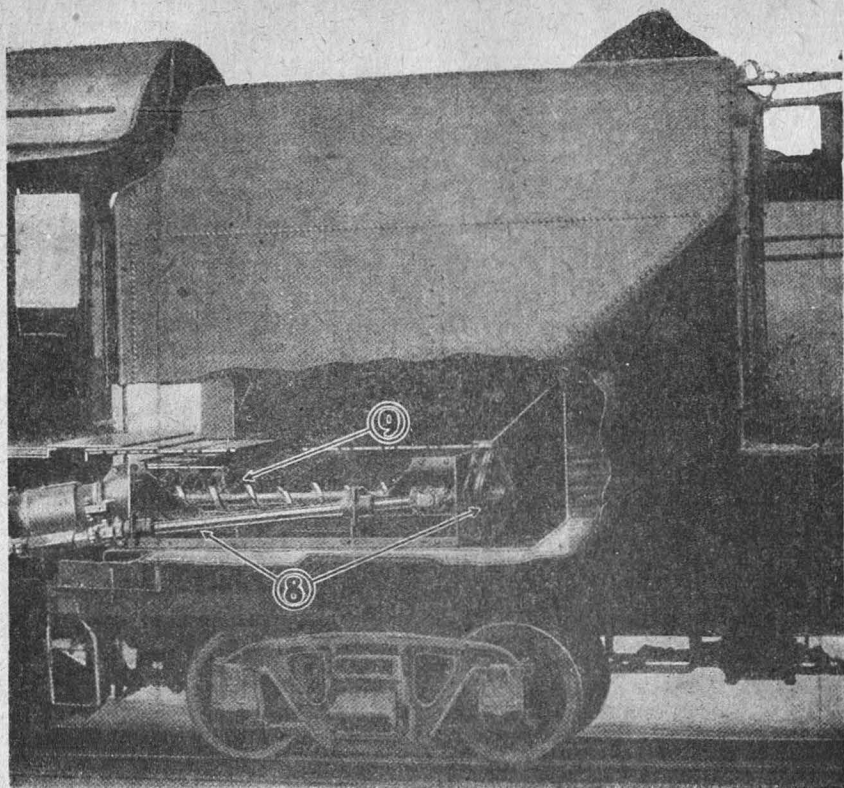
- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. Свод. | 3. Отверстия для подвода воздуха. |
| 2. Головка с отверстиями для вдувания угля. | 4. Машина стокера. |
| | 5. Внешний реверсивный вентиль. |

давлении 16 атм. Проф. Сыромятников в своей статье «Основные этапы развития мощности и экономичности паровоза за 100 лет» приводит следующую таблицу затраты тепла и получаемой мощности в зависимости от давления пара:

Давление пара в котле в атм	16	14	12	10	8	6	3,5
Мощность, получаемая в цилиндрах	1,00	0,86	0,72	0,58	0,44	0,29	0,12
Расход тепла на единицу мощности	1,00	1,03	1,07	1,12	1,19	1,30	1,82

Таким образом при переходе от пара с давлением 3,5 атм к пару с давлением 16 атм получим экономию в расходе пара на

$$\frac{1,82-1,00}{1,82} 100 = 45\%.$$



Стокер с дутьем.

6. Винтовой конвейер.

7. Клапана отверстий для вдувания угля.

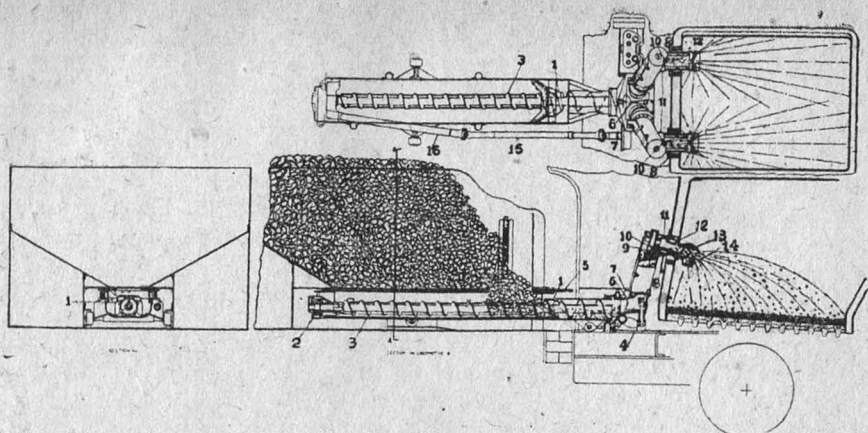
8. Приводной механизм.

9. Дробитель угля.

На самом деле величина экономии будет не 45%, а меньше, ввиду того, что пар с более высокой температурой будет больше отдавать тепла стенкам цилиндра. Все же в конечном итоге повышение давления пара в котле ведет к уменьшению расхода его на единицу мощности, т. е. ведет к увеличению экономичности работы паровоза.

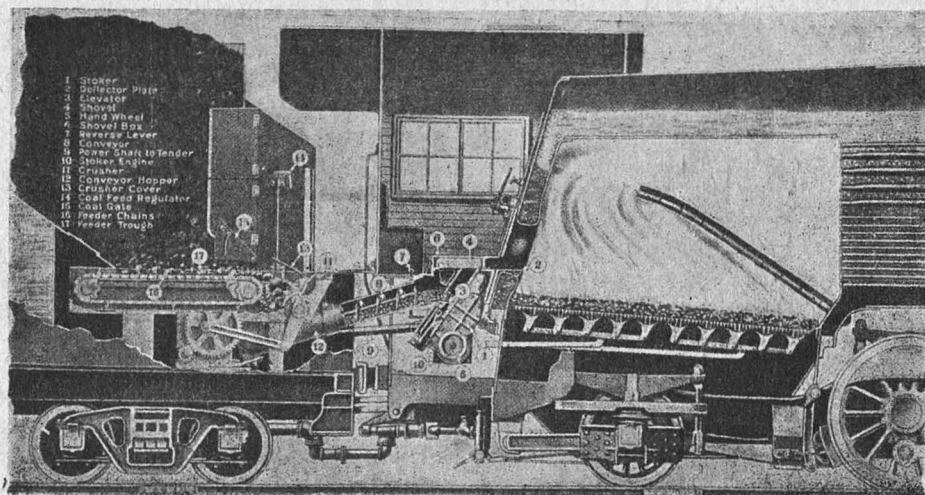
При дальнейшем повышении давления пара свыше 16 атм экономичность еще растет. Она будет тем больше, чем больше давление пара в котле. За последнее время на многих паровозостроительных заводах и отдельных железных дорогах пришли к выводу, что дальнейшее повышение давления пара экономически выгодно.

Поэтому во многих странах строятся и испытываются паровозы с высоким давлением пара в 60—100 атм. Передовой страной в этом отношении является Германия, в которой уже построено несколько паровозов высокого давления. В 1929 г. Англия также построила два паровоза с водотрубными котлами давления в 30 атм. Вид этого паровоза несколько необычен. Только ходовая и экипажная часть похожи на паровозные; верхняя же часть (котел) имеет гладкие хорошо обтекаемые формы, дающие малое сопротивление воздуха при движении паровоза с большой скоростью.



Фиг. 160. Стокер с лопатками.

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| 1. Дробитель угля. | 10. Распределяющее сопло. |
| 2. Шестерня винта. | 11. Распределяющий угольник. |
| 3. Конвейерный винт. | 12. Распределительная труба. |
| 4. Болт. | 13. Верхушка распределителя. |
| 5. Скользящий лист. | 14. Низ распределит. л. |
| 6. Разделяющее ребро. | 15. Гибкий привод и рукав. |
| 7. Перемещающий прыгун. | 16. Жесткий привод. |
| 8. Кольца. | 17. Скользящий лист. |
| 9. Элеваторный винт. | |



Фиг. 160-а. Стокер с лопатками.

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1. Стокер. | 10. Машина стокера. |
| 2. Отражательный лист. | 11. Дробитель. |
| 3. Элеватор. | 12. Цилиндр конвейера. |
| 4. Лопата. | 13. Крышка дробителя. |
| 5. Ручное колесо. | 14. Регулятор подачи угля. |
| 6. Лопаточная коробка. | 15. Проход угля. |
| 7. Поворотный рычаг. | 16. Питательная цепь. |
| 8. Конвейер. | 17. Питательное корыто. |
| 9. Приводная штанга на тендер. | |

Подобная форма была придана котлу не только с целью уменьшения сопротивления движению в воздухе, но и с тем, чтобы дым и отработанный пар, выходящие из дымовой трубы, подхватывались воздухом и тем самым не уменьшали видимость пути для машиниста и не застилали будку, что, как известно имеет большое влияние на безопасность движения. С этой целью передняя часть паровоза имеет скошенный вид, а по бокам и впереди крылья, дающие надлежащее направление воздуху.

В САСШ до последнего времени постройка паровозов высокого давления не производилась.

Однако, это не значит, что американские паровозы имеют небольшое давление в котле.

До 1927 г. в САСШ находилось в эксплуатации больше 1 000 паровозов с давлением пара в 17,6 *атм.* Это давление считалось предельным для мощных паровозов с котлами, имеющими радиальные связи и плоские стенки.

В 1928 г. железная дорога Делавар и Гудзон построила два паровоза с давлением в 19,3 и 21 *атм.* и котлом с радиальными связями. Эта же дорога предполагала построить паровоз с давлением 26,4 *атм.*

Еще в 1922 г. этой же дорогой был построен паровоз «Горацио-Аллен» с водотрубной топкой и давлением пара в котле 24,5 *атм.* Затем был построен паровоз «Джон-Джервис», имеющий давление 28 *атм.*

Все же, несмотря на вполне удовлетворительные результаты работы построенных паровозов, американцы весьма осторожны в отношении дальнейшего повышения давления пара и считают, что для условий американской практики вполне достаточно иметь давление пара 28 *атм.*

Несмотря на имеющиеся опыты с паровозами высокого давления, говорить о применении пара высокого давления 60 и 100 *атм.* в паровозах еще рано—объясняется это тем, что конструктивное устройство котлов таких паровозов еще далеко от совершенства и не дает простоты и дешевизны в эксплуатации, какую дают паровозы с обыкновенными котлами. Поэтому экономия, получаемая вследствие введения высокого давления, в значительной мере поглощается более дорогой стоимостью ремонта котла, который является наиболее сложной и ответственной частью паровозов высокого давления. Вместе с тем необходимо отметить, что повышение давления пара до 20 *атм.* с одновременным увеличением температуры перегрева до 360—380° уменьшает расход пара до 7 *кг/час* на лошадиную силу. Уже при повышении давления до 15—18 *атм.* с тем же перегревом расход пара понижается до 8 *кг.*, а топлива (угля) до 1 *кг* на лошадиную силу в час. Это дает в 25 раз меньший расход топлива по сравнению с расходом его у первого паровоза.

«Ракета» Стефенсона имела расход угля 25 *кг* на одну лошадиную силу в час. Это показывает, какой большой путь прошло паровозостроение со времени постройки первых паровозов.

30. Применение специальных сортов стали

В САСШ весьма большое распространение имеет применение специальных сортов стали как в паровозном котле, так и в движущем механизме.

Повышение давления пара в котле сверх обычного (12—13 *атм.*) при той же форме топки из отдельных листов требует применения специальных

сортов сталей, обладающих гораздо большей прочностью, нежели обыкновенная сталь.

Кроме того, с целью уменьшения вредного воздействия сил инерции движущихся частей механизма также требуется применение специальных сортов сталей.

Железная дорога Канадиен—Пасифик построила первый котел из стали с содержанием 3% никеля. Это дало возможность повысить давление пара в котле на 25% без соответственного увеличения веса котла. В первом же году (1926) было построено 44 паровоза с котлами из никелевой стали; сейчас в САСШ имеется 150 таких паровозов. Особо важно применение специальных сталей для движущего механизма, ввиду того, что при этом значительно облегчается уравнивание машины, а следовательно, уменьшается воздействие на путь.

Для ведущих осей, поршневых штоков и крейцкопфов применяются следующие сорта сталей:

- 1) углеродисто-ванадиевая сталь с термической обработкой;
- 2) никелевая сталь с термической обработкой;
- 3) хромо-ванадиевая сталь;
- 4) хромо-никелевая сталь.

В последнее время начали применять специальные сорта стали также для изготовления сплошных литых рам, применение которых имеет большое распространение в американских паровозах.

Подобная рама отливается за одно целое со всеми направляющими поперечными креплениями, паровозными цилиндрами, опорами для топки, передним и задним брусом, со всеми кронштейнами и т. д. Такая рама не имеет частей, ослабляющихся с течением времени вследствие расшатывания. Она имеет меньший вес по сравнению с клепаной и в изготовлении стоит дешевле.

31. Бустер

Рост грузооборота на железных дорогах увеличивается настолько быстро, что недавно построенные паровозы «стареют», не успевая износиться. Они не справляются с новыми перевозками, предъявляемыми хозяйственной жизнью страны.

Для овладения растущим грузооборотом необходимо увеличение пропускной способности железных дорог, что легко выполнимо в первую очередь за счет увеличения силы тяги паровоза.

Сила Z тяги паровоза зависит от сцепного веса P_k и коэффициента сцепления и равна:

$$Z = 100 P_k \cdot \psi_k.$$

Коэффициент сцепления является постоянной величиной для данного типа машины и данных условий движения.

Следовательно, чем больше будет сцепной вес, тем больше будет сила тяги паровоза. Однако имеется предел бесконечному увеличению силы тяги паровоза. Он заключается в том, что обычные типы паровозов в жесткой раме имеют не больше пяти сцепных осей. Нагрузка на последние не должна превышать некоторого максимального значения, зависящего

от устройства верхнего строения пути и мостов. В САСШ максимально допускаемая нагрузка на ось доходит до 30—32 и даже в некоторых случаях 36 т. По нашему верхнему строению возможен пропуск паровозов с нагрузкой на ось 20 т, а при условии некоторого усиления верхнего строения—23 т.

Что касается величины коэффициента сцепления, то и она зависит от материала рельсов, колес, от состояния погоды, типа применяемой паровой машины и в среднем, по американским данным, может быть принята равной

$$\psi_{\text{к}} = \frac{1}{4,5}.$$

В этом случае максимально возможная сила тяги американского паровоза с 5 сцепными осями, имеющего нагрузки на ось 36 т, а следовательно, сцепной вес

$$P_{\text{к}} = 36 \cdot 5 = 180 \text{ т},$$

будет равна:

$$Z = 1000 P_{\text{к}} \psi_{\text{к}} = 1000 \cdot 180,0 \cdot \frac{1}{4,5} = 40\,000 \text{ кг}.$$

Ограничение силы тяги допускаемой нагрузкой на ось и стремление к возможно большему увеличению скорости движения груза повело к тому, что в Англии еще в прошлом столетии устраивали вспомогательную машину, так называемый «бустер».

Однако малые размеры паровозных котлов того времени, большой расход пара бустером, и целый ряд конструктивных недостатков его не дали широкого развития применению бустеров в то время.

В последнее время наличие мощных котлов с перегревом пара, применение стокеров для отопления котлов дали возможность удачно применить бустер в качестве вспомогательной машины паровоза. Применение бустера в трудных местах пути—на подъемах и при трогании поезда с места—увеличивает среднюю скорость движения поезда.

Применение бустера требует наличия достаточно мощного котла, могущего давать достаточное количество пара, необходимого как для работы паровой машины, так и для работы бустера.

Бустер состоит из обыкновенной поршневой паровой машины, приводящей в движение либо поддерживающие оси паровоза, либо оси одной из тележек тендера.

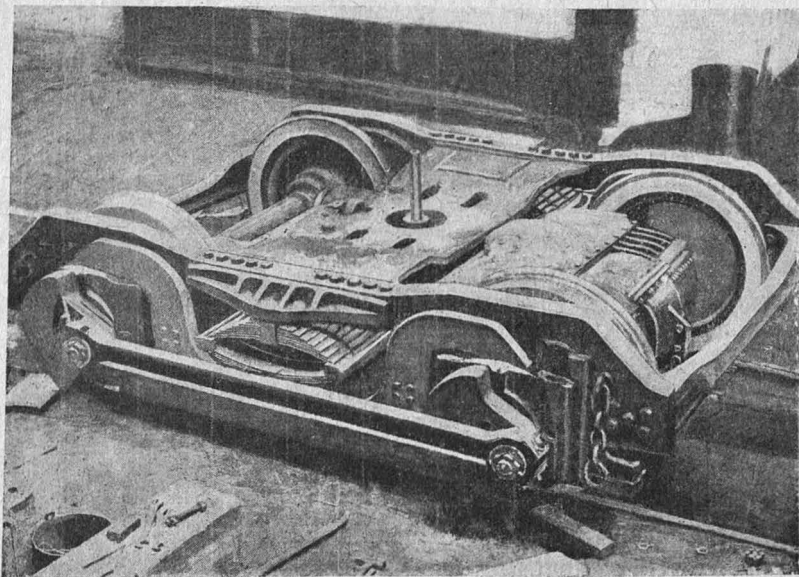
Пуск бустера в ход производится при помощи поднятия специальной щеколды, что дает возможность автоматического включения зубчатой передачи, соединяющей машину бустера с осью тележки. Остановка бустера происходит при переводе реверса на заранее определенный зуб, после чего автоматически прекращается выпуск пара.

Известны два типа бустеров: тип «Бетлехем» и тип «Франклина». Первый из них установлен на тендерной тележке, а второй—на поддерживающих осях паровозов (фиг. 161).

Бустер «Бетлехем». Бустер этой системы представляет собою двухосную тележку с двухцилиндровой паровой машиной, работающей паром из паровозного котла.

Эта тележка может быть легко приспособлена и установлена вместо одной из тендерных тележек (фиг. 161).

Машина бустера простая двухцилиндровая, с кривошипами под углом в 90° . Парораспределение производится поршневыми золотни-



Фиг. 161. Тележка бустера.

ками, расположенными между цилиндрами и приводимыми в движение от контркривошипов, закрепленных на пальцах кривошипов главного вала машины.

Паровая машина расположена у передней оси тележки и приводит ее в движение при помощи зубчатой передачи. Эта передача дает возможность автоматически включать бустер одновременно с пуском или остановкой машины бустера. Посредине передней движущей оси укреплена на шпонке большая шестерня, приводимая во вращение машиной бустера.

Передняя и задняя оси имеют наружные кривошипы и соединяются между собой наружными сцепными дышлами.

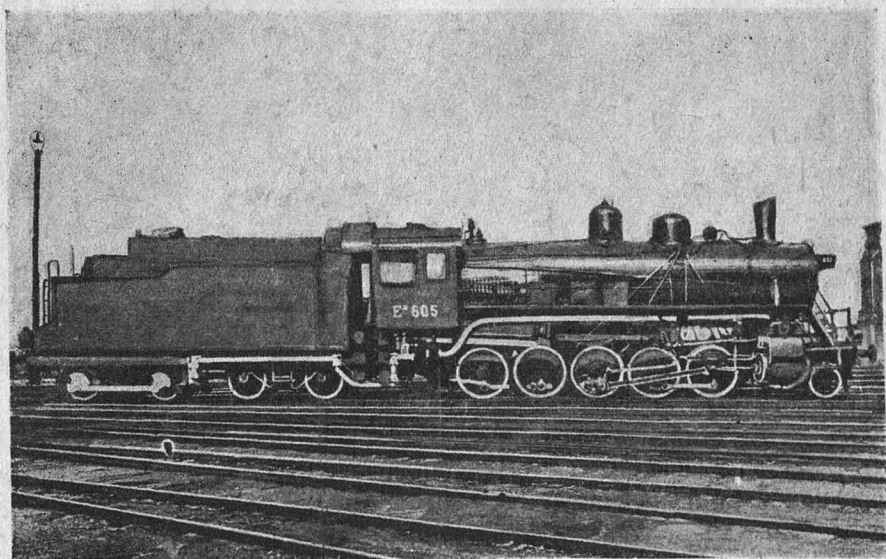
Нагрузка на оси передается роликовыми подшипниками, находящимися в осевых буксах, состоящих из двух половин.

Машина работает при постоянной отсечке в 70% от полного наполнения цилиндров. Таким образом роль золотников сводится только к распределению пара в переднюю и заднюю полость цилиндра.

Для большей эластичности при движении машина бустера прикрепляется к стальной литой раме в трех точках.

На фиг. 162 показан общий вид паровоза сер. Е, оборудованного бустером типа «Бетлехем» и работавшего на Китайско-Восточной железной дороге.

Бустер «Франклин». Бустера этой системы также имеют двухцилиндровую паровую машину, помещающуюся на одноосной или двухосной тележке паровоза. Эти бустера в отличие от бетলেখемовских строятся для работы в обоих направлениях, т. е. они принадлежат к типу реверсивных машин.



Фиг. 162. Паровоз ЕФ с бустером.

Цилиндры и золотниковые коробки, представляющие собой одну отливку, укреплены на раме машины.

Отсечка пара постоянна и равна 75% наполнения цилиндров.

32. Движущий механизм

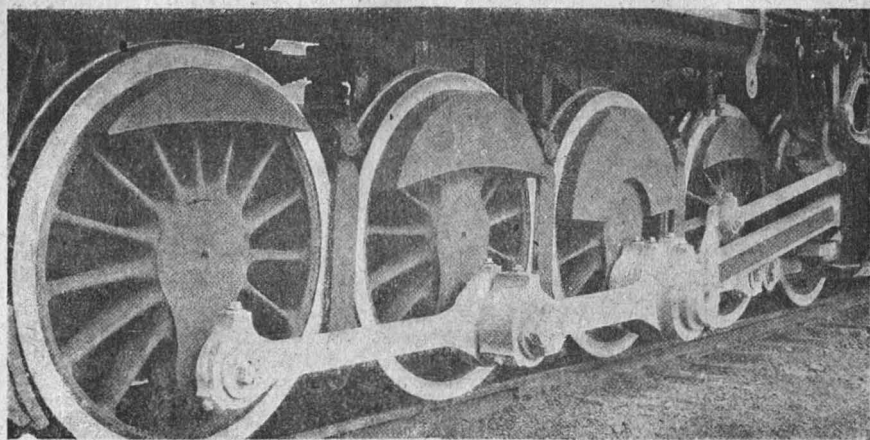
В отношении движущего механизма, как мы уже отмечали, имеется широкое применение специальных сортов стали, а также возможное уменьшение количества соединяемых частей. С этой целью цилиндры правой и левой стороны отливаются в виде одной отливки, крейцкопф с поршневым штоком отковывается за одно и т. д.

С целью облегчения веса возвратно-движущихся частей поршневые штоки делают пустотелыми.

Возрастающая мощность паровозов и стремление к сохранению простой двухцилиндровой машины вызывают сильное увеличение давления пара на поршень. Это давление, передаваясь на кривошип, потребовало бы больших размеров последнего, что не всегда возможно по габаритным соображениям. Это обстоятельство вызвало появление специальной конструкции ведущего дышла, так называемого ведущего дышла-тандем.

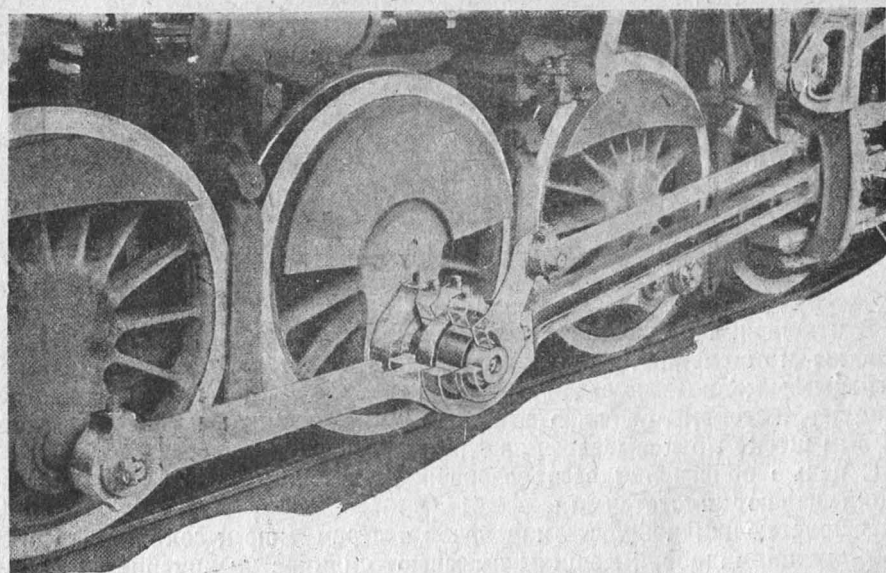
Эта конструкция состоит из обыкновенного ведущего дышла, соединяющего крейцкопф с ведущим кривошипом. На кривошипной головке оно

имеет вилку, в середину которой вставляется дышло, соединяющее кривошип ведущей оси с рядом расположенной задней сцепной осью.



Фиг. 163. Дышло тандем.

Устройство дышла-тандем ясно из фиг. 163. Здесь также показана кривошипная головка дышла тандем.



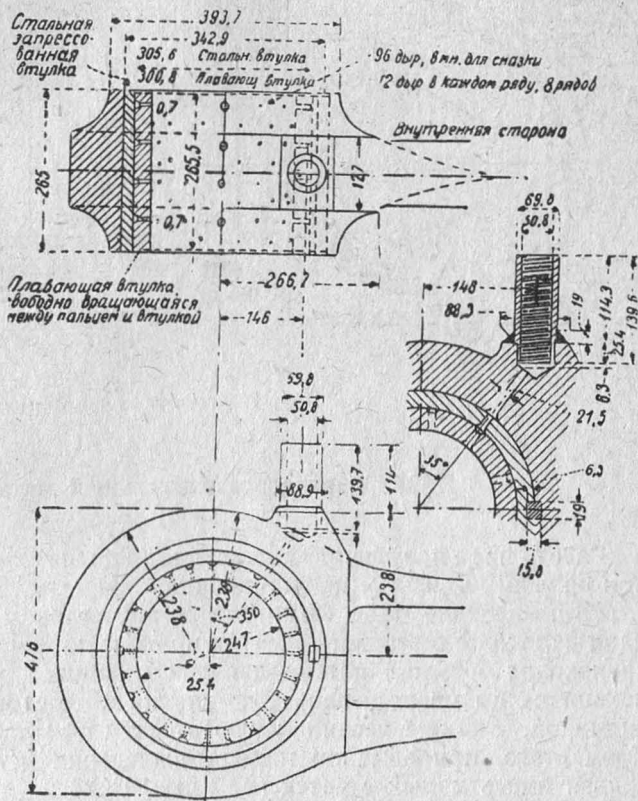
Фиг. 163-а. Дышло тандем.

Применение дышла-тандем делает ненужным сцепное дышло между ведущей и соседней (задней) сцепной осью.

Для уменьшения срабатывания подшипников сцепных и ведущих дышл их делают из двух кольцевых втулок (фиг. 164).

Первая (стальная) втулка запрессовывается в дышло, вторая (бронзовая) — вставляется в отверстие первой втулки и может свободно вращаться между первой втулкой и цапфой кривошипа.

Для подведения смазки к трущейся поверхности бронзовой и стальной втулки в бронзовой втулке имеется ряд отверстий (от 80 до 100) диаметром 3—4 мм. Смазка подводится из масленки сначала на гнущуюся поверхность бронзовой и стальной втулки, а затем через указанные отверстия на поверхность соприкосновения бронзовой втулки и цапфы кривошипа.



Фиг. 164. Плавающие втулки.

33. Применение роликовых подшипников

Роликовые подшипники имеют большое распространение в вагоностроении.

Что касается паровозов, то здесь до сих пор дело ограничивалось применением их

к бегунковым и тендерным осям. Лишь в последнее время американская фирма «Тимкэн», изготавливающая роликовые подшипники, установила их на всех осях как тендерных, так и паровозных, паровоза типа 2—4—2, работающего со скоростями до 135 км/час.

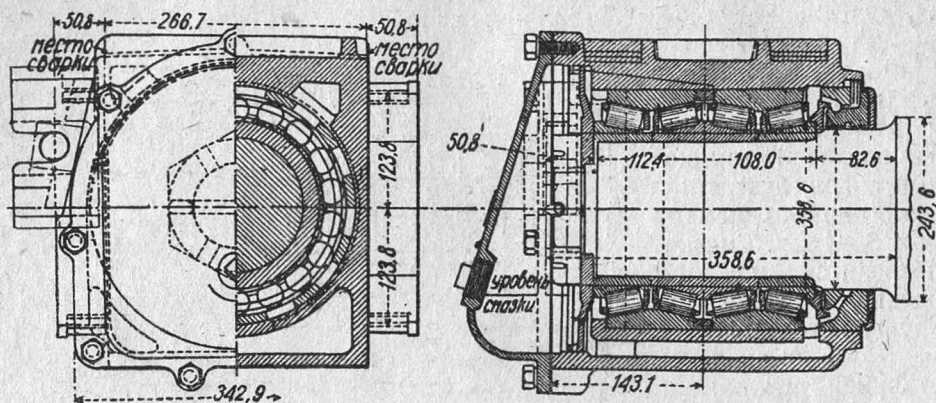
Устройство роликовых подшипников, заключается в следующем (фиг. 165): стальная литая коробка, надетая на ось, имеет по концам углубления, в которые вставлены круглые закаленные втулки.

Роль буксовых лиц выполняют стальные накладки толщиной 9,5 мм.

Применение роликовых подшипников в паровозах уменьшает трение в подшипниках, а следовательно, сопротивление движению, на преодоление которого в паровозах с обычными подшипниками бесполезно затрачивается часть полезной работы.

Кроме того при большой скорости движения поездов сила трения превращается в теплоту. Последняя не должна превосходить некоторого

предела, так как чрезмерное нагревание вызывает расплавление подшипника и задир шейки. При применении роликовых или шариковых подшипников все эти явления ослабляются в весьма значительной степени.



Фиг. 165. Роликовые подшипники.

34. Парораспределительный механизм

Работа пара повышенного давления (больше 12—13 атм) в цилиндрах при больших отсечках не экономична.

Распределение пара обычными золотниками и кулисными механизмами далеко от совершенства. При проходе пара через впускные каналы происходит большая потеря давления. Помимо этого само устройство механизма вызывает неравенство впуска в переднюю и заднюю полость цилиндра, а также неодинаковую отсечку при изменении ее величины. Кроме того, при обычном парораспределении (кулисном и рычажном) нельзя иметь малых отсечек (меньше 10%).

Эти причины объясняют стремление применить в паровозах вместо обычного парораспределения—клапанное, давно уже применяющееся в стационарных паровых машинах.

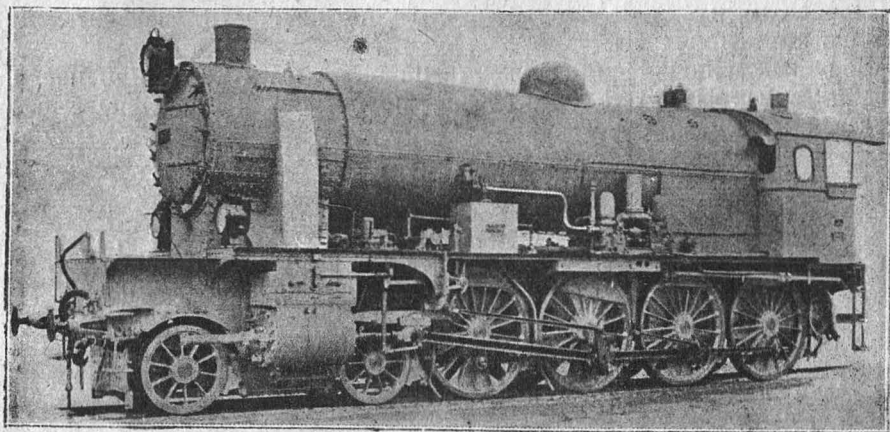
С этой целью в Австрии применяется парораспределение с клапанами Ленца (фиг. 166 и 166-а).

Оно устроено следующим образом: кулачковый вал, приводящийся во вращательное движение от обычного кулисного механизма, при вращении, благодаря выступам, имеющимся на нем, сообщает движение рычагу, вращающемуся на шарнире. При перемещении рычаг передает движение скалке. На ней закреплен двухседельный клапан, прижимаемый к седлу пружиной и открывающийся для впуска пара при передвижении скалки.

Таким образом в парораспределении Ленца остается обычный кулисный механизм, дающий неправильное распределение при износе шарнирных соединений, присущих этому механизму в большом числе.

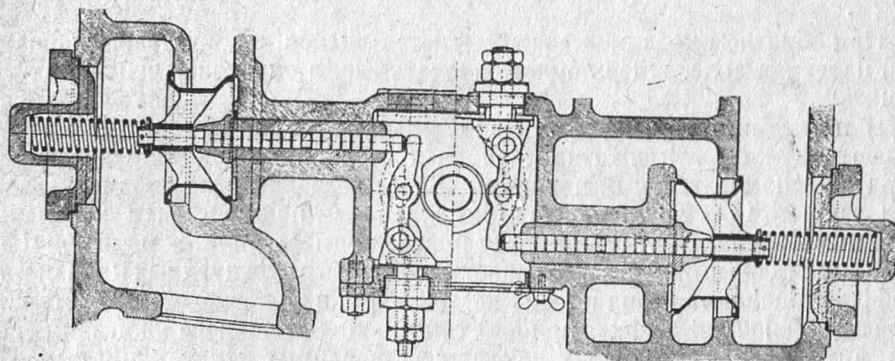
С целью устранения этого нежелательного явления и вместе с тем дальнейшего усовершенствования парораспределения еще в 1921 г. в Италии было применено парораспределение Капротти к паровозу типа 1—4—0.

Полученные хорошие результаты дали возможность итальянским железным дорогам в 1923 г. применить парораспределение Капротти на пассажирских паровозах. В 1927 г. паровозостроительный завод Краусса построил для австрийских железных дорог 6 паровозов с парораспределением Капротти. На фиг. 167 показан общий вид парораспределения Капротти и клапана с кулачковым валом.



Фиг. 166. Паровоз с клапанами Ленца.

В то время как у Ленца кулачковый вал движется попеременно то назад, то вперед, в парораспределении Капротти он все время движется в одном направлении. Вал приводится в движение от ведущей сцепной оси посредством конических шестерен и наклонного вала, лежащего между рамами.



Фиг. 166-а. Паровоз с клапанами Ленца.

Подобное устройство исключает все части обычного кулисного механизма. Взамен их вводится зубчатая передача, износ которой незначителен, так как она помещается в закрытый кожух, наполненный маслом.

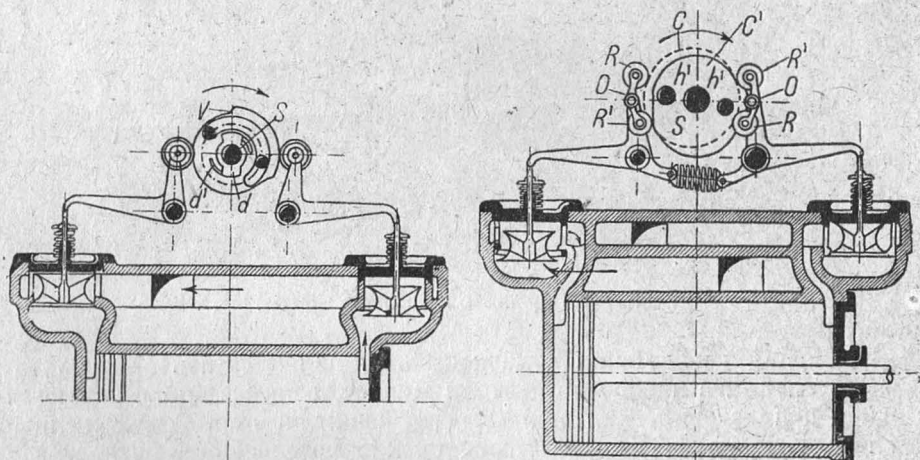
Двухседельные клапаны расположены вертикально в особой коробке над цилиндром. Клапаны закреплены на шпинделях, выходящих наружу коробки, и удерживаются в закрытом положении пружиной.

Открытие клапана производится нажатием углового рычага на шпindelь клапана. Рычаг опускается вниз под влиянием перекачивания кулачкового вала по другому концу рычага.

В то время как в парораспределении Ленца изменение отсечки достигается изменением угла поворота кулачкового вала, в парораспределении Капротти оно получается поворотом двух шайб кулачкового вала, одна из которых только поднимает, а другая только опускает клапаны.

Подъем и опускание клапанов для выпуска пара производится при помощи третьей шайбы.

Перемена направления движения паровоза происходит при поворачивании впускных шайб через среднее положение, когда клапаны остаются закрытыми.



Фиг. 167. Парораспределитель Капротти.

При обратном ходе роль шайб меняется: шайба, поднимавшая клапан при переднем ходе, теперь будет опускать его, а опускавшая будет поднимать.

В последних паровозах с распределением Капротти и Ленца не делают пружинок, а прижатие клапана к седлу производится давлением пара на вспомогательный поршень. Такое устройство дает возможность при закрытом регуляторе опуститься клапанам под действием собственного веса. Благодаря этому воздух свободно перегоняется из одной полости цилиндра в другую и отпадает надобность в перепускных клапанах.

Не останавливаясь на прочих достижениях паровозного дела (автоматической топочной дверке, приборах для дополнительного сжигания газов, литых дымовых камерах, усовершенствованных конусах для выхода пара, применении турбовентилятора вместо обычного конуса, автоматических песочниц новейшей конструкции, приборах для наиболее выгодного управления паровозом так называемом «паровозном пилоте», приборах для смазки реборд бандажей в кривых с целью уменьшения износа, парораспределительных механизмах Юнга и Беккера, водоподогревателях, инжекторах мягкого пара и т. д., изложение чего потребовало бы многих страниц, переходим к вопросу взаимодействия пути и паровоза.

Под взаимодействием пути и паровоза следует понимать те силы и явления, которые возникают как в первом, так и во втором, как при спокойном положении паровоза, так и при его движении. От характера этих явлений зависят многие конструктивные особенности пути и подвижного состава.

ГЛАВА XIV

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ И СИЛА ТЯГИ

1. Сопротивление движению]

В железнодорожном пути чередуются прямые и кривые участки. Условия движения подвижного состава различны в этих случаях.

Основными факторами в области взаимодействия пути и подвижного состава являются:

а) сила естественного сопротивления движению; б) сила тяги паровоза и в) сила искусственного сопротивления движению.

а) Естественное сопротивление движению. К этому сопротивлению относятся: 1) основное сопротивление, 2) сопротивление от уклонов, 3) сопротивление от кривых, 4) сопротивление от ускорения или замедления и 5) сопротивление при трогании с места.

1. *Основное сопротивление.* Под ним понимается сопротивление, всегда существующее на всяком участке пути: на прямых и в кривых, на площадках и на уклонах.

Основное сопротивление движению складывается из составных частей. Сюда входят:

а) Сопротивление воздушной среды при нормальной погоде. Паровоз (или подвижной состав), прорезая своей лобовой частью воздушную среду, испытывает сопротивление движению от этой воздушной среды.

Кроме того, при боковом ветре подвижной состав сдвигается им в сторону, отчего происходит трение между бандажом и рельсом, дающее добавочное сопротивление движению.

При сильном же ветре может произойти прижатие гребня бандажа к головке рельса, что еще в большей мере увеличивает добавочное сопротивление.

б) Сопротивление на стыках, выбоинах и других неровностях рельсового пути. В описании работы стыка нами отмечалось, что подвижной состав преодолевает, если так можно выразиться, порог некоторой высоты при переходе с рельса отдаю-

щего на рельс принимающий. Поэтому здесь происходит удар колеса о конец рельса, вследствие чего поезд теряет некоторую часть накопленной живой силы.* То же самое происходит при прохождении подвижного состава по неровностям рельсового пути и по выбоинам как на рельсах, так и на бандажах колес.

в) Сопротивление движению, возникающее вследствие покачивания, виляния и сотрясения паровоза в пути. Эти явления вытекают из конструктивных особенностей паровоза и пути; о них сказано ниже.

г) Сопротивление от трения между ребрами колес и рельсами. Трение—физическое явление, заключающееся в том, что при движении одного тела по другому между ними, вследствие нажатия, возникает взаимодействие; оно выражается в виде силы, противодействующей движению.

Сила трения зависит от величины нажатия между соприкасающимися телами, а также от рода материала и состояния поверхности трущихся тел. Отсюда видно, что величина силы трения пропорциональна силе нажатия, т. е. составляет некоторую часть силы нажатия. Число, показывающее—какую именно часть силы нажатия составляет сила трения, называется «коэффициентом трения».

Определим, к примеру сказать, величину силы трения, возникающей при движении ползушки крейцкопфа по параллели. Сила давления ползушки на параллель равна $N=5\,000$ кг. Коэффициент трения (при наличии смазки) равен $f=0,01$. Тогда сила трения определится:

$$F = N \cdot f = 5\,000 \cdot 0,01 = 500 \text{ кг.}$$

д) Сопротивление от трения скольжения осевых шеек в подшипниках и

е) Сопротивление от трения качения на ободу колес.

Паровоз же имеет еще дополнительные сопротивления от трения в движущем и парораспределительном механизмах.

Все эти явления, вызывающие так называемое основное сопротивление движению, не поддаются точному математическому учету. Поэтому величина основного сопротивления движению определяется опытным путем. На основании опытных данных было составлено много формул, учитывающих это сопротивление.

У нас пользуются так называемой формулой Балдвина, которая имеет следующее выражение: $w_0 = 1,5 \times v/20$ и дает удельное сопротивление (сопротивление на 1 т веса поезда) в кгт. Здесь v означает скорость движения. Следовательно, основное удельное сопротивление увеличивается с возрастанием скорости**.

Если есть надобность в более точном подсчете величины этого сопротивления для поезда, состоящего из вагонов различного рода, то приходится пользоваться разными формулами для подсчета величин основного сопротивления, отдельно для товарных и пассажирских паровозов и вагонов, а также отдельно для вагонов двухосных, четырехосных и т. д.

* Живой силой мы называем способность тела произвести работу за счет накопленной во время движения энергии.

** Эта формула дает основное сопротивление для двухосного товарного вагона.

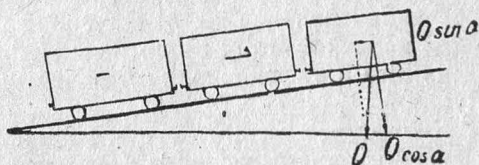
Но к такого рода точности приходится прибегать довольно редко. Поэтому формула Балдуина, дающая основное удельное сопротивление для всего поезда, является самой распространенной.

2. *Сопротивление от уклонов.* Мы уже знаем, что железнодорожный путь приводится укладывать по строго определенному уклону m . С этой целью возводятся насыпи, устраиваются выемки, делаются площадки. На это дело тратится очень много средств, чтобы снизить величину уклона и сопротивление движению поезда и дать, следовательно, возможность паровозу, при прочих равных условиях, вести больший состав.

Известно из повседневной жизни, что сопротивление движению от уклонов играет существенную роль. Нет такого места на земле, где хотя бы пешеходная тропинка подымалась прямо в крутую гору. Она всегда обвивает ее именно для уменьшения сопротивления от уклонов.

Как же выражается сопротивление от уклона? Если обратимся к фиг. 168, то увидим, что вес вагона, обозначенный стрелкой Q , направлен отвесно. Сила Q раскладывается на две составляющие—силу Q_1 , направленную перпендикулярно к плоскости пути, и силу Q_2 , направленную параллельно этой плоскости.

Сила Q_1 прижимает колеса к рельсу, вследствие чего появляется сила сцепления между колесами вагона и рельсами. Сила же Q_2 тянет вагон под уклон. Вот эту-то силу сопротивления приходится преодолевать в том случае, когда поезд идет по подъему. Из совершенно точных математических данных вытекает, что это сопротивление равно числу тысячных подъема.



Фиг. 168. Поезд на уклоне.

Каждая тысячная уклона дает сопротивление в один килограмм на каждую тонну веса поезда.

3. *Сопротивление от кривых.* Как уже сказано выше, условия движения поезда в кривых совсем не те, что в прямых участках пути. Поезду на закруглениях приходится преодолевать дополнительные сопротивления.

Сюда относятся: а) трение бандажей колес о рельсы; б) трение реборд колес о боковую поверхность рельсовых головок и в) увеличенное трение осевых шеек колес о подшипники, вызванное продольным скольжением колес.

Первое добавочное трение вызывается тем, что колеса имеют продольное скольжение на кривых, из-за неравенства длин путей, проходимых ими по внутреннему и наружному рельсам (наружная рельсовая нитка кривой дает больший путь). Второе добавочное трение вызвано набегающим колес на рельсы, вследствие параллельности их осей и непрерывного поворачивания паровоза по направлению путей.

Указанные причины, вызывающие дополнительное сопротивление от кривой, зависят в сильной мере от ширины колеи, радиуса кривой, колесной базы, устройства осей, формы бандажей, скорости поезда, длины поезда, веса вагонов, конструкции верхнего строения пути, состояния погоды и т. д.

Совершенно очевидно, что все эти факторы почти не поддаются точному математическому учету. Поэтому определение величины дополнительного сопротивления от кривой производится на основании опытных данных.

Величина этого сопротивления определялась до сих пор по формуле:

$$w_r = \frac{750}{R} \text{ кг/т,}$$

где R —радиус кривой в метрах.

4. *Сопротивление от ускорения или замедления.* Когда поезд движется с постоянной одинаковой скоростью, то помимо перечисленных сопротивлений он никаких других не испытывает. Если скорость поезда возрастает, или, наоборот, падает, появляется дополнительное сопротивление от ускорения или замедления. Появление этого сопротивления объясняется тем, что поезд обладает силой инерции, которая проявляется в момент изменения скорости движения поезда.

Это надо понимать таким образом: когда поезд переходит от меньшей скорости к большей, паровозу приходится увлекать всю массу поезда в сторону своего движения и следовательно, преодолевать инерцию поезда, которая и создает это добавочное сопротивление от ускорения.

Наоборот, при переходе от большей скорости к меньшей, паровозу приходится сдерживать инерцию поезда, которая в этом случае стремится двигать поезд вперед. Следовательно, поезд, переходя от большей скорости к меньшей, должен поглотить инерцию, которая и создает это добавочное сопротивление от замедления.

В конечном итоге сопротивление при трогании с места зависит от массы поезда и от ускорения (от изменения скорости в единицу времени—секунду).

Вследствие того, что в так называемых «Тяговых расчетах» (расчетах, связанных с определением веса поезда, скорости движения, подсчетом тормозных средств и пр.), рассматривается равномерная скорость движения поезда, в большинстве случаев дополнительное сопротивление от ускорения и замедления во внимание не принимается.

5. *Сопротивление при трогании с места.* Это есть то сопротивление, которое поезд преодолевает в момент перехода из состояния покоя к состоянию движения. Оно складывается из сопротивления от трения в осевых шейках, сопротивления от качения колес по рельсам и сопротивления от ускорения.

Сопротивление от трения в осевых шейках при трогании поезда с места имеет большее значение по сравнению с таковым у поезда, находящегося в движении, так как в момент начала движения, после стоянки, охладившаяся смазка сгущается. В силу этого трение в осевых шейках в этот момент бывает увеличенным, отчего также возрастает и сопротивление.

Следует отметить, что сопротивление поезда при трогании с места почти не изучено. Величина сопротивления при трогании с места колеблется в довольно широких пределах.

Полное сопротивление движению поезда. Все сказанное до сих пор относилось к удельному сопротивлению движения поезда, зная которое, мы в состоянии определить общее полное сопротивление движению поезда.

Пусть, например, поезд весом в 2 000 т (с паровозом) идет по 8°₀₀ подъему, совпадающему с кривой радиуса 1 000 м, со скоростью 10 км/час.

Определим сопротивление, преодолеваемое поездом:

а) основное удельное сопротивление

$$w_0 = 1,5 + \frac{v}{20} = 1,5 + \frac{10}{20} = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ кг/т};$$

б) сопротивление от подъема, как выше было сказано, равно числу тысячных этого подъема, т. е. равно

$$w_i = 8 \text{ кг/т};$$

в) сопротивление от кривой:

$$w_r = \frac{750}{R} = \frac{750}{1000} = 0,75 \text{ кг/т};$$

г) сопротивление от ускорения и трогания с места в расчет не принимается, так как поезд движется по подъему с равномерной скоростью 10 км/час.

Таким образом общее удельное сопротивление будет равно:

$$w = w_0 + w_i + w_r = 2 + 8 + 0,75 = 10,75 \text{ кг/т}.$$

Каждая тонна веса поезда дает такое сопротивление (10,75 кг/т). А так как наш поезд весит $Q=2000 \text{ т}$, то полное сопротивление поезда будет равно:

$$W = Q \cdot w = 10,75 \cdot 2000 = 21500 \text{ кг}.$$

Следовательно, для заданных условий движения поезда по подъему паровоз должен преодолеть силу сопротивления поезда, равную 21 500 кг.

Сила, развиваемая паровозом на преодоление полного сопротивления поезда при движении, а равно при трогании с места называется «с и л о и т я г и».

2. Сила тяги паровоза

Из изложенного со всей очевидностью вытекает, что трение является основной причиной сопротивлений, которые поезду приходится преодолевать, т. е. в данном случае трение является вредной силой, препятствующей движению.

Мы видели, что самое трение является следствием взаимодействия между колесами подвижного состава и рельсами. Если у паровоза хорошенько отполировать бандажки колес и пустить его по таким же отполированным рельсам, то паровоз будет боксовать, т. е. колеса будут вращаться с большой быстротой и скользить по рельсам, а паровоз все же будет оставаться на месте. Это значит, что в данном случае сильно понизился коэффициент трения, а вместе с ним и сила трения. Боксовка паровоза особенно часто наблюдается в случае попадания на рельс смазки (например, на деповских путях), также при мокрых рельсах в сырую погоду, при листопаде и т. д.

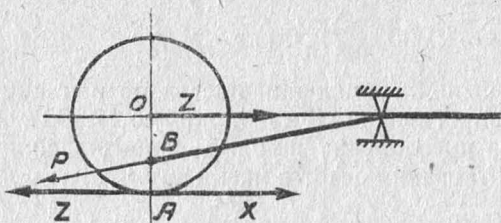
И в этих случаях причиной боксования является пониженный, по сравнению с нормальным, коэффициент трения.

Эту же мысль можем иллюстрировать другим примером: всем известно—насколько затруднено движение при гололедице на обыкновенной дороге: лошадь скользит, оступается, с большим трудом и медленно передвигает сани. И в данном случае имеет место скольжение с малым коэффициентом трения.

Следовательно там, где имеет место скольжение с малым трением, вовсе нет поступательного движения, его почти не существует или оно осуществляется с большим трудом. Отсюда вывод, что трение, будучи причиной сопротивления, в то же время является и обстоятельством, способствующим движению, таким обстоятельством, которое обязательно для осуществления движения.

Как же осуществляется поступательное движение колес паровоза по рельсам? Давление пара на поршень передается ведущим дышлом на палец кривошипа. Это давление вращает колесо паровоза вокруг его оси. Как мы только что видели, колесо будет боксовать в том случае, когда между колесом и рельсом не будет достаточного «упора». При наличии же достаточного упора колесо покатится по рельсу, давая паровозу поступательное движение. Таким образом мы видим, что упор является важнейшим явлением при осуществлении движения паровоза.

На самом же деле между колесом и рельсом никакого «упора» в буквальном смысле слова не существует. Роль этого упора выполняет сила трения, возникающая между колесом и рельсом, вследствие давления колеса на последний. Иначе говоря—действие силы трения сводится



Фиг. 169. Приложение силы тяги.

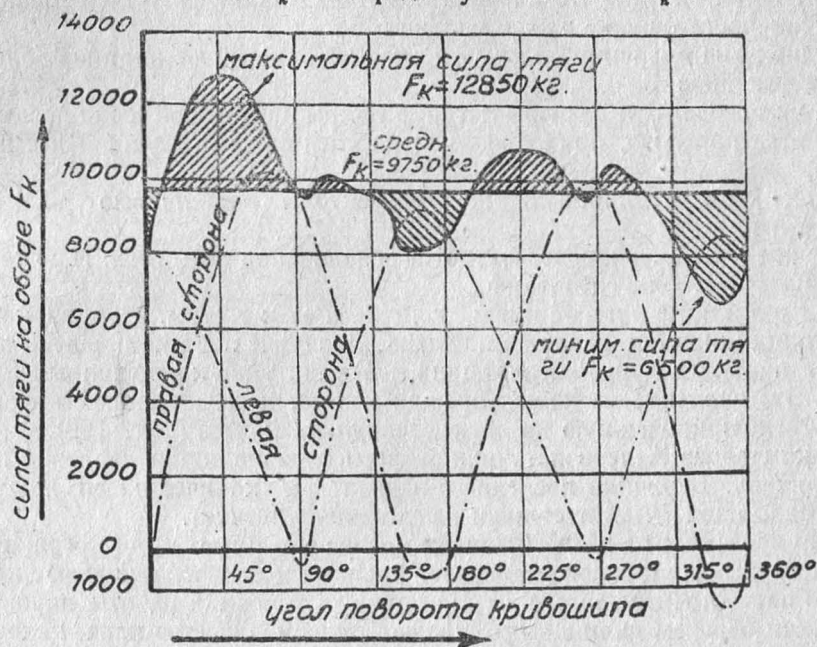
к следующему: из-за того, что поверхности колеса и рельса (как и всякого тела) не могут быть идеально гладкими, они представляют собой шероховатую поверхность, в известной мере напоминающую зубчатку с рейкой. Эти шероховатые поверхности, цепляясь друг за друга, и создают упор в точке соприкосновения. До тех пор, пока

будет действовать этот упор,—будет иметь место качение колеса. При уменьшении силы трения до определенной величины действие упора прекратится, и паровоз начнет боксовать.

Силу трения между колесом и рельсом иначе называют «силой сцепления». Для большей ясности обратимся к чертежу (фиг. 169). Действие пара на палец кривошипа можем заменить действием пары сил (двух равных сил, производящих ту же самую работу), а именно: силу P заменим силами $Z-Z$. Одна из этих сил Z приложена в центре колеса O , другая в A —точке соприкосновения колеса и рельса. Сила Z называется силой тяги паровоза. В точке же A приложена сила сцепления X колеса с рельсом. Сила сцепления X создает упор для колеса на рельсе. Сила же тяги Z , вращая колесо, стремится этот упор нарушить. Ясно, что до тех пор, пока сила тяги Z будет меньше или равна силе сцепления, будет существовать упор и будет, следовательно, иметь место качение колеса по рельсу. Но как только величина силы тяги превысит величину силы сцепления, исчезает упор, и начинается боксование колес. Таким образом для поступательного движения паровоза необходимо соблюдение равенства $Z = X$.

Отсюда мы видим, что сила тяги паровоза зависит от силы сцепления. Величина силы сцепления определяется аналогично величине силы трения. Как и в первом случае, величина силы сцепления пропорциональна давлению движущихся колес, т. е. сцепному весу.

Что же касается коэффициента пропорциональности, называемого в данном случае «коэффициентом сцепления», то про него нужно сказать следующее: при полном обороте ведущего колеса величина силы тяги постоянно меняется в зависимости от того, в каком положении находится палец кривошипа. На фиг. 170 представлено изменение силы тяги на ободе движущих колес. Отсюда мы видим, что сила тяги принимает максимальное и минимальное значения при определенных положениях кривошипа. На величину коэффициента сцепления влияет неравномерность силы тяги за оборот колеса. Последняя измеряется отношением максимального значения силы тяги Z_k^{max} к среднему ее значению Z_k^{cp} .*



Фиг. 170. Изменение силы тяги на ободе движущих колес.

Коэффициент же сцепления есть не что иное, как коэффициент трения, взятый с учетом этой неравномерности**. Неравномерность силы тяги зависит от типа машины. Двухцилиндровая машина компаунд имеет самую большую неравномерность.

Двухцилиндровая машина простого действия имеет меньшую неравномерность, но все же большую по сравнению с трех- и четырехцилиндровыми паровозами.

Таким образом ясно, что паровозы с различным устройством машины имеют разные коэффициенты сцепления.

Поскольку коэффициент трения зависит от состояния рельсов и бандажей (мокрые, смазанные и т. д.), постольку и коэффициент сцепления зависит от их состояния.

* То есть $\mu = \frac{Z_k^{max}}{Z_k^{cp}}$.

** Коэффициент сцепления $\psi_k = \frac{f}{1 + \mu}$.

Известно, что для повышения трения между бандажом и рельсом, применяется подсыпание песка на рельс. Таким образом подсыпание песка на рельс увеличивает коэффициент сцепления, а следовательно, силу сцепления и силу тяги.

Частое применение подсыпания песка* вызывает необходимость в специальных устройствах для снабжения паровозов песком.

3. Ограничения силы тяги

Выше мы видели, что паровоз может развивать силу тяги лишь при наличии достаточной силы сцепления.

Однако на величину силы тяги оказывает не малое влияние большое число факторов.

К ним относятся: размеры котла, размеры паровозной машины и величина веса паровоза, приходящегося на сцепные оси (сцепной вес паровоза).

В каждом отдельном случае эти факторы ограничивают величину силы тяги.

Таким образом в паровозе имеются ограничения силы тяги: 1) по котлу, 2) по машине и 3) по сцеплению.

Ограничение силы тяги по котлу. Пар из котла, поступая в цилиндр, давит на поршень. Давление пара на поршень передается пальцу ведущего кривошипа через шатунно-кривошипный механизм. Это давление на палец, вращая колеса, и создает, как мы видели, силу тяги, приложенную на обод движущего колеса (фиг. 169).

Таким образом первоисточником силы тяги является давление пара на поршень. Величина последнего зависит от количества впускаемого в цилиндр пара, т. е. от степени наполнения (отсечки).

Пар образуется в котле. Размеры последнего имеют строго ограниченные пределы для каждого паровоза. Размеры котла ограничивают количество пара, производимого им, при данных условиях работы паровоза.

Таким образом цилиндры расходуют такое количество пара, какое им доставляет котел. Но так как первоисточником силы тяги является пар, то следовательно, сила тяги имеет, как принято говорить, «ограничение по котлу».

Сказанное иллюстрируем примером.

Паровоз серии Э при скорости 19 км/час и отсечке 0,5 развивает силу тяги $Z_k = 14\ 000$ кг. При этой скорости котел производит 9 700 кг пара в час. Цилиндры же расходуют на каждый ход поршня 0,53 кг. При двух цилиндрах у паровоза Э число ходов обоих поршней составит 18 302 хода в час. Следовательно, цилиндры для поддержания силы тяги в 14 000 кг израсходуют в час

$$18\ 302 \cdot 0,53 = 9\ 700 \text{ кг.}$$

Количество пара, производимое котлом в час, получается со всей его поверхности нагрева. Количество же пара, получаемое с одного квадратного метра испаряющей поверхности, носит название форсировки котла. Отсюда ясно, что определенной форсировке котла соответствует вполне определенная сила тяги. Так, в приведенном примере силе тяги

* У нас песок подсыпается только во время боксования. В Америке же песком пользуются во время езды на подъеме.

в 14 000 кг и скорости 19 км/час соответствует форсировка котла = $9700:194=50$ кг/м² в час, где 194—испаряющая поверхность нагрева паровоза Э.

Ограничение по машине. Если допустить, что из котла к цилиндрам будет подводиться неограниченное количество пара, то все же цилиндры из-за своих ограниченных размеров не сумеют использовать это количество пара. Отсюда вытекает, что сила тяги зависит от размеров машины и имеет по ней ограничение.

Зависимость силы тяги от размеров машины вытекает из следующих соображений. За один оборот колеса поршень проходит определенный путь, так как на этом пути на поршень действует давление пара, то в результате в цилиндрах совершается работа; сила же тяги, приложенная на ободу колеса, получается, как вытекает из всего изложенного, благодаря именно этому давлению пара на поршень.

Таким образом совершенно очевидно, что работа силы тяги за тот же оборот колеса должна быть равна работе давления пара на поршень.

Обозначим:

диаметр цилиндра через— d ,

ход поршня через— l ,

индикаторное давление пара через— p_i .

диаметр колес через— D .

Работа пара в цилиндрах представляет собой не что иное, как произведение силы на путь. Первая в нашем случае равняется произведению

площади поршня $\frac{\pi d^2}{4}$ на среднее индикаторное давление, а второй—путь, проходимый поршнем за один оборот колеса= $2l$.

Следовательно, работа пара в цилиндрах равна $\frac{\pi d^2}{4} p_i \cdot 2l$. (1)

Колесо за один оборот проходит путь πD . Работа же силы тяги Z составит $Z \cdot \pi D$. (2)

Иначе говоря, мы можем написать, что $\frac{\pi d^2}{4} p_i \cdot 2l = Z \pi D$. (3)

Отсюда получаем величину силы тяги в зависимости от размеров машины

$$Z = \frac{\frac{\pi d^2}{4} p_i \cdot 2l}{\pi D} = \frac{d^2 l}{2D} p_i. \quad (4)$$

Эта формула дает силу тяги только одного цилиндра. В случае паровоза простого действия с двумя цилиндрами сила тяги будет в два раза больше; при трех цилиндрах—в три раза больше и т. д.

Подсчитаем силу тяги паровоза серии Э, которую мы можем получить по производительности цилиндров.

У этого паровоза:

$$d = 63,0 \text{ см}$$

$$l = 70,0 \text{ см}$$

$$D = 132,0 \text{ см}$$

$$p_i = 6 \text{ кг/см}^2, \text{ при скорости } 18 \text{ км/час и отсечке } 0,5.$$

следовательно,

$$Z = 2 \cdot \frac{d^2 l}{2D} p_i = \frac{d^2 l}{D} p_i = \frac{63^2 \cdot 70}{132} \cdot 6 = 12\,620 \text{ кг.}$$

Из последнего выражения видно, что величина силы тяги зависит: 1) от диаметра цилиндров, 2) от хода поршня, 3) от среднего индикаторного давления и 4) от диаметра ведущих колес паровоза.

Чем больше диаметр цилиндров, ход поршня и индикаторное давление,—тем больше сила тяги. Наоборот, чем больше диаметр ведущих колес,—тем меньше сила тяги. Последнее обстоятельство, между прочим, объясняет—почему пассажирские паровозы с большим диаметром ведущих колес имеют сравнительно малую силу тяги.

Здесь же следует отметить, что ведущие колеса с большим диаметром выгодны для пути, так как в таком случае давление колес на рельсы передается через большую площадь соприкосновения бандажа и рельса, что ведет к уменьшению напряжения и износа бандажа и рельса. И в другом отношении колеса большого диаметра выгодны для пути. Большой диаметр колеса позволяет поместить в колесе с меньшими затруднениями противовес необходимых размеров. Однако далеко не всегда возможно применение колес больших диаметров, так как это ведет к уменьшению силы тяги. Поэтому понятно—почему в товарных паровозах применяют колеса малых диаметров.

О г р а н и ч е н и е с и л ы т я г и п о с ц е п л е н и ю. Последнее, что ограничивает силу тяги паровоза, это сила сцепления колес с рельсами. Таким образом сила тяги паровоза зависит от сцепного веса паровоза и коэффициента сцепления, т. е.

$$Z_c = 1\,000 \psi_k P_k \text{ кг.}$$

Отсюда видно, что товарные паровозы, развивающие большую силу тяги, должны иметь большой сцепной вес, т. е. должны иметь большую нагрузку на ось паровоза или же меньшую нагрузку на ось при большем числе осей.

Что касается величины коэффициента сцепления, то она колеблется в довольно значительных пределах от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{10}$. Как мы уже видели, это колебание зависит главным образом от типа машины и состояния рельсов и бандажей.

Наибольшее значение коэффициента сцепления получается в сухую погоду или при пользовании песком, когда удастся реализовать этот коэффициент до $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$.

Наименьшее значение получается при рельсах, покрытых смазкой, в особенности в кривых частях пути.

Для примера определим силу тяги нашего распространенного паровоза серии Э. Сцепной вес его $P = 80,5 \text{ т.}$

$$\text{Коэффициент сцепления } \psi_k = \frac{1}{5,3}$$

Следовательно, сцепная сила тяги этого паровоза

$$Z_k = 1\,000 P_k \psi_k = 1\,000 \cdot 80,5 \cdot \frac{1}{5,3} = 15\,200 \text{ кг.}$$

Итак, мы рассмотрели силу тяги паровоза с точки зрения возможности получения ее в зависимости от паропроизводительности котла, размеров машины и величины сцепного веса паровоза.

4. Виды силы тяги

Кроме того, силу тяги паровоза мы можем рассматривать в зависимости от места ее приложения. При таком рассмотрении различают: а) индикаторную силу тяги, т. е. силу тяги, получаемую в цилиндрах от давления пара на поршень; б) касательную силу тяги, т. е. силу тяги, развиваемую на ободѣ движущих колес, и, наконец, в) полезную силу тяги, т. е. силу тяги, развиваемую на крюке тендера.

Эти три вида силы тяги по величине не равны друг другу.

Любую машину, в том числе и паровозную, мы можем рассматривать, как состоящую из трех главных частей: а) источника движущей силы; б) передаточного механизма; в) рабочего органа или орудия.

Та часть машины, куда подводится энергия, представляет собой источник движущей силы.

В паровозе этой частью являются цилиндры с поршнем, куда подводится пар из котла.

В результате работы пара в цилиндрах мы имеем индикаторную (цилиндровую) силу тяги.

Величина этой силы тяги определяется из выражения (4), приведенного на стр. 181.

От источника движущей силы энергия передается рабочей части машины при помощи передаточного механизма. В частях передаточного механизма при движении их друг относительно друга развиваются вредные сопротивления—силы трения, на преодоление которых затрачивается определенная часть энергии. Следовательно, к рабочей части будет подведена не вся энергия, а с вычетом части ее, пошедшей на преодоление вредных сопротивлений внутри машины.

В паровозной машине индикаторная сила тяги передается на обод движущих колес. В процессе этой передачи часть индикаторной силы тяги тратится на преодоление вредных сопротивлений, а именно: трения поршня о стенки цилиндра, скалки о сальник, крейцкопфа о параллель, подшипников ведущего и сцепных дышел о шейки пальцев.

Сила тяги, полученная на ободѣ движущих колес, носит название касательной силы тяги.

Отношение величин касательной силы тяги к индикаторной представляет механический коэффициент полезного действия. Последний является показателем совершенства устройства паровозной машины. Для паровоза серии Э при вышеприведенных условиях он составляет около 95%.

Однако действительно использованной силой тяги является не касательная сила тяги, а та сила тяги, которая тащит состав и действует на крюке тендера. Это есть так называемая сила тяги на крюке. Она меньше касательной силы тяги на величину потерь, пошедших на преодоление вредных сопротивлений в экипажных частях паровоза и тендера.

Эти сопротивления появляются благодаря трению между подшипниками и осевыми шейками паровоза и тендера, а также в других частях.

Отношение силы тяги на крюке к силе тяги на ободѣ представляет собой механический коэффициент полезного действия экипажа паровоза с тендером.

ДАВЛЕНИЕ КОЛЕС НА РЕЛЬСЫ

5. Понятие о взаимодействии в покое и движении

Если паровоз стоит на месте не двигаясь, то все силы, действующие на него, находятся в равновесии.

Такое состояние паровоза, при котором все силы, действующие на него, уравниваются и не вызывают никакого движения, называется «статическим».

Нагрузка паровозного колеса, когда паровоз стоит на месте, называется «статическим давлением» или «статической нагрузкой». Она показывает — какой вес приходится от колеса паровоза на рельс. Самый же процесс передачи давления называется «статическим взаимодействием».

При движении паровоза давление колеса на рельс в каждое данное мгновение не одинаково вследствие влияния различного рода сил, возникающих во время движения и передающихся на колесо. «Статическое давление» колеса на рельс либо уменьшается, либо увеличивается, в зависимости от характера и величины сил, возникающих при движении паровоза.

Такое изменяющееся давление колеса на рельс во время движения паровоза, в отличие от «статического» носит название «динамического давления» или «динамической нагрузки». Силы, противоположные давлению колеса на рельс, возникающие под влиянием этого давления, называются реакциями. При статической нагрузке возникает «статическая реакция». Во время же движения паровоза появляется «динамическая реакция» рельса на колесо.

В прямых частях пути статическое давление действует только в вертикальной плоскости. Если же паровоз поставлен в очень крутую кривую, в которой он с трудом помещается, так что гребни его колес прижаты к головкам рельсов и давят на них с некоторой силой в горизонтальной плоскости, то давление имеет место и в горизонтальной плоскости.

Динамическое давление действует как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. В последней оно появляется в виду того, что паровоз постоянно отклоняется от середины пути и набегаёт на рельс гребнями колес, передающими головкам рельсов горизонтальные давления.

Кроме того, при движении паровоза в кривой части пути (по закруглению) возникает центробежная сила, прижимающая паровоз, вернее гребни колес, к рельсу. Поэтому между гребнем и головкой рельса также возникает горизонтальное давление.

Таким образом, вообще говоря, в паровозе в месте соприкосновения колеса и рельса действуют две категории сил: статическая и динамическая в зависимости от состояния паровоза — в покое или движении. Каждая из этих сил может проявляться как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости.

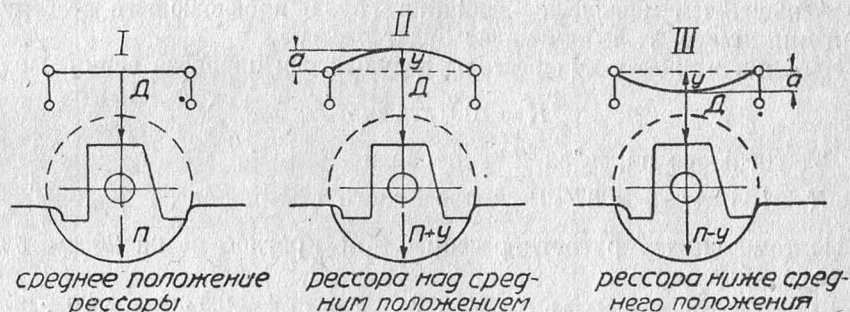
Силы, действующие в горизонтальной плоскости, иногда называются «боковым давлением» или «давлением гребня на рельс».

6. Влияние колебания рессор

Вертикальное давление от колеса на рельс вызывается силой веса всех частей паровоза, давящих на колесо. Сюда относятся: вес самого колеса с частью оси, подшипника, буксы, рессоры и веса части паровоза, приходящейся на данное колесо, который передается через рессоры на буксу.

Вертикальное давление колеса на рельс, вызываемое весом частей паровоза, приходящимся на это колесо, составляет статическую нагрузку колеса на рельс. Динамическая же нагрузка колеса, передающаяся рельсу во время движения паровоза, в основном состоит из сил, образующих статическую нагрузку.

Кроме того в динамическую нагрузку входит ряд сил, появляющихся только во время движения, величина и направление которых могут сильно увеличивать или уменьшать прежнюю статическую.



Фиг. 171. Колебание рессор.

К числу этих сил относится изменяющееся давление рессоры на буксу под влиянием собственного колебания, при котором она то поднимается над средним своим положением, то опускается ниже его (фиг. 171).

Когда рессора поднимается или опускается над своим средним положением, то нагрузка рессоры на буксу увеличивается или уменьшается благодаря внутренним силам упругости рессоры. Величина этого увеличения или уменьшения будет зависеть от высоты поднятия или опускания рессоры из среднего положения, а также от коэффициента жесткости рессоры k , т. е. от величины груза, прогибающего рессору на один миллиметр из среднего положения.

На фиг. 171 показаны различные положения рессоры.

В положении *I* нагрузка на буксу равна D . Когда рессора поднялась на величину a миллиметров над средним положением *II*, то появляется внутренняя сила упругости рессоры U . Сила U направлена вниз и стремится вернуть рессору в среднее положение. Этим она увеличивает нагрузку рессоры на буксу, а следовательно, и давление колеса на рельс, так что на буксу будет давить сумма $D+U$, а на рельс $P+U$.

В положении *III* рессора опустилась на величину a из среднего положения, вследствие чего сила упругости рессоры будет направлена кверху и будет уменьшать нагрузку рессоры, так что давление на буксу теперь равно $D-U$, а давление на рельс $P-U$.

Как видно, в обоих случаях изменение нагрузки под влиянием колебания рессоры из среднего положения на величину a миллиметров равно силе упругости рессоры Y .

Величина силы упругости, как выше было сказано, зависит от прогиба рессоры a и коэффициента жесткости k . Следовательно, сила упругости рессоры будет равна

$$Y = k \cdot a \quad (1)$$

Многочисленными опытами исследователей установлено, что прогиб рессоры a не превышает 20 мм, каковая величина может быть принята в подсчетах величины изменения давления под влиянием колебания рессоры.

Величина коэффициента жесткости рессоры k имеет разное значение для различных типов паровозов и зависит от материала рессоры, числа листов, размеров листов рессоры и длины ее между точками подвеса.

Из выражения (1) следует, что изменение нагрузки рессоры y будет тем меньше, чем меньше k —величина груза, прогибающего рессору на один миллиметр, т. е. чем мягче будет рессора.

Коэффициент жесткости рессоры ведущей оси паровоза серии Э равен

$$K = 100 \text{ кг/мм.}$$

а у ведущей оси паровоза ЕФ он равен

$$K = 166 \text{ кг/мм и } 87 \text{ мм у проектного танк-паровоза } 2-3-2.$$

Поэтому сила упругости рессоры при прогибе ее на 20 мм будет равна

у паровоза серии Э	$Y = k \cdot a = 100 \cdot 20 = 2000 \text{ кг}$
” ” ” ЕФ	$Y = k \cdot a = 166 \cdot 20 = 3320 \text{ ”}$
” ” ” 2—3—2	$Y = k \cdot a = 87 \cdot 20 = 1740 \text{ ”}$

Это дает при статических нагрузках колеса на рельс

у паровоза серии Э	$P = 8100 \text{ кг}$
” ” ” ЕФ	$P = 8350 \text{ ”}$
” ” ” 2—3—2	$P = 10000 \text{ ”}$

следующие изменения нагрузки в процентах от статической:

у паровоза серии Э:	$\frac{2000}{8100} \cdot 100 = 24,7\%$;
у паровоза серии ЕФ:	$\frac{3320}{8350} \cdot 100 = 39,7\%$;
у паровоза серии 2—3—2:	$\frac{1740}{10000} \cdot 100 = 17,4\%$.

Это значит, что если рессора поднимается кверху, то нагрузка колеса на рельс составит у паровоза

серии Э	$P + Y = 8100 + 2000 = 10100 \text{ кг}$
” ЕФ	$P + Y = 8350 + 3320 = 11670 \text{ ”}$

Наоборот, если рессора опустится вниз, то нагрузка колес этих паровозов будет:

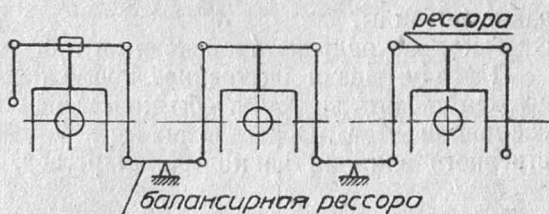
у серии Э	$P - Y = 8100 - 2000 = 6100 \text{ кг}$
” ЕФ	$P - Y = 8350 - 3320 = 5030 \text{ ”}$

Сумма статической и добавочной нагрузки от колебания рессор $P+U$ называется перегрузом колеса, а разница их $P-U$ называется разгрузом колеса.

Столь значительное изменение нагрузки колеса на рельс под влиянием рессоры вынуждает применять различного рода приспособления, к числу которых относится двойное подвешивание, понижающее общий коэффициент жесткости рессоры (фиг. 172 и 172-а).

При двойном подвешивании рессоры соединяются между собой при помощи подвесок и балансирных рессор. Иногда вместо листовых балансирных рессор оставляют балансиры, но на рессорные подвески надевают спиральные пружины, которые выполняют роль вторичного подвешивания.

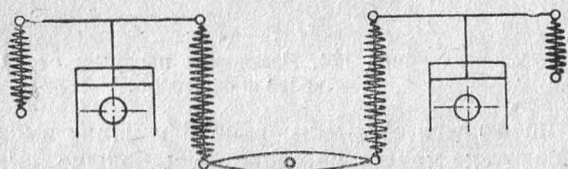
Самое колебание рессоры происходит таким образом, что рессора, получив толчок со стороны



Фиг. 172. Балансиры и двойное подвешивание.

колеса от какой-либо причины, выйдет из своего среднего положения. Достигнув крайнего положения, рессора под влиянием упругости опять возвратится в среднее положение. Снова перейдет через него и займет другое крайнее положение, из которого опять под влиянием упругости возвратится в среднее. Так рессора будет продолжать колебаться около среднего положения, напоминая качание часового маятника.

Благодаря трению между отдельными листами рессоры и в частях рессорного подвешивания, отклонение рессоры от среднего положения с каж-



Фиг. 172-а. Балансиры и двойное подвешивание.

данным разом будет все меньше и меньше, пока рессора не перестанет колебаться и не займет снова свое среднее положение.

Однако, в действительности, при движении паровоза рессора редко находится в покое. Правильно считать, что рессора непрерывно колеблется под влиянием толчков, испытываемых колесом при качении по рельсу.

Теперь мы уже знаем, что колебание рессор происходит благодаря подвешиванию на рессорах верхней части паровоза. Рессоры начинают колебаться, как только колесо поднимется или опустится на какую-либо высоту и, следовательно, получит толчок со стороны пути.

Поднятие или опускание колеса может происходить под влиянием целого ряда причин. Неправильное положение рельсов из-за недостаточно тщательной подбивки баласта, пучины и состояние пути в целом — вызывают колебания рессор.

Паровоз то ныряет вверх и вниз, то его бросает из стороны в сторону. Эти толчки достигают такой величины, что делают опасным движение поездов по неровным местам пути.

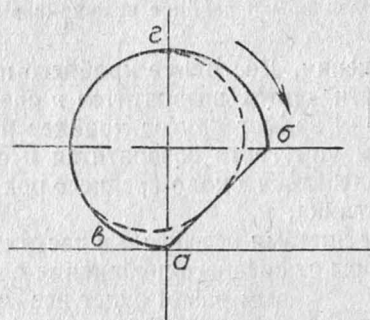
Так как пучины являются одной из причин ненормального состояния пути, то борьба с ними на наших железных дорогах стоит больших сил и средств.

Колебание рессоры может происходить так же при прохождении колесами стыка, а также из-за выбоин в рельсе и колесе, почему колесо будет то подниматься вверх, то опускаться вниз на некоторую величину a .

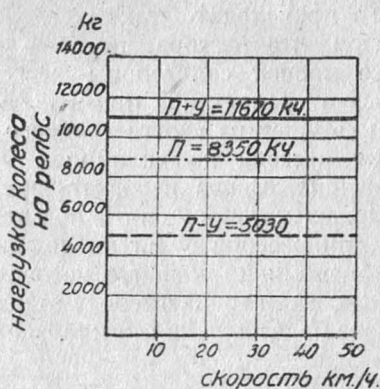
На окружности бандажа выбоина может легко образоваться при боксовании колес или при резком торможении. При последнем заклинивается колесо, которое скользит по рельсу. Во время скольжения происходит быстрое истирание места соприкосновения бандажа и рельса и образование выбоины.

Такое же явление происходит и при торможении контр-паром.

Поэтому, давая экстренное торможение или контр-пар, машинист должен следить за тем, чтобы колеса не заклинились или, как говорят, «не пошли юзом». Образовавшаяся в бандаже выбоина, кроме непосредственного влияния на колебания рессор, действует на рельс ударным



Фиг. 173. Выбоина на бандаже.



Фиг. 174. Изменение нагрузки от колебания рессор.

образом наподобие молота, падающего с высоты, равной глубине выбоины, и вес которого равен нагрузке колеса на рельс. Чем больше скорость паровоза, тем сильнее и чаще будет воздействие выбоин.

Подобное действие выбоин в колесе вредно отражается не только на рельсе, но и на самом паровозе, расстраивая все части движущего механизма и экипажа. Поэтому иногда приходится отцеплять паровоз от поезда во избежание окончательной порчи паровоза.

Из-за такого опасного действия выбоин на паровоз и рельс наибольшая допускаемая величина проката вместе с выбоиной, согласно распоряжений НКПС, не должна превышать 5 мм. В случае обнаружения выбоины в бандаже глубиной 6 мм, колесная пара выкатывается из-под паровоза и обтачивается на колесо-токарном станке для уничтожения выбоины.

Когда мы подсчитывали увеличение нагрузки колеса под влиянием колебания рессор, то было принято, что она не зависит от скорости. Однако это не совсем верно при наличии выбоины, воздействие которой сильно зависит от скорости.

Особенно опасна выбоина сейчас же после образования ее, когда она имеет вид, показанный на фиг. 173.

Однако с течением времени края выбоины ab —стираются, закатываются, и сама выбоина принимает форму эксцентричной окружности $вг$. Динамическое действие такой выбоины имеет меньший эффект по сравнению с только что образовавшейся выбоиной.

Исходя из этого, принимают, что максимальная добавочная нагрузка рессоры под влиянием ее качки может быть принята одинаковой для всех скоростей. Поэтому ее принимают зависящей только от прогиба и жесткости рессоры. На фиг. 174 показана зависимость нагрузки колеса от скорости при колебании рессор на 20 мм для паровоза серии ЕФ.

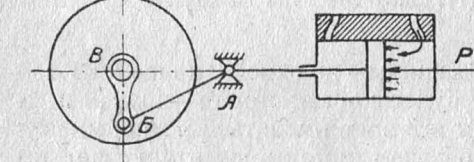
7. Добавочная нагрузка от давления пара на ведущее колесо

Давление пара на поршень передается крейцкопфу (посредством штока) в точку соединения крейцкопфа с ведущим дышлом. Когда ведущее дышло расположено по направлению штока, иначе говоря—по оси цилиндра, то оно целиком воспринимает всю силу давления пара на поршень, передавая ее кривошипам (фиг. 175).

При другом промежуточном положении кривошипа (фиг. 175-а), когда он располагается под углом к оси цилиндра, сила P будет передаваться главным образом ведущему шатуну и частично будет прижимать крейцкопф с ползушкой вверх к параллели.

Так как давление пара на поршень неодинаково на всем протяжении хода поршня, то и давление на параллель также все время будет меняться по своей величине.

При положении ведущего дышла на фиг. 175 давления на параллель нет, так как дышло воспринимает всю силу P .



Фиг. 175. Мертвое положение ведущего дышла.

Фиг. 175-а.

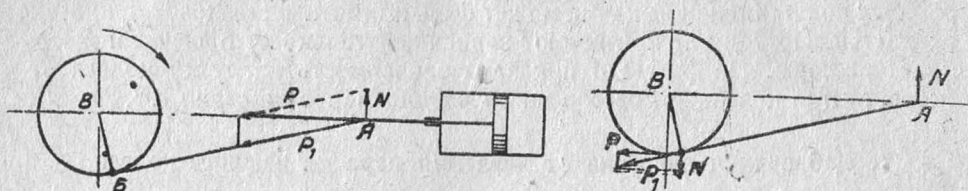
При положении ведущего дышла на фиг. 175-а давления на параллель нет, так как дышло воспринимает всю силу P .

На фиг. 175-а дышло расположено под таким углом, при котором получается максимальное давление на параллель. В этом случае можно себе представить такую схему действия сил (фиг. 175-б): в крейцкопфе A приложена сила давления пара на поршень P , которая разлагается по закону параллелограмма на силу вдоль дышла и силу, перпендикулярную к параллели*.

Сила N будет вызывать качку паровоза на рессорах. Силу P_1 можно представить себе действующей в точке B , как показано на фиг. 175-в. Это представление возможно благодаря тому, что дышло передает ее действие на кривошип.

* Заменяв силу P двумя P_1 и N , мы тем самым как бы заменили действие силы P действием двух сил P_1 и N .

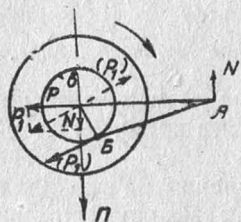
Если в точке B (оси колеса) (фиг. 176) приложим две равные и противоположные силы, то мы ничего не изменим в отношении характера и величины действия силы P_1 на колесо, так как приложенные силы будут друг друга уравнивать. Поэтому приложим в точке B две равные и противоположно направленные силы P_1 (фиг. 176).



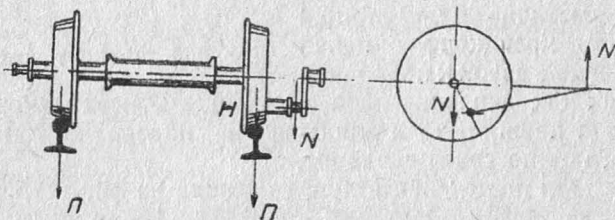
Фиг. 175-б и в.

Рассмотрим совместное действие трех сил P_1 . Силы P_1 , одна из которых приложена в точке B , а другая—в B , будут вращать колесо вокруг оси B , а, следовательно, двигать паровоз вперед по стрелке Γ .

Остающаяся же сила P_1 (в точке B) может быть опять заменена двумя силами, одна из которых N действует вниз, а другая— P по направлению оси цилиндра. Эта последняя будет прижимать буксу к буксовой направляющей. Сила же N , действуя вниз в плоскости кривошипа, будет прижимать к рельсу колесо, отчего нагрузка колес увеличится по сравнению со статической.



Фиг. 176. Действие пара на колесо.



Фиг. 177. Давление пара на колесо.

Так как паровоз обычно имеет две машины—по одной с правой и левой стороны, то очевидно, что давление N будет с обеих сторон—правой и левой. Величина же этих давлений будет все время меняться в зависимости от угла поворота кривошипа. Таким образом, в конечном итоге, на величину нагрузки колеса будут иметь влияние составляющие от пара, N правая и N левая (фиг. 177).

При движении кривошипа по верхней полуокружности сила N у параллели будет направлена вверх, в то время как у оси сила N опять будет направлена книзу, и, следовательно, опять будет увеличивать нагрузку колеса.

Если бы паровозная машина работала без сжатия и давление пара на поршень одновременно происходило только с одной стороны (передней или задней), то диаграмма нагрузки колеса от действия пара имела бы вид, показанный на фиг. 178.

Но так как этого на самом деле нет и машина работает со сжатием и одновременно происходит работа в обеих полостях цилиндра, то в дей-

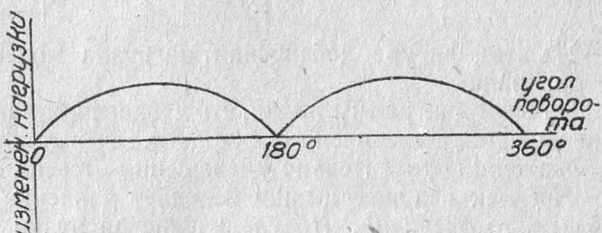
ствительности диаграмма изменения нагрузки колеса от действия пара при различных углах поворота кривошипа имеет вид, показанный на фиг. 178-а.

Из этой фигуры видно, что при некотором положении кривошипа будет иметь место наибольшая величина перегрузки колеса под действием пара.

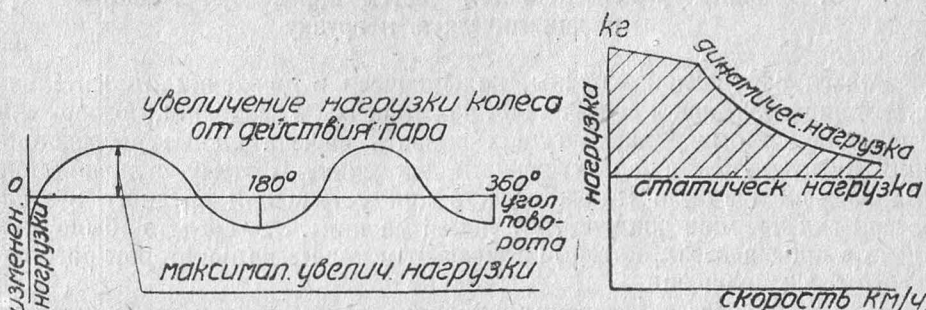
Величина перегруза колеса зависит от размеров кривошипа и дышла, а также от величины давления пара на поршень, а следовательно, от отсечки пара в цилиндрах. Чем больше будет радиус кривошипа, меньше длина дышла и больше отсечка, тем больше будет перегруз колеса от действия пара — и наоборот.

Обычно паровоз работает при разных скоростях с различной отсечкой, поэтому изменение давления колеса под действием пара зависит от скорости движения поезда.

Если мы будем знать — с какой отсечкой ездят машинисты при той или иной скорости, что, конечно, не представляет труда, то мы сможем найти



Фиг. 178. Изменение давления пара на колесо.



Фиг. 178-а и б. Изменение давления пара на колесо.

максимальное увеличение нагрузки колеса под действием пара при данной скорости движения и данной отсечке.

Для пассажирского танк-паровоза типа 2—3—2 было задано, что у него

при скорости	10 км/час	отсечка	0,5
” ”	40 ”	”	0,3
” ”	80 ”	”	0,2

При этих условиях оказалось, что максимальное увеличение нагрузки ведущего колеса составляет величины, приведенные в таблице (стр. 192).

Изменение нагрузки ведущего колеса под действием пара в зависимости от скорости представлено на фиг. 178-б.

Скорость паровоза (км/час)	Отсечка ϵ	Максимальное увеличение нагрузки колеса от действ. пара H	Статическая нагрузка колеса Π	Увеличение нагрузки в процентах от статической
10	0,5	4 150	10 000	41,5
40	0,3	2 900	10 000	29,0
80	0,2	2 300	10 000	23,0

На этой фигуре добавочная нагрузка колеса от действия пара заштрихована.

Из этой диаграммы видно, что добавочная нагрузка от пара на колесо уменьшается с увеличением скорости. Это вытекает из высказанных выше соображений относительно уменьшения отсечки с увеличением скорости.

Так как ведущее дышло передает давление пара только ведущему колесу, то очевидно, что увеличение нагрузки от действия пара будет иметь место только у ведущих колес. У сцепных же колес изменения нагрузки от действия пара не будет.

Кроме того, изменение нагрузки ведущего колеса будет только тогда, когда в цилиндрах имеется давление пара на поршень, т. е. тогда, когда открыт регулятор.

8. Влияние уравнивания частей паровозной машины на динамическую нагрузку

Части паровозной машины, находящиеся в движении относительно всего паровоза, как и всякое тело, находящееся в движении, подвержены действию сил инерции, могущих вызвать нежелательные последствия для пути, паровоза и безопасности движения. Поэтому с давних пор паровозная техника искала средств для устранения вредного воздействия сил инерции движущихся частей машины. Это средство было найдено в противовесах, которые помещают в колесе на некотором расстоянии от оси вращения.

Самый процесс определения величины противовеса и его положения в колесе с целью уничтожения сил инерции частей машины носит название у р а в н о в е ш и в а н и я.

Части паровозной машины, подлежащие уравниванию, по характеру своего движения могут быть разделены на две категории:

- а) части, имеющие только вращательное движение (кривошип, цапфы кривошипа, сцепные дышла, часть ведущего дышла);
- б) части, имеющие только поступательное движение (поршень, скалка, крейцкопф и остальная часть ведущего дышла).

Части вращающиеся легко поддаются уравниванию. В самом деле: допустим, что в колесе мы имеем на расстоянии x вращающуюся частицу A (фиг. 179).

Центробежная сила этой частицы равна произведению массы на ускорение:

$$Ц = Mu; \quad (2)$$

здесь:

ζ —центробежная сила частицы, направленная по линии, соединяющей центр тяжести этой частицы с осью вращения колеса o ;

M —масса частицы, равная

$$M = \frac{A}{g};$$

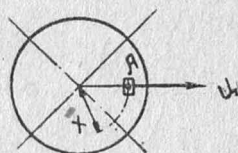
g —ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/сек}^2$;

y —ускорение частицы при ее вращательном движении вокруг оси колеса, зависящее от скорости движения частицы v и расстояния ее от оси вращения x :

$$y = \frac{v^2}{x}.$$

Подставляя эти значения в формулу (2), получим выражение силы инерции:

$$\zeta = My = \frac{A \cdot v^2}{g \cdot x}.$$



Фиг. 179. Центробежная сила в колесе.

Из формулы видно, что величина силы инерции зависит от квадрата скорости.

Если мы на противоположной стороне колеса приделаем к нему частицу веса B на расстоянии r или каком-либо другом, так, чтобы центробежная сила ее

$$\Pi = \frac{B \cdot v^2}{g \cdot r}$$

равнялась центробежной силе ζ , то действие силы Π направится в противоположную сторону по отношению к ζ . Так как по величине они будут равны, то действие одной будет взаимно уничтожать действие другой. Таким образом можно совершенно уравновесить все вращающиеся части паровозной машины, что и делается на паровозах. Совершенно иначе обстоит дело с уравновешиванием возвратно-движущихся частей машины.

Так как эти части передвигаются по направлению оси цилиндра, то и силы инерции их будут направлены по этой же линии *, т. е. горизонтально. Если кривошип находится в переднем мертвом положении, то сила инерции частей, движущихся взад и вперед, направлена вперед и, передаваясь через ведущее дышло, действует на колесо (фиг. 180). Для уравновешивания возвратно-движущихся частей достаточно было бы поместить с другой стороны колеса такой противовес, чтобы его центробежная сила P уравновесила силу инерции B возвратно-движущихся частей.

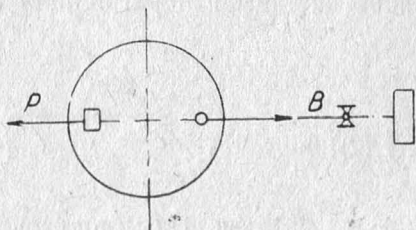
При положении кривошипа под углом к предыдущему, сила инерции возвратно-движущихся частей будет направлена горизонтально, а центробежная сила P будет действовать по линии, соединяющей ось вращения колеса с центром тяжести противовеса, в сторону от оси колеса.

Центробежную силу противовеса можно заменить по правилу параллелограмма двумя силами: горизонтальной P_1 и вертикальной P_2 , каждая из которых по величине меньше P .

* В большинстве случаев ось цилиндра расположена горизонтально.

Горизонтальная сила P_x , действуя по направлению силы B , будет частично уравнивать силу инерции возвратно-движущихся частей, а вертикальная P_y будет менять нагрузку колеса, увеличивая ее при нахождении противовеса в нижней полуокружности и уменьшая при нахождении вверху.

Наибольшее изменение нагрузки колеса будет происходить при положении противовеса на вертикальном диаметре колеса. Изменение нагрузки при этом положении кривошипа будет происходить на величину центробежной силы противовеса P .

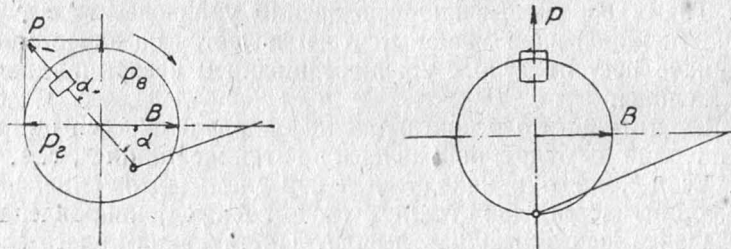


Фиг. 180. Сила инерции возвратно-движущихся масс.

Для полного уравнивания при горизонтальном положении кривошипа потребовался бы противовес значительной величины.

При вертикальном же положении подобный противовес дал бы такое изменение нагрузки, что паровоз или сошел бы с рельсов или ломал бы рельсы (если они недостаточно прочны). Это и наблюдалось в старину на первых паровозах с полным уравниванием возвратно-движущихся масс.

Для того, чтобы не было большого изменения нагрузки колес под влиянием противовеса для возвратно-движущихся масс, ему придают такую



Фиг. 180-а и б. Сила инерции возвратно-движущихся масс.

величину I , чтобы при вертикальном положении его центробежная сила не превосходила некоторой определенно допустимой величины, зависящей от прочности верхнего строения пути. При горизонтальном же положении центробежная сила такого противовеса будет не полностью, а лишь частично уравнивать силу инерции возвратно-движущихся масс, оставляя некоторую неуравновешенную величину, вызывающую подергивание и виляние.

Такой противовес, частично уравнивающий силу инерции возвратно-движущихся масс, носит название «вертикального избыточного»* прес-

* То есть дающего добавочное (избыточное) изменение нагрузки колеса на рельс.

тивовеса. Вся величина избыточного противовеса распределяется между всеми спаренными колесами, для того, чтобы уменьшить величину изменения нагрузки отдельного колеса под действием центробежной силы избыточного противовеса.

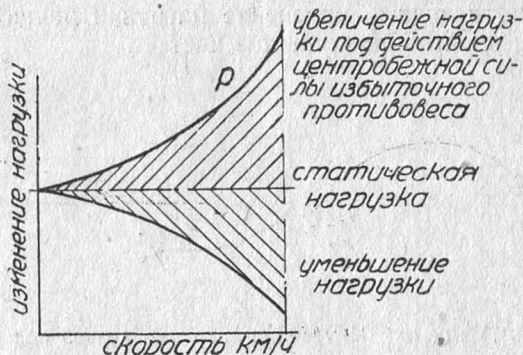
При вертикальном положении противовеса его центробежная сила, достигая максимальной величины, вызывает наибольшее изменение нагрузки колеса на рельс. Для ведущих колес предыдущих паровозов это изменение подсчитано при скорости 50 км/час и приведено в следующей таблице:

Тип паровоза	Статическая нагрузка	Вес избыточного противовеса на колесе	Центробежная сила избыточного противовеса P , вызывающая изменение нагрузки колеса	Изменение нагрузки в процентах от статической
0—5—0 Э	8 100 кг	На втором и четвертом колесе 25,5 кг	400 кг	4,95
1—5—0 ЕФ	8 350 "	Ведущее 251 кг	4 120 "	49,3
2—3—2 П при скорости 91 км/час	10 000 "	На сцепном колесе 63 кг	2 250 "	22,5

Изменение нагрузки под действием центробежной силы избыточного противовеса идет очень быстро с увеличением скорости и показано на фиг. 181. Отсюда видно, что с увеличением скорости в весьма сильной степени растет влияние избыточного противовеса, то перегружающего колеса при верхнем (вертикальном) положении противовеса, то разгружающего его при нижнем (вертикальном) положении.

Для ослабления этого нежелательного явления на пассажирских паровозах делают избыточные противовесы меньше, чем на товарных, учитывая, что пассажирские паровозы имеют большие скорости движения.

Кроме того, при следовании товарного паровоза с пассажирским поездом необходимо строго соблюдать правила технической эксплуатации (в отношении скорости движения), так как увеличение скорости при большом избыточном противовесе в товарном паровозе дает большое изменение нагрузки колеса.



Фиг. 181. Зависимость давления от избыточного противовеса.

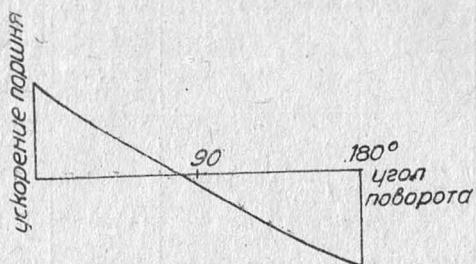
9. Изменение нагрузки под влиянием сил инерции возвратно-движущихся частей

Сила инерции возвратно-движущихся частей направлена по оси штока и равна произведению массы на ускорение.

Если вес возвратно-движущихся частей— b , а ускорение их при движении взад и вперед назовем через c , то сила инерции возвратно-движущихся частей

$$B = \frac{b}{g} c.$$

Если бы b , g и c были постоянны по величине при любом положении кривошипа, то сила инерции возвратно-движущихся частей B оставалась бы постоянной. Однако оказывается, что в зависимости от угла поворота кривошипа меняется величина ускорения c , в то время как вес возвратно-движущихся частей b

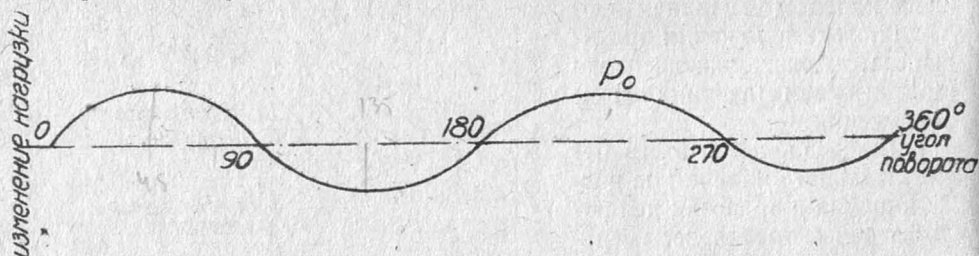


Фиг. 182. Ускорение возвр.-движ. частей.

и ускорение силы тяжести g остаются, конечно, неизменными.

Изменение ускорения возвратно-движущихся частей представлено на фиг. 182. Из этой фигуры видно, что при положении кривошипа в мертвых точках ускорение c имеет наибольшую величину. Следовательно, имеет наибольшую величину и сила инерции возвратно-движущихся масс.

Но так как сила инерции при этих положениях кривошипа передается через шатун, положение которого совпадает с линией мертвых точек и осью цилиндра, то она никакого изменения нагрузки колеса не вызовет. При отходе кривошипа от мертвого положения начинает происходить изменение нагрузки (колеса под влиянием силы инерции возвратно-движущихся частей).



Фиг. 183. Изменение нагрузки колеса под влиянием сил инерции возвратно-движущихся частей.

Максимальное изменение должно было бы произойти в верхнем или нижнем положении кривошипа (т. е. под углом 90°). Однако из фиг. 182 видим, что в этом положении ускорение очень мало, т. е. близко к нулю. Поэтому и сила инерции, так же как и ее влияние на изменение нагрузки колеса, в этом положении будет ничтожна.

Характер изменения нагрузки колеса при различных положениях кривошипа показан на фиг. 183.

Изменение же нагрузки колеса P_0 от скорости под влиянием этой причины по характеру одинаково с зависимостью изменения нагрузки от центробежной силы избыточного противовеса.

10. Суммарное изменение давления колес

Окончательное изменение нагрузки колеса, под влиянием всех выше рассмотренных причин вызывает увеличение или уменьшение нагрузки (динамическую нагрузку).

Наибольшее значение динамической нагрузки (перегруз) складывается из статической с добавлением изменений: от колебания рессор (Y), давления пара на поршень (H), центробежной силы избыточного противовеса (P), силы инерции возвратно-движущихся масс (P_0), следовательно, для движущей оси будем иметь динамическую нагрузку равной

$$D_{\text{макс.}} = P + Y + H + P + P_0.$$

Наименьшее значение динамической нагрузки, наоборот, равно разности статической и остальных добавочных нагрузок при закрытом регуляторе, т. е. при $H=0$.

$$D_{\text{миним.}} = P - Y - P - P_0.$$

Для сцепных осей динамическая нагрузка будет состояться из статической P , изменения от колебания рессор Y и изменения от центробежной силы избыточного противовеса P

$$D_{\text{м}} = P + Y + P,$$

а наименьшая

$$D_{\text{н}} = P - Y - P.$$

На фиг. 184 показано изменение нагрузки движущих и сцепных колес пассажирского паровоза серии С и товарного серии Э откуда видно, что максимальный перегруз колес не превышает 50—60% от статической нагрузки на колесо. Обычно динамическая нагрузка колеса не превышает полуторной статической нагрузки, т. е.

$$D_{\text{м}} = 1,5P.$$

Что касается наибольшего значения разгрузки колес, то таковая уменьшается, напр., у серии С до 1 000 кг при скорости 120 км/час для ведущей оси. Поэтому дальнейшее увеличение скорости свыше 120 км/час уже представляет опасность для движения паровоза.

Выше нами уже отмечались средства, применяемые в паровозах, с целью ослабления изменения нагрузки колеса: надлежащее уравнивание вращающихся и возвратно-движущихся частей, постановка рессорных балансиров и листовых рессор в значительной степени уменьшают величину изменения нагрузки колеса при движении паровоза.

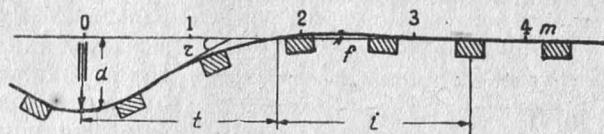
Но одни лишь эти конструктивные мероприятия не дадут желаемого результата, если не будет обеспечено правильное содержание и ремонт как пути, так и паровоза.

Поэтому для безопасности движения поездов путь должен содержаться в исправном состоянии, чтобы проходящий по нему паровоз с большой скоростью не испытывал никаких толчков. С этой целью должна быть

имеется под рельсовым звеном, или же чем жестче балласт, тем меньше изогнется рельс под неподвижной нагрузкой. С другой стороны, при податливом балласте и сильном рельсе давление распространяется на большое число шпал, чем облегчается работа каждого элемента верхнего строения. Глубина оседания рельса под неподвижной нагрузкой достигает 2 мм.

Что касается работы шпалы при неподвижной нагрузке, то линия ее просадки пути под неподвижной нагрузкой. постели опускается сперва равномерно по всей длине. Глубина этого опускания очевидно равна возможной глубине обжима балласта.

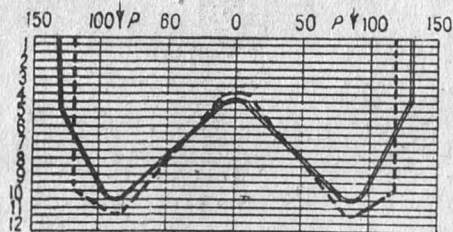
Середина шпалы остается на этой глубине; под рельсом же она достигает наибольшей глубины. На фиг. 186 указаны упругие линии шпал, т. е. границы упругого оседания шпал в балласте: (—) для шпалы длиной 270 см и (— · —) для шпалы меньше 270 см. Наибольшее же давление, которое передается рельсом на шпалу, достигает лишь около половины величины давления колеса, вторая же половина давления передается рельсом на соединение шпалы.



12. Путь при динамической нагрузке

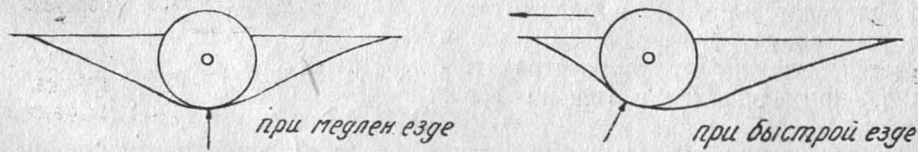
Действие динамической нагрузки резко отличается от действия статической. При спокойном положении нагрузки элементы верхнего строения принимают положение, указанное на фиг. 185.

Во время движения паровоза путь не остается в спокойном положении. Под давлением статической нагрузки он прогибается, а под влиянием движущейся нагрузки этот прогиб перемещается вдоль пути. Таким образом нагрузка как бы гонит перед собой волну, которая при быстром движении принимает вид, показанный на фиг. 187. Просадка пути в данном случае имеет большую величину, нежели при неподвижной нагрузке или медленной езде. Объясняется это влиянием тех сил, которые появляются при движении паровоза, особенно в рессорном подвешивании, а также ударами от неровностей пути и колес.



Фиг. 186. Упругие линии шпалы.

при неподвижной нагрузке или медленной езде. Объясняется это влиянием тех сил, которые появляются при движении паровоза, особенно в рессорном подвешивании, а также ударами от неровностей пути и колес.



Фиг. 187. Просадка пути под подвижной нагрузкой

Так же, как и при неподвижной нагрузке, под действием подвижной, рельс изгибается в пролете между шпалами и оседает вместе с шпалами и баластом.

Особенно сильное действие на путь оказывает подвижная нагрузка у стыка, так как здесь происходят удары колеса о конец противошерстного рельса.

Ударное действие колеса сказывается как на колесе, так и на рельсах с накладками. Колесо, ударяясь о конец противошерстного рельса, само изнашивается и приобретает неровный вид. В то же время удар сказывается на рельсах и накладках в том, что концы рельса, так же как и накладки, сминаются и изгибаются, как показано на фиг. 188.

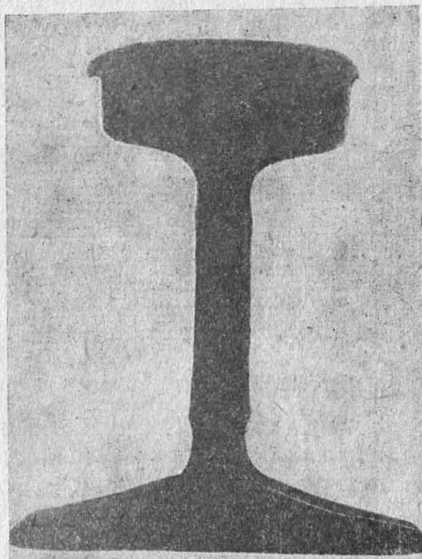
В § 45 «О соединении рельсов между собой» нами кратко освещен вопрос о пороге, который образуется в стыке. Чем больше высота этого порога и шире зазор между рельсами, тем больше ударное воздействие колеса в стыке.



Фиг. 188. Износ рельса и накладок на стыке.

В результате взаимодействия движущегося колеса и рельса они изнашиваются, т. е. теряют свою первоначальную форму и размеры не только на стыке, но и в пролете. Здесь происходит стирание головки рельса в верхней и боковой части, а также в месте соприкосновения рельса с накладками; смятие и выдавливание металла в сторону, в силу чего образуются напыльы (фиг. 189-а, 189-б); образование выбоин, в особенности при боксовании колес, образование поперечных трещин, изломов и т. д.

Образование трещин и изломов происходит под влиянием перенапряжения материала рельсов. Особенно это сказывается в зимнее время, когда внутренние напряжения в рельсе возрастают. Кроме того, число изломов старых рельсов возрастает при введении в обращение паровозов с большей, по сравнению с прежней, нагрузкой. Износ рельса, а следовательно, и продолжительность срока его службы, уменьшается, зависит от количества грузов, проходящих в год на 1 км пути.



Фиг. 189-а. Износ рельса и образующие напыльы.

Воздействие сил на шпалу сказывается в их механическом износе, который частично освещен выше. В то время как при статической нагрузке

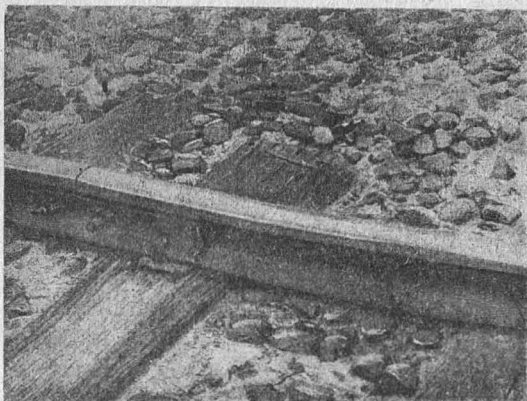
давление передается через накладку на шпалу и ее не разрушает, при динамической нагрузке накладка с течением времени вдавливаясь в дерево и причиняет механический износ шпалы. Помимо этого, с течением времени шпала теряет свои упругие свойства, чем ухудшаются в некоторой мере условия работы рельса. Несколько выше мы видели, что боковые воздействия на костыли и шурупы сказываются в износе шпал так же, как и в износе их самих.

Баласт также подвергается износу под влиянием движущейся нагрузки. Износ заключается в раздавливании (измельчении) частиц баласта и потери им упругости. Процессу износа баластного слоя способствуют повторные подымания и оседания шпал при прохождении поезда. Но и последние происходят оттого, что баластный слой был выдавлен из-под шпалы. В местах, где выдавлен баласт, образуются так называемые баластные корыта, куда попадает и где застаивается дождевая вода, а как нам уже теперь известно, в пути совершенно недопустим застой воды.

Угон рельсов. Одним из последствий взаимодействия пути и подвижного состава является так называемый «угон рельсов», на борьбу с которым расходуется до 30% от общих затрат по ремонту пути.

Явление угона состоит в том, что под действием подвижной нагрузки в пути появляются горизонтальные силы. Так как эти силы направлены вдоль рельса, то они и вызывают «угон». Угон заключается в том, что рельс сдвигается по шпалам вдоль пути. Совершенно очевидно, что для того, чтобы поставить обратно рельс на свое место, необходимо произвести разгонку зазоров и перегонку стыков.

Если рельс достаточно прочно прикреплен к шпале, то при песчаном баласте рельс угоняется вместе со шпалами. Но дело в том, что достаточно прочное прикрепление рельса к шпале достигается лишь при раздельном скреплении рельса с подкладкой и подкладки со шпалой. Такой род соединения рельса со шпалой требует реконструкции всего нашего скрепления, причем на это дело надо потратить большое количество металла. При одновременном же соединении рельса с подкладкой и подкладки со шпалой связь между рельсом и шпалой недостаточна. Как бы добросовестно ни загонялись костыли, они все же не в состоянии держать рельс прижатым к подкладке и шпале, вследствие того, что прокатывающаяся по рельсу волна приподнимает рельс кверху так же, как и дает ему осадку книзу, что сильно ослабляет прижатие рельса к шпале. А так как в таком случае коэффициент трения рельса по шпале и по подкладке меньше трения подошвы шпалы по баласту, то рельс скользит по поверхности шпалы, в то время как последняя остается на месте. Следовательно, волнообразное изгибание рельса является одной из причин его угона.



Фиг. 189-б. Износ рельса и образование напыла

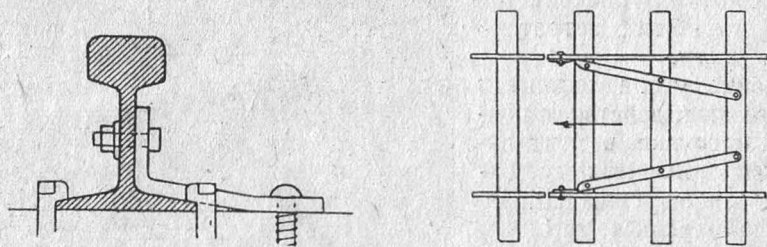
К причинам, вызывающим угон рельсов, следует, по исследованиям инж. К. Э. Кюнера, также отнести удары в стыках, которые сдвигают рельс в направлении движения, действие температуры, способствующей угону тем, что вызывает удлинение или укорочение рельсов, и силы трения на поверхности рельса, возникающие вследствие вертикальной нагрузки. Величина угоняющей путь силы тем больше, чем больше вес грузов, находящихся одновременно на рельсовом звене. Величина же угона тем меньше, чем больше прочность верхнего строения пути.

Инж. К. Э. Кюнер находит, что паровоз Э (0—5—0), помещающийся с тендером на одном рельсовом звене длиной 12 метров, угоняет это звено с силою 18 700 кг, в незаторможенном состоянии, при торможении же—с силою 37 400 кг.

На фиг. 190 показаны применявшиеся у нас до последнего времени типы противоугонных приспособлений.

Их устройство несложно. Оно понятно из чертежа. Можно определенно сказать, что польза от этих противоугонных приспособлений почти ничтожна. В дальнейшем оставаться при этих приспособлениях совершенно невозможно.

Что касается действительных мероприятий по борьбе с угом, то они различны в отношении угона рельсов со шпалами и рельсов по шпалам.



Фиг. 190-а и б. Старые типы противоугонных приспособлений!

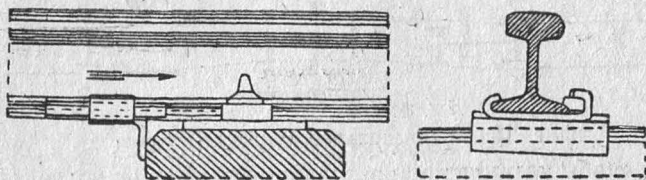
Хорошим средством против угона шпал является применение остроугольного щебня, в качестве баласта, как это делается на многих заграничных железных дорогах. В таком случае возрастает коэффициент трения между шпалой и баластом и, следовательно, возрастает сила трения противостоящая угону. Следовательно, и в этом отношении имеет большое значение переход на щебеночный баласт.

Совсем иное дело представляет собой борьба с угом рельсов по шпале. Как уже отмечалось выше, самым верным приближением к решению вопроса было бы раздельное скрепление рельса с подкладкой. Наилучшее прижатие рельса к подкладке может быть осуществимо в подкладке системы инженера Кюнера, где указанное прижатие достигает 5 тонн, в то время как в известной германской подкладке типа К прижатие осуществляется силой в 2,4 тонны. Однако, пойти на полную приварку подкладки к рельсам не представляется возможным вследствие нескольких причин, а именно: вследствие того, что рельс становится более хрупким, вследствие того, что это создает дополнительные температурные напряжения в рельсах, а также вследствие того, что это создает затруднения при смене изношенных подкладок и пр.

Таким образом, там, где применен баласт хорошего качества, приходится противоугонные приспособления ставить по принципу передачи

угона на шпалы. По этому принципу применяется много систем противоугонных приспособлений, главным образом, на западно-европейских и американских ж. д., где применен баласт хорошего качества.

На фиг. 191 показан один из таких типов германских противоугонных приспособлений.



Фиг. 191. Германское противоугонное приспособление.

В наших условиях, при песчаном баласте, имеет большее значение применение противоугонных приспособлений, которые передают угоняющие усилия земляному полотну.

В этом отношении заслуживает внимание анкерное противоугонное приспособление системы инженера Истомина (фиг. 192). Здесь шпалы освобождаются от действия продольных усилий, которые обыкновенно разрушают постель шпал.



Фиг. 192. Противоугонное приспособление системы инж. Истомина.

Опыт применения конструкций подобного рода показал, что и они имеют ряд недостатков. Основной из этих недостатков

заключается в том, что здесь не используются вес подвижного состава и сила самого угона. В новейших конструкциях такого типа учтен этот опыт. Об этом кратко сказано в статье о реконструкции пути.

ГЛАВА XVI

ДВИЖЕНИЕ ПАРОВОЗА

Характер движения и процессы, происходящие при движении в прямой и кривой частях пути, резко различны и поэтому должны быть рассмотрены отдельно для лучшего выяснения явлений, происходящих во время движения паровоза в том и другом случае.

13. Движение паровоза по прямому пути

Если внимательно наблюдать движение паровоза по прямому пути, то можно заметить, что он не движется по прямому направлению, совпадающему с серединой пути, но все время отклоняется от середины пути то вправо, то влево (фиг. 193 и 193-а), а также вверх и вниз от спокойного положения, занимаемого паровозом перед началом движения.

Отклонение паровоза от середины пути происходит под влиянием многих причин, зависящих как от конструкции самого паровоза, так и состояния верхнего строения пути.

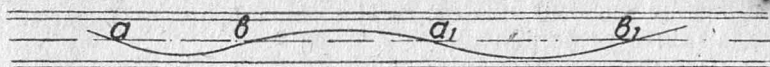
Дело в том, что паровозные колеса устроены таким образом, чтобы давать возможность двигаться паровозу без схода с рельсов. Последнее осуществляется посредством устройства колес с гребнями, находящимися с внутренней стороны рельсов, благодаря чему паровоз движется, все время направляемый гребнями колес.



Фиг. 193. Неправильное движение паровоза.

Для того, чтобы не происходило заедания гребня между головками рельсов, расстояние между внутренними гранями рельсов (1 524 мм) делают шире, чем расстояние между внутренними гранями гребней (1 507 мм). Поэтому если, например, паровоз сдвинется влево, как показано на фиг. 194, то между гребнем и колесом образуется зазор, равный

$$a = 1524 \text{ мм} - 1507 \text{ мм} = 17 \text{ мм.}$$



Фиг. 193-а. Неправильное движение паровоза.

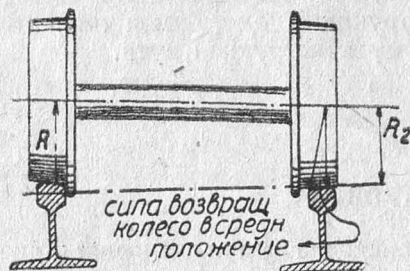
Наличие этого зазора позволяет паровозу свободно отклоняться от середины пути вправо и влево, если он встречает на своем пути неправильное положение рельсов в виде выступа на одной из сторон пути.

Такому свободному отклонению паровоза от середины пути способствует боковое давление ветра. Одной из важнейших причин, вызывающих это отклонение, являются конструктивные особенности устройства паровоза (коничность бандажей, наличие движущихся взад и вперед частей паровозной машины).

Паровоз, двигаясь в направлении, показанном стрелкой, под влиянием указанных причин отклонится от своего среднего положения налево и ударится гребнем переднего левого колеса о край рельса. Потом снова отклонится, но уже вправо, и займет положение 2, причём о край рельса ударится теперь уже гребнем переднего правого колеса. Затем паровоз отклонится опять влево, снова ударится передним колесом о рельс, отклонится вправо и т. д.

Такое движение паровоза из стороны в сторону будет ослабляться благодаря трению между головкой рельса и бандажом. Бандажи паровозных колес делают коническими для того, чтобы колесо автоматически сдвигалось в среднее положение при выходе из него.

На фиг. 194 левое колесо прикасается к левому рельсу и катится по нему большим радиусом R_1 , а правое колесо двигается по правому рельсу малым радиусом R_2 .

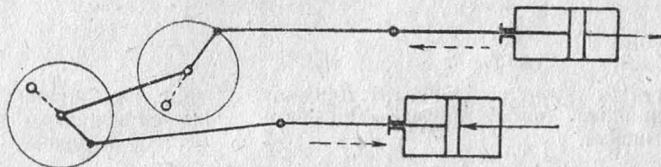


Фиг. 194. Зазор между колесом и рельсом.

Поэтому ось колеса наклоняется, опускаясь в правую сторону (фиг. 194). Нагрузка колеса на рельс передается по вертикали, а так как колесо стоит наклонно, то эта нагрузка разлагается на две силы: одну по направлению, перпендикулярному к оси колеса, и другую вдоль оси. Эта последняя сила, действуя вправо, тем самым автоматически приводит колесо в среднее положение. Однако коничность бандажей при работе паровоза сохраняется непродолжительное время вследствие срабатывания. Поэтому изношенные бандажи плохо способствуют автоматическому возвращению паровоза в среднее положение. На «извилистое движение» весьма похоже уже известное нам «виляние» паровоза. Как в том, так и в другом случае паровоз попеременно отклоняется то вправо, то влево, причем ось движущегося паровоза двигается по линии: ab , a_1b_1 , ... и т. д., соответственно чему гребень переднего колеса будет набегать то на правый, то на левый рельс (фиг. 193-а).

В то время как извилистое движение вызывается внешними по отношению к паровозу причинами (неправильное состояние пути),—виляние зависит от причин, присущих исключительно особенностям устройства паровоза. К числу последних относится то обстоятельство, что в паровозе большею частью делают две паровых машины с правой и левой стороны, имеющих кривошипы под углом 90° друг к другу.

Благодаря такому расположению кривошипов силы давления пара на поршень на обеих сторонах паровоза неодинаковы, а при расположении кривошипов по фиг. 195 с правой стороны давление на поршень действует назад, а с левой—вперед. Силы, действующие подобным образом, будут стараться повернуть паровоз передним концом вправо.



Фиг. 195. Расположение кривошипов.

При расположении кривошипов, противоположно показанному пунктиром на фиг. 195, силы, действующие на поршень, будут поворачивать паровоз передним концом влево. Кроме того виляние, как известно из предыдущего, вызывается силами инерции возвратно-движущихся частей при мертвых положениях кривошипа.

Применение противовесов частично ослабляет явление виляния, но не устраняет его полностью, так как в паровозе нельзя безопасно поставить противовесы для полного уравнивания сил инерции возвратно-движущихся масс. Виляние так же, как и «извилистое движение», поглощается трением бандажей о головки рельсов.

Однако, если вследствие срабатывания буксовые подшипники (фиг. 196) имеют зазор a на шейках, благодаря чему ось имеет разбег (поперечное перемещение), то при наличии большой величины разбега виляние может принять опасную форму, так как оно будет происходить без трения бандажей о рельсы.

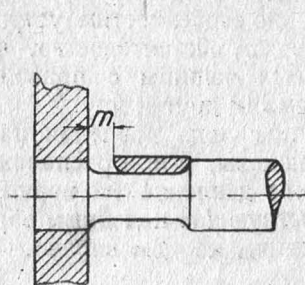
Самое явление происходит в этом случае следующим образом: верхняя часть паровоза, под влиянием силы давления пара на поршни и сил

инерции возвратно-движущихся масс, передвигается в ту или другую сторону по шейкам. Как только подшипник ударится о буртик оси, начнет двигаться весь паровоз с осями и колесами. Тут же появится сила трения между бандажом и рельсом, которая ослабит явление виляния.

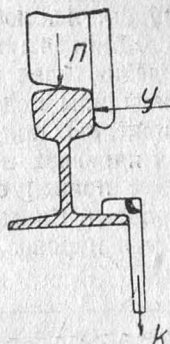
Ясно, что чем больше будет зазор между буртиком оси и подшипником, тем дольше не появится сила трения между бандажом и рельсом и тем больше, следовательно, опасность виляния. Разбег осей у обычных паровозов появляется лишь в результате срабатывания подшипника. У паровозов же с большой жесткой базой иногда для лучшего прохождения кривых несколькими осями дают боковые перемещения, т. е. устраивают разбег в подшипнике или буксе.

Однако разбег осей в этих паровозах не опасен ввиду наличия большой базы, а иногда и возвращающих устройств, т. е. приборов для автоматического возвращения оси в среднее положение при отклонении от него.

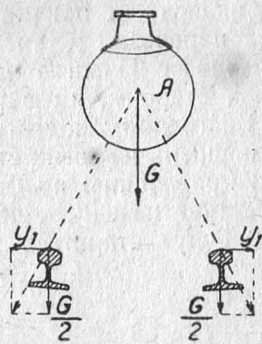
Как при вилянии, так и при извилистом движении колесо набегает на рельс и давит на него с силой $У$, стремящейся вывернуть рельс в наруж-



Фиг. 196. Зазор подшипника на шейке.



Фиг. 197. Давление ребры на рельс.



Фиг. 198. Влияние расположения центра тяжести паровоза.

ную сторону пути (фиг. 197). Последствием давления гребня колеса на головку рельса является отжатие костылей в гнездах и частичное выдергивание костылей, прикрепляющих рельс к шпале.

Эти явления вызывают частую перешивку пути, что, как мы видели выше, сказывается самым отрицательным образом на службе шпал, вызывая их механический износ.

Подобные же явления происходят вследствие того, что центр тяжести паровоза расположен на некоторой высоте над головкой рельса, в результате чего появляются две боковые силы $У_1$ — также стремящиеся вывернуть рельс в наружные стороны пути (фиг. 198).

Эти силы $У_1$ будут тем меньше, чем выше расположен центр тяжести паровоза (точка А). Раньше существовало стремление строить паровозы с низким расположением центра тяжести паровоза для большей устойчивости. В современных же паровозах, наоборот, центр тяжести делается возможно выше, с целью ослабить величину боковой силы $У$. Повышение центра тяжести паровоза достигается легче всего повышением оси котла над головкой рельса, достигающей сейчас в некоторых паровозах величины 3300 - 3450 мм.

Итак, на паровоз при его движении действует ряд сил, которые нарушают правильное движение паровоза, вызывая так называемые «вредные»

движения, отрицательно отражающиеся на самом паровозе и верхнем строении пути. Причины этих вредных движений нам уже известны. Они заключаются в конструктивном устройстве самого паровоза и верхнего строения пути.

Часть этих вредных движений мы только что рассмотрели. Это — извилистое движение и виляние.

Кроме этих двух вредных движений, при внимательном наблюдении за ходом паровоза можно заметить еще следующие:

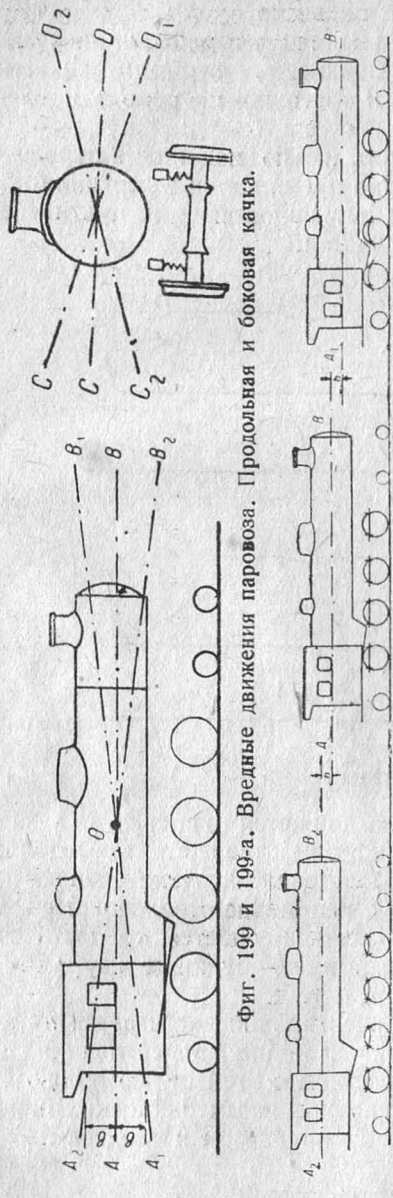
- а) продольную качку,
- б) поперечную качку,
- в) подпрыгивание,
- г) подергивание.

Первые три движения являются результатом подвешивания верхней

части паровоза на рессорах, которые начинают колебаться, как только колеса на пути встретят какую-либо неровность: выбоину в рельсе или бандаже, неровность рельса, стык рельсов и пр. Давление пара в цилиндрах, которое благодаря наклонному положению ведущего дышла частично будет передаваться на параллель, также служит причиной этих трех явлений. Вследствие же качаний и подпрыгивания происходит колебание рессор. Последнее, как мы видели выше, вызывает изменение нагрузки колеса то в большую, то в меньшую сторону.

Эти вредные движения отличаются по своему характеру (фиг. 199-а—в) друг от друга.

При продольной качке



Фиг. 199 и 199-а. Вредные движения паровоза. Продольная и боковая качка.

Фиг. 199-б. Вредные движения паровоза. Подпрыгивание.

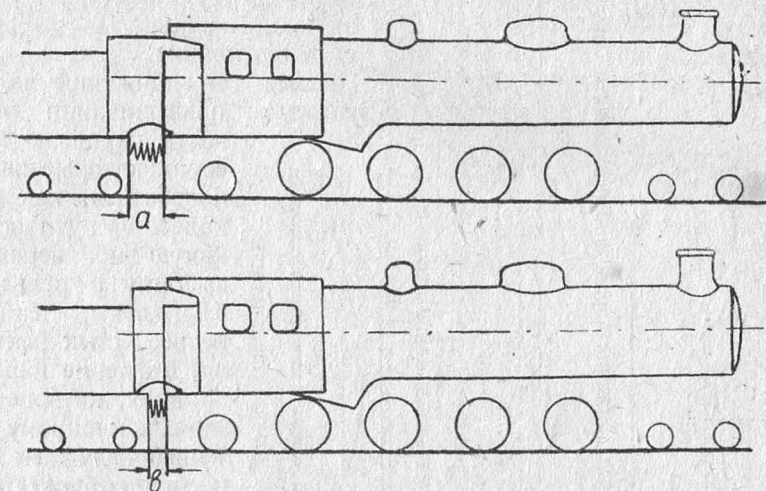
Фиг. 199-в. Вредные движения паровоза. Извилистость.

происходит попеременное опускание или поднятие обоих концов паровоза то переднего, то заднего. При поперечной качке попеременно поднимаются или опускаются то правая, то левая сторона паровоза. При подпрыгивании же все строение паровоза сразу поднимается или опускается то вниз, то вверх, оставаясь параллельным своему спокойному положению.

Выше мы уже отметили те средства, которые употребляются при конструировании паровоза с целью ослабления вредного воздействия изменения нагрузки колеса под влиянием колебания рессор, а именно: применение балансиров, мягких рессор и двойной подвески.

Однако не менее важное значение как на величину изменения нагрузки колеса, так и на износ частей паровоза и верхнего строения пути оказывает правильное содержание последнего и тщательный ремонт и уход за ним.

Последнее из отмеченных нами движений, наблюдающихся в паровозе во время его хода,—это «подергивание». Оно проявляется в дергании паровоза то вперед, то назад под влиянием неуравновешенных противове-сами сил инерции возвратно-движущихся частей.



Фиг. 200. Подергивание.

При подергивании весь корпус паровоза движется то вперед, то назад, то натягивая рессоры сцепления между паровозом и тендером, то ослабляя их (фиг. 200). Последствием этого является сильная нагрузка сцепления, частое его ослабление и неизбежные удары, неприятно отражающиеся на состоянии паровоза. Когда «сцепление бьет»—нарушается крепость соединения отдельных частей паровоза, как например—будки, междурамных креплений, привалочной плиты цилиндров и т. д.

Устранение или, вернее, ослабление подергивания достигается путем применения противовесов, уменьшающих величину подергивания до 2—4 мм. Кроме того, действительным средством с этой целью являются жесткие рессорысцепления или же применяемое на американских паровозах совершенно жесткое сцепление между паровозом и тендером.

14. Движение паровоза по кривой

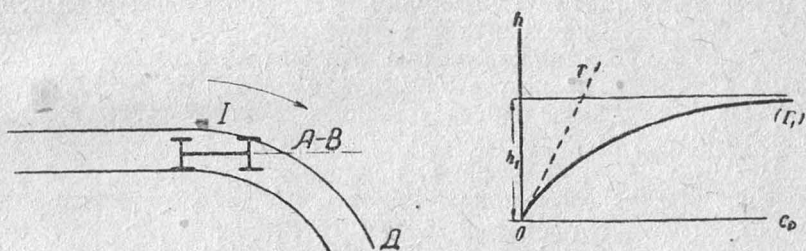
Все вышеописанные вредные движения, появляющиеся на ходу паровоза, могут происходить как в прямой части пути, так и в кривой. Однако движение по кривой имеет совершенно особый характер по сравнению с движением по прямому пути. Главной особенностью движения паровоза по кривой являются характерные признаки любого криволинейного

движения, во время которого появляется ряд сил, отсутствующих при движении по прямой.

Предположим, что паровоз, условно обозначенный на фиг. 201-а, двумя осями переходит с прямого пути в кривую. Вследствие того, что он движется с определенной скоростью, он по инерции старается двигаться по своему старому направлению AB . Но так как при этом гребень переднего наружного колеса набегит на внутреннюю грань головки наружного рельса, то дальше паровоз будет вынужден идти не по прямому направлению AB , а по направлению кривой AD .

На фиг. 201-б показано соприкосновение гребня наружного колеса и рельса в кривой.

Колесо стремится по направлению AB , в действительности же оно идет по кривой AD . Движение по кривой можем себе представить состоящим из двух движений: а) движения по направлению AB и б) движения по направлению BC .



Фиг. 201-а, б. Движение по кривой.

В то время как величина пути AB проходит качением, — часть пути BC колесо вынуждено пройти скользя по направлению к центру кривой. Это скольжение носит название «поперечного скольжения» в отличие от продольного скольжения, происходящего в направлении продольной оси паровоза.

Продольное скольжение появляется благодаря тому, что длина наружной нитки кривой больше, чем длина внутренней нитки кривой. Число же оборотов колес, неподвижно запрессованных на осях, одинаково у наружного и у внутреннего колеса. Поэтому при одинаковых диаметрах колес они проходят одинаковые расстояния и, следовательно, для того, чтобы наружное колесо прошло больший путь по наружному рельсу, а внутреннее меньший по внутреннему рельсу, неизбежно должно происходить скольжение: либо наружного колеса назад, либо внутреннего колеса вперед.

Так как оба эти явления (скольжение и качение) при движении паровоза в кривой существуют одновременно, то в результате происходит движение колеса по направлению кривой.

Итак, во время движения паровоза в кривой имеется скольжение бандажа по рельсу. Поэтому появляются силы трения, величина которых зависит от давления между бандажом и рельсом и от коэффициента трения. Направление же их совпадает с направлением перпендикуляра к линии, соединяющей ось колеса с центром O поворота паровоза, т. е. воображаемой точки, вокруг которой как бы происходит поворачивание паровоза по направлению к центру кривой (фиг. 202).

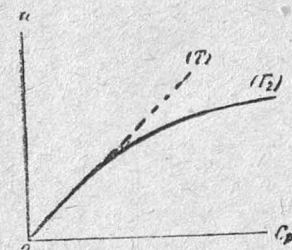
Центр поворота всегда лежит на продольной оси паровоза в точке пересечения перпендикуляра из центра кривой O_2 на продольную ось паровоза.

Очевидно, что паровоз сможет двигаться вдоль кривой лишь в том случае, если давление на гребень со стороны наружного рельса преодолет влияние сил трения между бандажом и рельсом и центробежной силы, появляющейся при движении паровоза в кривой.

Это боковое давление на гребень, поворачивающее паровоз так, что он идет по направлению кривой, называется «боковым или направляющим» давлением.

Центробежная сила, появляющаяся при движении паровоза по кривой, старается отбросить паровоз прочь от центра кривой, вызывая тем самым прижатие гребней наружных колес к наружному рельсу. В результате этого происходил бы сильный износ гребня колеса и головки рельса. Кроме того, так как центробежная сила приложена над рельсами в центре тяжести паровоза, то она будет опрокидывать его около точек опоры колес на наружном рельсе. Опрокидыванию будет препятствовать влияние веса паровоза.

Для того, чтобы с одной стороны, парализовать прижатием центробежной силой гребней колес к наружному рельсу, а с другой — увеличить устойчивость паровоза, при движении



Фиг. 202. Поворот паровоза.

по кривой против опрокидывания, наружный рельс в кривой укладывается с превышением (фиг. 203), т. е. головка наружного рельса укладывается выше головки внутреннего рельса.

Величина этого превышения зависит от радиуса кривой, так как центробежная сила, для преодоления которой устраивается превышение, выражается, как известно, следующим образом:

где:
$$C = M \frac{v^2}{R}$$

C — центробежная сила,

M — масса паровоза,

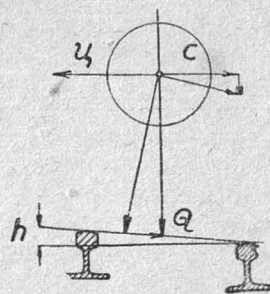
v — скорость движения паровоза,

R — радиус кривой.

При наличии превышения собственный вес паровоза дает составляющую C , направленную к центру кривой в сторону, противоположную действию центробежной силы.

Сила C называется «центростремительной силой» потому, что она стремится сдвинуть паровоз к центру кривой.

Для беспрепятственного прохождения паровозом кривых частей пути без заклинивания, могущего произойти вследствие жесткого укрепления колес на осях и в раме при помощи букс, в кривой части пути делают уширение. Это значит, что ширину пути между головками рельсов



Фиг. 203. Превышение наружного рельса.

делают, в зависимости от радиуса кривой, больше нормальных³—1 524 мм. Чем меньше радиус, тем больше требуется уширения для свободного прохода паровоза по кривой.

Уширение получается за счет отодвигания внутреннего рельса в сторону центра кривой.

На фиг. 204 показано положение паровоза в кривой с внутренним рельсом, находящимся на нормальном расстоянии от наружного. Там же пунктиром показано положение внутреннего рельса, сдвинутого внутрь на величину уширения.

Уширение пути в кривой никогда не делается больше 20 мм, как бы мал ни был радиус, во избежание схода колес с рельсов.

Однако это еще не все явления, происходящие с паровозом при движении по кривой. Под влиянием бокового давления рельса на гребень появляется сила, стремящаяся поднять колесо кверху и вызвать всползание гребня на рельс, а следовательно, и сход паровоза с рельсов.



Фиг. 204. Уширение.

Это явление усиливается еще тем обстоятельством, что при движении паровоза появляется живая сила $\frac{Mv^2}{2}$, которая старается двигать паровоз

по направлению касательной к кривой. Вследствие этого гребень, набегая в косом направлении на рельс, легко может всползти на головку рельса и вызвать сход паровоза с рельсов. Для того, чтобы это явление не могло произойти, боковое давление на переднее наружное колесо допускается лишь на 20% больше его статической нагрузки. При этом условии можно быть уверенным, что колесо не будет подниматься на рельс. Это условие принимается во внимание при проектировании новых паровозов.

Рассмотренные неправильности, наблюдающиеся при движении паровоза, вызывают целый ряд явлений, вредно отражающихся на состоянии пути и паровоза. Одним из следствий этого является уменьшение безопасности движения.

Так, например, при извилистом движении или вилянии происходит набегание гребня на рельс. Такое же явление происходит при движении паровоза в кривой, с той лишь разницей, что в кривой колесо идет все время с прижатым к рельсу гребнем, а при извилистости или вилянии происходит то набегание, то отход гребня от рельса.

Соприкасающиеся поверхности гребня и рельса, прижимаясь друг к другу с большой силой, быстро изнашиваются и теряют свою первоначальную форму.

Весьма опасен для безопасности движения изношенный гребень, потерявший свою первоначальную форму. Поэтому изношенный гребень подвергается обточке, во время которой он приобретает свою первоначальную форму. Не только гребень, но и бандаж, имевший вначале коническую форму, быстро теряет последнюю и подвергается обточке с целью восстановления первоначальной формы. Обычно обточка гребня соединяется с обточкой бандажа. По достижении гребнем или бандажом предельной толщины, бандаж снимается с колеса и заменяется новым. Что касается рельса, то ему нельзя придать после износа первоначаль-

ный вид, он остается в таком виде лежать в пути до тех пор, пока не будет заменен новым.

Следствием прижатия гребня к рельсу является не только износ гребня и рельса, но еще и некоторые изменения в самом верхнем строении пути.

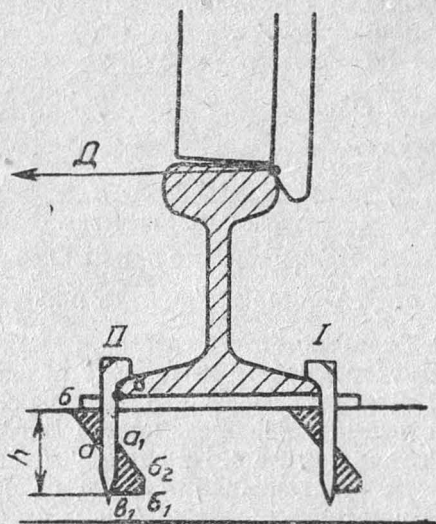
Давление гребня на рельс передается рельсом на головку костыля *I* (фиг. 205), а подкладкой на головку костыля *II*. Костыли, воспринимая давление от рельса, стремятся повернуться и давят на шпалу, отчего дерево шпалы, находящееся у костылей, сминается в заштрихованных местах.

Смявшаяся часть дерева слабее удерживает костыль, который легко может выскочить под влиянием опрокидывания рельса около точки *O*.

Боковое давление целиком воспринимается наружным костылем *II* и уже отсюда часть боковой силы через накладку передается *I* костылю.

Результатом такой передачи силы может произойти перерезывание костылей *I* и *II* при большом значении бокового давления гребня на рельс.

Под влиянием бокового давления гребня на рельс весь путь с рельсами и прикрепленными



Фиг. 205. Давление гребня на рельс.



Фиг. 206. Сдвигка пути.

к ним шпалами может сдвинуться в баласте из положения первого в положение второе (фиг. 206).

Так как при такой сдвигке пути может произойти уширение его, то на это явление необходимо обращать самое серьезное внимание. В особенности это явление легко может произойти в мокром баласте, почему всегда необходимо предусмотреть достаточно хороший отвод воды от баласта и самый баласт должен быть хорошим.

Кроме того, боковое давление может вызвать уже отмеченное выше всползание гребня на рельс.

Влияние бокового давления усиливается еще тем, что оно, складываясь с вертикальной динамической нагрузкой, легко может вызвать излом рельса. Не останавливаясь на перечислении вредного действия вышеупомянутых неправильностей при движении паровоза, отметим, что для уменьшения действия таковых в самом устройстве паровоза предусматривается ряд мер, хотя и неполностью, но частично ослабляющих их вредное действие.

Что касается пути, то и в нем, как мы видели, принят ряд мер с целью ослабить вредные движения и воздействия, возникающие при движении паровоза: уширение колеи в кривой, превышение наружного рельса в кривой и т. д.

ГЛАВА XVII

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПУТИ

1. О реконструкции и рационализации *

Наши железные дороги вплотную подошли к осуществлению стоящих перед ними задач реконструкции. Восстановительный период уже давным-давно остался позади.

Сумеет ли наш железнодорожный транспорт справиться со все возрастающими громадными перевозками лишь одними рационализаторскими мероприятиями? Люди, так думающие, противопоставляют рационализацию реконструкции. Это—худший вид правого оппортунизма, осужденного в решениях ВКП (б).

Проводя реконструкцию транспорта, мы не можем отказаться и от проведения рационализаторских мероприятий. Совершенно очевидно, что при ремонте пути мы должны, например, добиться правильной забивки костыля, что должно дать, как мы видели выше, миллионные суммы экономии. Это мероприятие относится к области рационализации ведения путевого хозяйства. В такой же мере очевидно, что нам неотложно необходимо перейти к усиленным рельсовым скреплениям, в частности стыковым. Это уже относится к вопросам реконструкции. Противоречия, противопоставления одного мероприятия другому не может быть.

То же самое мы видим и в отношении паровоза. Имеется ли какое-либо противоречие между мероприятием по улучшению сжигания угля в топках паровоза (мероприятием рационализаторским) и установкой на мощных паровозах стокера (мероприятием реконструктивным)?

Из всего сказанного с полной очевидностью вытекает, что рационализацию нельзя противопоставить реконструкции.

Плохое состояние пути характеризуется пучинами и толчками, что вызывает лопание рельсов и накладок, ускоряет износ подвижного состава, уменьшает скорости движения и увеличивает число происшествий. Все это вместе взятое дает огромное увеличение издержек по содержанию пути в порядке.

При плохом состоянии пути железнодорожный транспорт совершенно не в состоянии справиться со все возрастающим грузооборотом, который уже сейчас почти в два раза выше довоенного.

Взросший грузооборот требует увеличения пропускной способности. Последнюю задачу можно в частности разрешить увеличением мощности паровоза. Мощный же паровоз дает значительно большую нагрузку на

* Основные положения и цифровые данные взяты из материалов НКПС по реконструкции транспорта.

ось против существующей нагрузки у наших теперешних паровозов (23, 25 и 27 т против 18 т). Путь же при теперешнем своем состоянии не в силах поднять такую тяжесть. Отсюда со всей очевидностью вытекает боевая задача реконструкции транспорта в целом и пути в частности. Ведущим звеном в реконструкции общей программы транспортного хозяйства является вопрос о реконструкции локомотива.

В самом деле, намеченный в 1931 г. размах строительства дает утроенную промышленную продукцию по сравнению с довоенным уровнем.

Между тем общая мощность тяговой силы всего паровозного парка возрасла всего лишь на 45%, а именно:

В 1913 г. общая сила тяги паровозов операционного парка была 124 367 т, в 1928/29 г. она составляла 180 092 т.

Отсюда понятно несоответствие между ростом промышленной продукции и ростом тяговой силы паровозного парка, несмотря на улучшения использования паровозов по сравнению с довоенным временем.

Для обеспечения возможности дальнейшего развертывания социалистического строительства, партией и правительством вынесено решение о социалистической реконструкции транспорта.

[2. Элементы реконструкции]

Реконструкция железнодорожного транспорта охватывает проведение в жизнь целого ряда сложных мероприятий. Сюда входят: автосцепка, автоторможение, автоблокировка, мощный паровоз, большегрузный вагон, электрификация, смягчение профиля на отдельных участках, механизация путевых работ, оздоровление земляного полотна, реконструкция верхнего строения и многое другое.

Теперь всякому известно, что от состояния транспорта зависит успешное проведение в жизнь пятилетнего плана развития народного хозяйства. Обороноспособность любой страны зависит от состояния и технической вооруженности транспорта. Для СССР, страны с громадными пространствами, это правило приобретает еще большее значение.

Между тем наш железнодорожный транспорт во многом очень отстал от железных дорог передовых капиталистических стран. Например в САСШ путь и паровоз значительно сильнее нашего. А ведь путь и паровоз—основа железной дороги.

Не останавливаясь подробно на всех этих перечисленных элементах реконструкции транспорта, отметим, что реконструктивные элементы делятся на две категории:

а) общие для всей сети, т. е. такие, которые вводятся на всех участках наших железных дорог: автосцепка, автотормоз, большегрузные вагоны и габарит, и б) не общие для всей сети, т. е. такие, которые будут вводиться на отдельных участках наших дорог, там, где в них ощущается необходимость. Сюда относятся: мощный локомотив, электровоз, паровоз, тепловоз, реконструкция тяговых и ремонтных устройств, реконструкция пути и мостостроения, введение автоблокировки и целый ряд других элементов, вызываемых введением реконструктивных мероприятий.

Вся наша железнодорожная сеть в зависимости от роста грузооборота разбивается на три категории участков:

а) участки с намечающимся особенно большим приростом грузооборота, требующие введения всех (общих и частных) элементов реконструкции;

б) участки со средним приростом, требующие введения, кроме общих для всей сети элементов, также отдельных дополнительных (частных) элементов реконструкции;

в) участки с приростом ниже среднего, требующие введения лишь общих для всей сети реконструктивных элементов.

Реконструкция разбивается на два периода, характеризующихся типом двигателя, являющегося ведущим звеном реконструкции.

Начало первого периода соответствует выпуску паровоза с силой тяги 25 000 кг. Второй период начинается со времени преобладания электрической энергии для двигателя.

Отдельные участки названных трех категорий в эти два периода будут иметь следующие типы двигателей:

Категория участков	Т и п д в и г а т е л я	
	Первый период реконструкции	Второй период реконструкции
I	Мощный паровоз с силой тяги в 25 000 кг	Электропоезда
II	ЭУ, ЭМ	Паровоз с силой тяги 25 000 кг
III	Щ, ОВ и другие серии	ЭУ и другие серии

Мы видели выше, в начале этой работы, что железнодорожный путь состоит из двух основных частей: нижнего и верхнего строений. К первому относится земляное полотно; ко второму—балласт, шпалы и рельсы со креплениями.

Состояние земляного полотна наших железных дорог оставляет желать много лучшего. Основной болезнью нашего земляного полотна, а вместе с ним и всего пути являются пучины. На борьбу с этим злом ежегодно тратится много средств, и путь все же остается больным. Между тем эту болезнь можно вылечить. Отчего появляются пучины? Оттого, что в земляном полотне заложены водонепроницаемый грунт. Последний при морозах замерзает, вследствие этого расширяется и дает «опухоль» на полотне, которая в свою очередь поднимает и перекашивает рельсовую колею.

Стоит отвести воду из водонепроницаемых слоев—как будет упразднена причина этих зол. Отвести же из водонепроницаемых слоев воду мы умеем. Надо заложить так называемые «дренажи». Надо углубить кюветы и их постоянно очищать. Еще лучше, там, где это доступно, «оперировать» больные места земляного полотна, т. е. заменить водонепроницаемые слои грунтами водопроницаемыми.

Эти меры радикально продвинули вперед борьбу с пучинами и балластными корытами.

Но путь наш страдает еще оттого, что применяемый на наших железных дорогах песчаный балласт очень низкого качества. С улучшением качества балластного слоя сразу получим лучшие показатели работы и износа верхнего строения и подвижного состава, а также улучшим устойчивость пути в целом. Это доказано опытом Германии и САСШ, где в балластный слой укладывается щебенка и гравий.

Таким образом необходимо нам перейти на применение баласта лучшего качества. Но щебень является очень дорогим материалом. Его стоимость с перевозкой и укладкой в путь доходит до 10 руб. и выше с куб. метра. В один километр пути его надо уложить 1 200—1 500 м³. Следовательно, переход на щебеночный баласт является одним из очень дорогих элементов реконструкции пути.

Сделать такие большие капиталовложения в путь будет иметь смысл тогда, когда этим мы значительно сократим эксплуатационные расходы, вызываемые соответствующим грузооборотом.

Нами подсчитано*, что переход на щебеночный баласт будет оправдан при интенсивности** движения для однопутных линий в 11—12 млн. т/км на 1 км и для двухпутных линий при 22—25 млн. т/км на 1 км.

К тому же следует подчеркнуть, что переход на щебеночный баласт при плохом состоянии земляного полотна равносителен возведению здания на плохом фундаменте. Совершенно недопустимо применять щебеночный баласт на земляном полотне, дающем баластные корыта. В Германии, где земляное полотно почти не страдает пучинами, оно с целью усиления покрывается каменной корой, дающей твердую шоссированную поверхность, на которую кладется щебеночный баластный слой.

Мероприятия по реконструкции земляного полотна потребуют по исчислениям инж. К. Э. Кюнера расходов около 5 000 руб. на 1 км. Как видим, расходы по реконструкции земляного полотна и баластного слоя по всей нашей сети составят сумму в сотни миллионов рублей.

3. Скрепления

Силы, вызывающие расстройство пути, разбивают на три группы***:

а) силы вертикальные, которые расстраивают путь вследствие слабости баласта и земляного полотна; б) силы горизонтальные, направленные вдоль пути, вызывающие угон рельсов и шпал вследствие недостаточного числа таких шпал, которые скреплены с рельсом неподвижно; в) силы горизонтальные, направленные поперек пути, отжимающие костыли и уширяющие путь вследствие слабого скрепления между рельсом и шпалой.

Одной из существенных сил, расстраивающих путь, является угон рельсов. Выше, в описании взаимодействия пути и подвижного состава, мы кратко остановились и на явлениях угона. Здесь отметим лишь, что доля угона в общем расстройстве пути должна быть оценена в 30—40%. На основании своего многолетнего практического опыта К. Э. Кюнер свидетельствует, что «если бы не было угона, то рабочую силу по текущему ремонту пути можно было бы сократить по меньшей мере на 30%****».

Это говорит нам о том, что как только мы проведем успешную борьбу с явлениями угона и как только покончим с причинами, их вызывающими,— мы получим громадную экономию в расходах по содержанию пути и будем иметь устойчивый путь. Считается доказанным, что угон рельса по подкладке совершается при давлении между рельсом и подкладкой,

* См. нашу работу „Новый товарный паровоз“. Гострансиздат. М. 1931.

** Интенсивностью движения мы называем напряжение грузооборота на 1 км длины ж. д.

*** К. Э. Кюнер „Очередные задачи реконструкции рельсового пути“, „Железнодорожное Дело“, № 5 за 1928 г.

**** „Железнодорожное Дело“ № 5 за 1928 г.

равном давлению колес. Поэтому прижатие рельса к подкладке должно быть равно этому давлению. Достигнуть этого в частности можно раздельным скреплением рельса с подкладкой и подкладки со шпалой.

Раздельное скрепление рельса с подкладкой позволит избежать частую перешивку пути, так как этим в значительной степени будет ограничено действие третьей группы сил, именно сил горизонтальных, направленных поперек пути и отжимающих костыли и уширяющих путь. В свою очередь это уменьшит механический износ шпал, предохранит шпалу от быстрого загнивания и тем самым увеличит продолжительность срока службы шпал, что даст, как мы видели выше, миллионные суммы экономии.

Однако здесь же следует отметить, что применение раздельного скрепления рельса с подкладкой не снимает с порядка дня вопроса о применении специальных противоугонных приспособлений. В качестве основного типа принимаются противоугонные приспособления американского типа в виде пружинных скоб, надеваемых на подошву рельса (фиг. 207). Этот тип противоугонки будет испытан в наших условиях в текущем году, после чего будут внесены соответствующие необходимые изменения. Число таких противоугонных приспособлений принимается равным около 320 на 1 км.

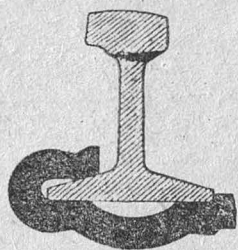
Заслуживает внимания противоугонное приспособление конструкции инж. Андреянова (фиг. 208); этим противоугонным приспособлением силы угона передаются баласту или земляному полотну, что имеет весьма существенное значение.

Этому приспособлению автор его дает следующее описание: «Железобетонная плита 7 зарыта в баласте под шпалами посредине рельсового звена и соединена шарнирно тягами 2 с путем рельсом 3. Сила тяжести подвижного состава и вес верхнего строения, передаваясь через шпалы и баласт на плиту 7, зажимает ее в баласте (или в земляном полотне), причем сопротивлению горизонтальным сдвигам анкерной плиты содействуют также наличие волнообразной нижней поверхности плиты, под которую укладывается тонким слоем щебень».

Как показал опыт, баласт между шпалами и плитой плотно заклинивается, и, следовательно, сопротивление горизонтальным сдвигам анкерной плиты оказывают силы трения по трем поверхностям: а) трение о баласт постелей шпал, находящихся под плитой, б) трение верхней поверхности плиты о баласт и в) трение нижней поверхности плиты о щебенку. При этом слой баласта, сопротивляющейся сдвигу плиты, оказывается высотой не в 13—15 см, как это имеет место в случаях применения противоугонных скоб, а высотой 60—70 см, т. е. сопротивление пути сдвигу значительно возрастает.

Этот тип противоугонного приспособления подвергся испытанию на участке пути Фили—Кунцево (М.-Б.-Б. ж. д.). Комиссия, наблюдавшая за их работой, положительно оценила ее.

Таким образом сейчас—повидимому, в реконструкции противоугонных приспособлений намечается два направления. При хорошем баласте (щебенке) мы сумеем ограничиться передачей угоняющих усилий на шпалы. В таком случае придется прибегнуть к первому типу приспособле-

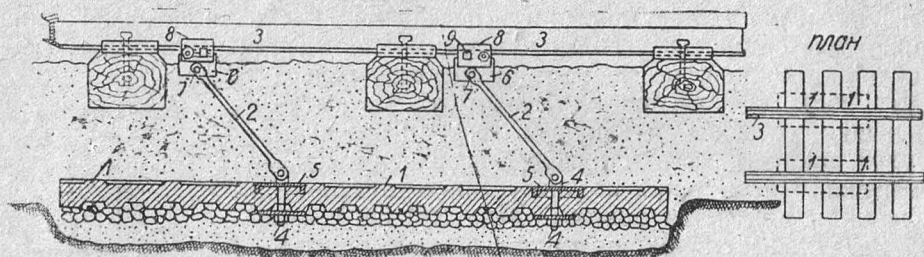


Фиг. 207. Противоугонное приспособление американского типа.

ний (скобы и пр.); при плохом же баласте преимущество окажется на стороне противоугонных приспособлений системы Андреянова.

По сути дела мы до сих пор не имели действительного противоугонного приспособления. Наша старая стандартная накладка фартового типа представляла собой и противоугонное приспособление. Этим еще в большей мере усложнялась работа стыка, в частности стыковых шпал, на который фартук накладки передавал угон рельсов. Поскольку стык, как нами было отмечено выше, является большим местом пути, реконструкцию рельсовых скреплений нужно начать именно с этого места.

Сейчас мы уже имеем готовый проект реконструкции стыка, утвержденный НКПС. Этот проект, автором которого является инж. Б. П. Андреянов, учитывает данные практики Германии и Америки и является большим шагом вперед по сравнению с существующим положением.



Фиг. 208. Противоугонное приспособление сист. Андреянова.

Таким образом этот стык со скреплениями является теперь стандартным типом для рельсов типа *IIa* (фиг. 209 и 209-а).

Накладка нового стандартного типа в корне отличается от старой фартовой. Основной недостаток фартовой накладки заключается в том, что вследствие наличия фартука рельс и накладка при проходе колес подвижного состава изгибались неодинаково, что вызывало скольжение и стирание соприкасающихся поверхностей. В результате мы имеем расстройство стыковых соединений.

Новая накладка—уголковая длиной 600 мм, на четырех болтах. Конструктору удалось здесь добиться большого успеха. С одной стороны, технические коэффициенты, характеризующие целесообразность выработанного профиля накладки, соответствуют лучшим образцам САСШ. С другой стороны, вес двух накладок составляет 23 кг, в то время как старые накладки весят 34 кг. Следовательно, при меньшем весе накладок, т. е. при экономии металла на 16%, достигнута лучшая форма накладки.

Этот стык является «стоцентным», как его называют в САСШ, так как площадь сечения двух накладок составляет 100%—от площади сечения рельса.

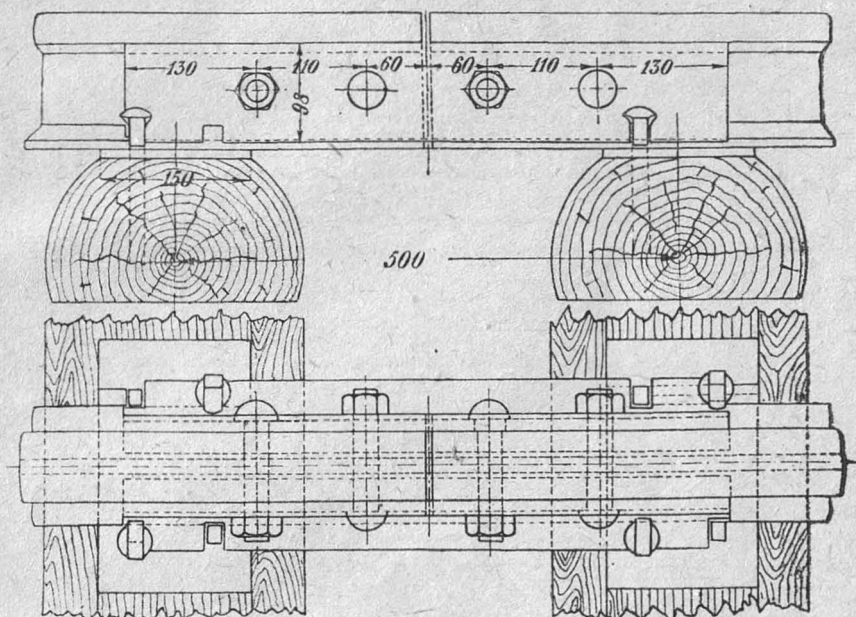
У запроектированной накладки значительная часть металла сосредоточена в головке, в то время как в старом типе эта часть сосредоточена в фартуке. Это влечет повышение новой накладки так называемой нейтральной оси. В связи с этим накладка и рельс будут изгибаться одинаково при прохождении поездов, благодаря чему сильно увеличится устойчивость стыка.

Подкладка также подверглась изменению. Основной недостаток нашей старой подкладки заключается в том, что она имела площадь

нижней постели всего в 297 см^2 , в то время как подкладки дорог Германии имеют площадь в $400\text{--}500 \text{ см}^2$, в Америке же эта площадь еще более.

Выше уже отмечалось, что вследствие недостаточной площади нижней постели подкладка шпал подвергалась механическому износу. В новой подкладке постель принята равной $15 \times 25 = 375 \text{ см}^2$, что позволит, при соответствующей пропитке, удлинить срок службы шпал до $10\text{--}12\text{--}15$ лет. Вес подкладки составляет $5,1 \text{ кг}$ против веса старой подкладки в $3,39 \text{ кг}$.

Новая подкладка имеет еще то преимущество, что она может быть применена и для рельсов более тяжелых, нежели тип *IIa*, посредством увели-



Фиг. 209. Новый тип стыка дорог СССР для рельсов типа *II-a*.

чения костыльных дыр, которых дано четыре, из них постоянно работающих две. Уклон верхней поверхности накладки принят в $\frac{1}{20}$, что позволит пока сохранить в пути старые промежуточные подкладки, имеющие тот же уклон в $\frac{1}{20}$.

Как видно из чертежа, новым в подкладке является рифление нижней плоскости. Смысл рифления заключается в увеличении трения между подкладкой и шпалой. Следовательно, при горизонтальных ударах гребня бандажа о рельс будет облегчена работа костыля на отжатие.

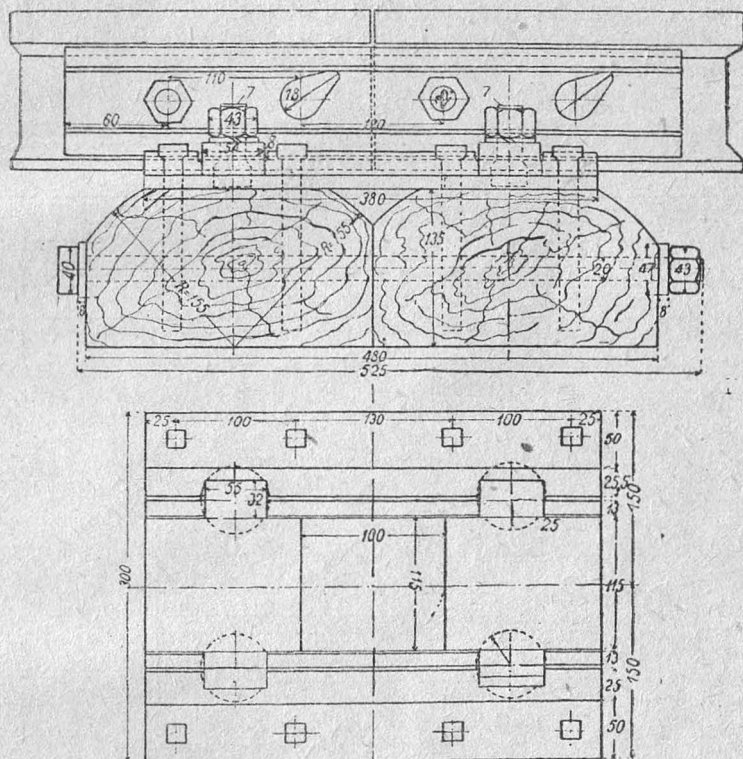
Новым в подкладке является еще то, что верхняя поверхность ее не плоская, а цилиндрическая. Толщина подкладки посередине сечения более на $1,5 \text{ мм}$, чем по краям.

Костылю придано утолщение стержня у головки, где костыль больше изнашивается. При укладке увеличенного количества шпал с целью экономии металла предусмотрен переход к укреплению рельса на каждой шпале лишь двумя костылями, а не тремя, как это делается сейчас. Это мероприятие также увеличит срок службы шпал.

Однако при всех положительных чертах, которыми обладают новые типы креплений, надо отметить и две отрицательных стороны.

Во-первых, рельсы пришиты к стыковым шпалам не непосредственно, а при помощи накладок, которые, по признанию и Б. П. Андреянова, в связи с этим получают дополнительные местные напряжения у шпунтов. Этим опять дается лишняя работа накладке.

Во-вторых, в креплениях Андреянова не достигнуто раздельное крепление рельса с подкладкой и подкладки со шпалой, что играет, как мы видели выше, важную роль в работе стыка.



Фиг. 210. Стык конструкции Андреянова (переконструировка германского типа К).

Тот же инж. Б. П. Андреянов дал проект переконструировки германского стыка типа К. Здесь полностью проведено раздельное крепление рельса с подкладкой и подкладки со шпалой (фиг. 210). Проект предусматривает раздельное крепление и для промежуточных подкладок.

Для устранения основных зол, вызываемых теперешней конструкцией стыка, необходимо иметь на стыке при прохождении колеса такое же оседание, какое обыкновенно имеет середина рельсового звена. Для удовлетворения этого условия необходимо:

а) чтобы оседание стыковых шпал было равно оседанию промежуточных и

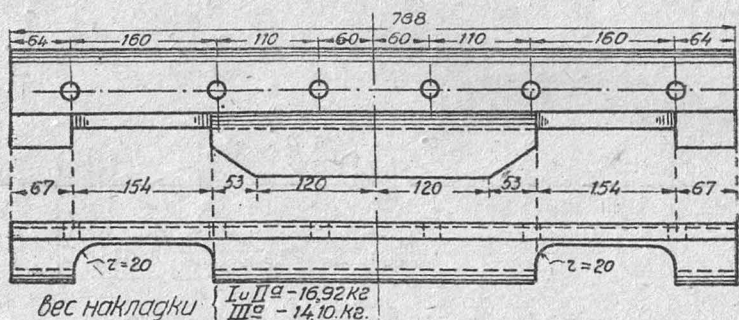
б) чтобы прогиб рельса в стыковом пролете равнялся прогибу его между промежуточными шпалами.

В данном стыке на сдвоенной шпале мы в сильной мере приближаемся к удовлетворению этих условий.

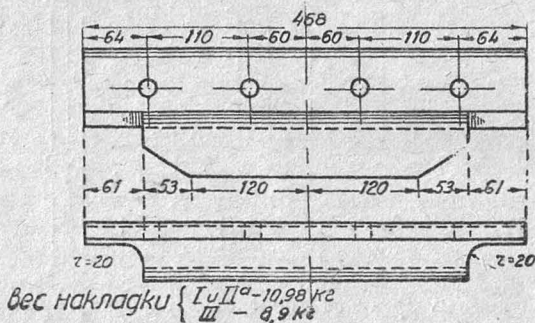
Этот стык решено применить и испытать еще в текущем году на участке протяжением 100 км.

4. Использование старых накладок

Описанные выше стыковые крепления будут применены на дорогах I категории, которая устанавливается в связи с общей реконструкцией пути. Одновременно необходимо провести реконструкцию стыка на линиях II категории.



Накладка после обрезки



Фиг. 211. Обрезка накладок по способу Андреева.

Сейчас на сети имеется около 11 млн. штук фартучных накладок, которые будут сконцентрированы на линиях II категории. Оставить в пути фартучную накладку в таком виде, который она имеет сейчас, совершенно невозможно, так как она дает постоянное лопание, что всегда является угрозой для безопасности движения, вызывает большие расходы на постоянному ремонту пути и понижает скорости движения поездов.

Инж Б. П. Андреевым предложено произвести обрезку фартучных накладок таким образом, что они укорачиваются с 788 мм до 468 мм, причем вместо 6 болтовых дыр сохраняются лишь 4 средних. При этом

условии длинные концы у накладок за болтовыми дырами упраздняются, и тем самым отпадает причина, вызывавшая усиленное лопанье накладок.

Одновременно с получением более целесообразной формы сечения обрезка накладок дает экономию металла в 30% на стыковых скреплениях.

НКПС признано, что «предложенное изменение фартучной накладки, несомненно, улучшит работу стыка и предотвратит массовое лопанье накладок по болтовым дырам, давая в то же время весьма значительную экономию металла на накладках и болтах». Поэтому признано необходимым немедленно провести в жизнь предложенный проект.

Кстати заметим, что обрезка фартучных накладок, лежащих в пути, дает около 800 тыс. *т* металла.

5. Установление типов пути

Совершенно очевидно, что к нашей сети, имеющей протяжение свыше ста тысяч километров, нельзя подходить с одним масштабом. Дело в том, что одни линии являются во всех отношениях первостепенными артериями страны, в то время, когда другим линиям лишь предстоит такая будущность. Было бы нецелесообразно проводить реконструкцию совершенно одинаковую на всех линиях, в то время как первостепенные магистрали вследствие своего большого грузооборота требуют к себе большего внимания. Тем более, что реконструкция тяги будет проводиться в порядке очередности, начиная с отдельных дорог с большим грузооборотом, где пропускную способность надо неотложно увеличить. Реконструкцию же пути надо проводить в полном соответствии с реконструкцией тяги, с той лишь разницей, что путь необходимо предварительно подготовить.

На этом основании вся существующая железнодорожная сеть разбивается на отдельные типы, к одному из которых также будут отнесены все вновь сооружаемые линии. Устанавливается три различных категории пути, причем внутри первой категории кроме того выделяется тип первый тяжелый *IT*. Каждый из этих типов характеризуется соответствующими условиями работы и проводимыми мероприятиями по реконструкции пути.

Разбивка путей на три типа позволит таким образом провести реконструкцию в порядке очередности и методом сконцентрированным. Это следует так понимать, что, к примеру, на путях типа *I* будет одновременно проведена реконструкция всех его частей—земляного полотна и верхнего строения. На путях типа *II* также будет проведен реконструктивные мероприятия одновременно по основным частям пути лишь только в меньшем масштабе. На путях типа *III* будет проводиться рационализация. В целом такой подход дает положительные результаты как в техническом, так и экономическом отношениях.

6. Первый тип пути

На путях первой категории применяются рельсы типа *IIa* (весом 38,4 кг/м) и тяжелее. Намечаются следующие условия работы при соответствующей реконструкции отдельных элементов пути:

1) пропуск без ограничения скорости паровозов с давлением 20 *т* на ось, рассчитанных на ведение тяжелых составов при использовании существующей стяжки;

2) пропуск с ограниченными скоростями паровозов с давлением в 23 *т* на ось;

3) возможный пропуск паровозов с давлением в 23 т на ось без ограничения скоростей.

Для возможности проведения в жизнь этих условий необходимо соответственно этим условиям провести ряд реконструктивных мер.

Первые два условия требуют изменения стыка и увеличения числа шпал. Техническими соображениями не вызывается надобность в усилении других элементов верхнего строения. Однако такое усиление желательно по экономическим соображениям, именно в целях устранения быстрого износа рельсов.

Вышеописанное изменение стыка как раз относится к пути первой категории, причем оно будет производиться как предпосылка возможности проведения в жизнь проведенных первых двух условий работы.

Проведение в жизнь третьего условия потребует усиления других элементов верхнего строения. Это потребует также усиления мостов. Зато это условие работы дает максимальную пропускную способность с использованием мощного паровоза.

Здесь предусмотрен переход на 1 700 шпал на 1 км при гравийном балласте. Скорость движения пассажирских поездов 80 км/час.

При значительном грузообороте на отдельных ограниченных линиях может оказаться выгодным применение более тяжелого (нежели тип *IIa*) рельса весом около 45 кг/м. Условия профиля и плана линии, т. е. крутые уклоны и кривые, ускорят в отдельных случаях переход на тяжелые рельсы.

Совершенно очевидно, что при таких условиях работы потребуется целая система мероприятий по более капитальной реконструкции пути, мостов и пр. В таком случае в самой *I* категории выделится тип более тяжелый—*IT*.

Для последнего предусмотрена укладка 1 800 штук шпал на 1 км; балласт—щебень, скорость движения пассажирских поездов—100 км/час.

7. Второй тип пути

Здесь относятся по сути дела пути с той технической вооруженностью, которая характерна для теперешнего состояния нашей железнодорожной сети. Здесь потребуется проведение в первую очередь целой системы рационализаторских мероприятий. В дальнейшем, по мере совершенствования путей типа *I*, техническая вооруженность путей данного типа также будет повышаться.

На путях типа *II* предстоит оборот следующих паровозов:

- 1) паровоз серии Э с нагрузкой до 18 т на ось;
- 2) паровоз с нагрузкой до 20 т на ось без ограничения скорости;
- 3) паровоз с нагрузкой в 23 т на ось с ограничением скорости.

Выполнения первого условия обращения паровоза Э^У потребует применение рельса типа *IIIa* без усиления остальных элементов пути. Второе же условие,—паровоз с 20-тонной нагрузкой на ось потребует добавочного усиления работы путей типа *II* (паровоз с 23-тонной нагрузкой на ось), и здесь потребуются усиление всех элементов пути. Ограничение скорости вводится на тот случай, если не представится возможным укладка рельсов типа *IIa*. Если же эта возможность представится, то при выполнении третьего условия пути этого типа могут быть отнесены к путям типа *I*.

Таким образом на путях типа *II* основные реконструктивные мероприятия охватят: замену рельсов на тип *IIIa* (33,5 кг/пог/м), увеличение числа шпал до 1 600 штук на километр и применение в балласт немытого и недробленого гравия.

8. Третий тип пути

Если с народнохозяйственной точки зрения в целом имеет большое значение разбивка путей на определенные типы, то третий тип играет в этом отношении очень важную роль. Дело в том, что мы зачастую строим и содержим сооружение весьма неэкономное не только потому, что мы еще не научились проводить в этом деле рационализацию, но еще и потому, что мы до сих пор по сути дела не условились насчет того—какое сооружение строить «роскошно» и какое более экономно.

Совершенно очевидно, что если дорога строится с целью, к примеру сказать, заселения края или для обслуживания местных нужд, то она может и должна строиться по нормам более экономным, нежели это требуется в отношении магистралей первостепенного значения. Иначе говоря—дороги пионерского характера должны строиться по облегченным техническим условиям.

Соответственно этому они и должны содержаться при эксплуатации. Следовательно, установление такого подхода к путям третьего типа даст большую экономию и внесет большую планомерность во все наше железнодорожное хозяйство.

К третьему типу относятся, таким образом, все линии, построенные по облегченным техническим условиям: дорога пионерского характера и заводские ветви. Здесь будут уложены рельсы типа *IVa* весом 30, 8 кг/м; число шпал сохраняется существующее, балласт—песок.

Что касается давления на ось паровоза и допускаемой скорости, то они устанавливаются в отдельности для каждой линии в зависимости от их технического состояния.

9. Пассажирское движение

Скорости движения пассажирских поездов находятся в полной зависимости от состояния пути и паровозного парка, следовательно, от капиталовложения по реконструкции транспорта. Но эти капиталовложения должны у нас определяться (за некоторым исключением) по соображениям товарного движения.

Следовательно, при установлении скоростей движения пассажирских поездов на наших железных дорогах придется исходить из технических показателей, свойственных каждому типу пути.

Народным комиссариатом путей сообщения намечаются следующие данные:

Тип *I* при рельсе *IIa* без усиления прочих элементов должен пропускать пассажирские поезда со скоростью 80 км/час;

Тип *IT* (первый тяжелый) обеспечит пропуск паровоза с давлением до 25 т на ось при наибольшей скорости 100 км/час;

Тип *II* допустит обращение пассажирских поездов со скоростью 70 км/час;

Тип *III* допускает определенные сниженные скорости пассажирских поездов для каждой линии в отдельности в зависимости от ее состояния.

Приведенные скорости движения пассажирских поездов, правда, еще отстают от наибольших скоростей движения на некоторых участках дорог САСШ. Участки, доведившие там скорости до 150 км/час, потребовали добавочных вложений величиной до 50% основного капитала. Однако это несколько не вызывается народнохозяйственными интересами, а делается исключительно с целью конкуренции. Отсюда вытекает вывод, что далеко не всем американским «образцам» мы должны следовать.

10. Рельсы

Из существовавших у нас до сих пор типов рельсов самым тяжелым и, следовательно, самым мощным является тип *Ia* весом 43,57 кг/м. Такие рельсы уложены у нас лишь на Октябрьской железной дороге. На прочих главнейших магистралях уложены рельсы типа *IIa*, за ними следуют *IIIa* и *IVa*.

В связи с тем, что на путях первого тяжелого типа *IT* предстоит обращение тяжелых паровозов, рельс типа *Ia* уже не отвечает тем требованиям, которые предъявляются мощному рельсу. Поэтому рельс типа *Ia* уступает свое место рельсу весом около 45 кг/м. Рельс же типа *IIa* перепроектировывается на лучшую конструкцию. Таким образом намечены следующие типы рельс:

<i>I</i>	весом	45	кг в пог. метре,
<i>IIa</i>	„	38	„ „ „ „
<i>IIIa</i>	„	33,5	„ „ „ „
<i>IVa</i>	„	20,8	„ „ „ „

Однако здесь же следует подчеркнуть, что по мере дальнейшего роста грузооборота потребуются увеличение мощности паровоза, что в свою очередь вызовет увеличение давления на ось паровоза. Такая перспектива совсем не за горами. Уже к концу текущей пятилетки грузооборот транспорта составит 650 млн. *t*, а к концу второй пятилетки—1 500 млн. *t*.

Мощный рельс даст нам: а) удешевление ремонта пути; б) удлинение срока службы рельса; в) сокращение числа случаев поломки рельсов и г) более устойчивый путь.

Данные американской практики это подтверждают. Так, например, «Начальник отдела пути железнодорожной линии Чизепик—Огайо утверждает, что 59-килограммовый рельс служит при равной интенсивности движения, вдвое дольше, чем 45,4-килограммовый, что случаев порчи тяжелых рельсов на 22,4% меньше, чем при легких рельсах, и что путь держится лучше при одинаковых затратах на рабочую силу для ремонта*.

Здесь же следует отметить, что последние годы наблюдается оживленная работа мысли наших некоторых специалистов в области рельсового дела. Так, проф. Оппенгеймом предложено четыре новых стандарта рельсов, из которых два тяжелых, весом 51,15 и 60 кг/м. Также предложены новые типы рельсов Научно-исследовательским институтом пути НКПС. Длина рельсов новой прокатки намечается в 30 м, т. е. в 2,4 раза длиннее существующего. Это даст большое сбережение металла вследствие уменьшения числа накладок и болтов и поведет к сокращению ремонтных работ.

Рельсы, сейчас уложенные в путь, также предусмотрено сварить плетью длиной около 25 м.

* Ральф Хон „Железные дороги Америки“, стр. 101, М., Гострансиздат. 1931.

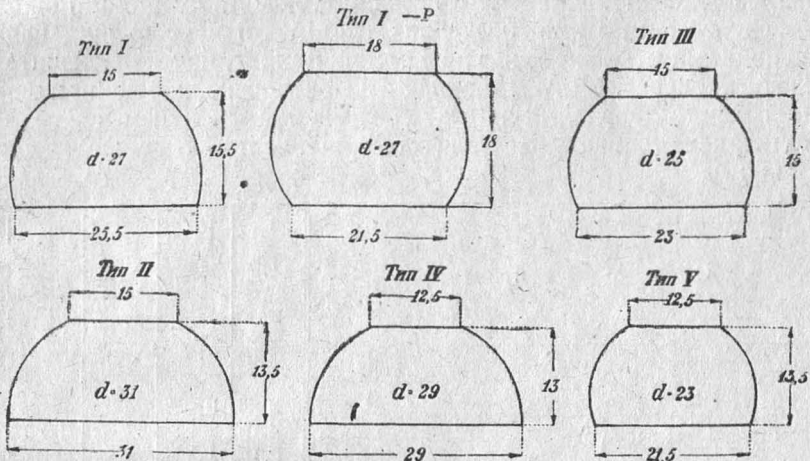
11. Шпалы

Подсчеты показывают, что рельсы сами по себе не являются большим местом нашего верхнего строения. В Канаде по рельсам, которые отвечают нашему типу *IIa*, пропускаются паровозы с давлением около 27 т на ось. Это оказалось возможным благодаря применению большого количества шпал на километр и хорошему баласту. Об этом же говорит опыт Германии и САСШ.

В настоящее время имеется среднее число шпал на 1 км:

в САСШ	1 800—2 100 штук
„ Германии	1 600 „
„ СССР	1 440 „

При увеличении числа шпал на километр (до определенного предела) давление от экипажа передается на большую площадь и, следовательно, облегчается работа отдельных элементов верхнего строения. В этом случае даже при прочих равных условиях можно пропустить по пути паровоз с большим давлением на ось. Так, например, для рельсов типа *IV a* увеличение числа шпал дает даже возможность пропуска паровоза серии Э.



Фиг. 212. Новые шпалы.

Таким образом увеличение числа шпал на километр является необходимым условием реконструкции пути. Это будет проводиться, как отмечено выше, планомерно для каждого типа пути.

Помимо увеличения числа шпал до 1 800 на километр, на путях первого типа намечается применение более сильных шпал. С этой целью предложено принять тип шпал толщиной 19 см, шириною поверху 15 см и шириной нижней постели 23 см. Для таких шпал нужен лес диаметром в 27 см.

Для линий второго типа могут быть применены шпалы саксонского образца из леса диаметром до 23 см с постелями поверху и понизу до 15 см при толщине 17,5 см.

На линиях третьего типа возможно применение шпал из леса диаметром 20 см с постелями поверху и понизу по 12 см. Здесь также возможно применение шпал пластинных из леса диаметром 28 см. В целом благодаря такому подходу мы сумеем лучше использовать нашу древесину.

Что касается пород леса, то необходимо применять все породы, исходя из экономической выгоды применения той или иной породы для того или иного района.

Намечено также улучшить пропитку шпал с применением следующих антисептиков: креозот с нефтью, хлористый цинк и хлористый натрий. Всей совокупностью мероприятий по реконструкции верхнего строения предположено увеличить срок службы шпал до 18—25 лет. К мероприятиям, способствующим удлинению срока службы шпал, относятся: улучшение пропитки, применение щебня и гравия, защита шпал от вредных механических воздействий, как-то: увеличение площади подкладок, предварительное сверление дыр, применение приспособления против растрескивания шпал, применение деревянных подкладок и прокладных карточек, в будущем—раздельное скрепление и ремонт шпал.

12. Балласт

Применявшийся на наших железных дорогах песчаный балласт мало пригоден как с технической, так и экономической точки зрения. Это полностью доказано. При замене песчаного балласта лучшими приходится считаться с стоимостями последних. Стоимости же хороших балластов довольно велики. Тем не менее в Германии принят, почти исключительно, щебеночный балласт. В САСШ наряду с щебнем очень широко применяется также гравий—дробленный и недробленный, мытый и невымытый.

Примерная стоимость 1 м³ балластов в рублях представляется в следующем виде:

Страны	Щебень	Мытый гравий	Дробленный гравий	Немытый и недробленный галька	Песок
САСШ	3	0,45	1,0	—	—
Германия	2,5	—	—	1,25	—
СССР	5,6	1,7	—	—	0,7

Переход на щебеночный балласт является далеко не такой простой вещью, как это кажется на первый взгляд. Дело в том, что щебеночные карьеры, подлежащие разработке, расположены далеко от места применения щебня. По предварительным подсчетам перевозка на расстоянии большем 300 км экономически невыгодна. Самая разработка карьеров—вещь дорогая.

В связи с этим предстоит организация щебеночных заводов, которые удешевят стоимость щебня. Тем не менее переход на щебень в ближайшее время возможен лишь для путей типа I. Для линий же типа II предстоит применение на ближайшее время невымытого и недробленного гравия. По мере же организации моек и дробилок будет применяться мытый и дробленный гравий.

Нижний слой балласта на путях типов I и II может состоять из песка, а на третьем типе, где укладывается щебень, и на линиях, где раньше был гравий, нижний слой должен быть из гравия. Толщина балластного слоя

на линиях типа *I*, т. е. слой баласта под подошвою шпалы, должна составлять 30 см.

13. Земляное полотно

Здесь предстоит проведение ряда мероприятий по борьбе с пучинами, которые, как отмечалось выше, являются большим злом для пути. Но этого недостаточно. На путях первого типа предстоит смягчение уклонов и спрямление линий.

Теоретические расчеты показывают, что уклоны (подъемы и скаты) не круче 5 тысячных по расходуемой на них силе тяги близки к площадке. Следовательно, на таких уклонах могут иметь обращение большегрузные составы. Польза от таких уклонов выражается еще в том, что при движении по скату не требуется торможения, т. е. не требуется применения силы, разрушающей путь и подвижной состав. Поэтому, кстати заметим, что такие уклоны называются «безвредными». Средний же уклон на нашей железнодорожной сети составляет 8,2 тысячных, что много выше безвредных уклонов.

Таким образом смягчение уклонов дает возможность увеличить пропускную способность и вместе с тем уменьшить эксплуатационные издержки.

На некоторых участках железнодорожных линий имеется непроизводительная работа в виде лишнего пробега грузов, выражающегося в миллионах тонно-километров. Если это было естественно для капиталистического транспорта, то транспорт социалистический покончит и с этой непроизводительной тратой средств. Спрявление линий некоторых участков с большим грузооборотом даст такой большой экономический эффект.

14. Объем работ

Насколько велик настоящий объем работ—видно хотя бы из приводимых ниже кратких данных (по материалам НКПС).

На 1937 г. надо подготовить такую сетку путей (в масштабе однолинейных):

Всего отдельно по каждому виду пути	В том числе по эксплуатир. сети	На новых линиях
<i>IT</i> —20 000 км	19 500 км	500 км
<i>I</i> —40 000 „	35 000 „	5 000 „
<i>II</i> —50 000 „	30 000 „	20 000 „
<i>III</i> —50 000 „	8 000 „	42 000 „

Объем капиталовложений складывается из следующих основных элементов.

Для 10 000 км двухпутных линий типа *IT* необходимо: добавление веса рельс:

металла—461,0 тыс. тонн, стоимостью—60,0 млн. руб.

Добавление скреплений для этих же путей:

металла—32,2 тыс. тонн, стоимостью—6,1 млн. руб.

Добавление скреплений для 40 000 км путей типа 1 (в масштабе однопутных):

металла—48,0 тыс. тонн,
стоимостью—9,1 млн. руб.

Добавление шпал для всех 60 000 км—стоимостью 75,6 млн. руб.

Сварка 1 600 000 стыков стоимостью 16,0 млн. руб.

Укладка щебнем 25% из 60 000 км путей, стоимостью 68,0 млн. руб.

Укладка гравием 75% из 60 000 км путей, стоимостью 80,6 млн. руб.

Уничтожение пучин и оздоровление полотна—50,3 млн. руб.

Перечисленные работы, требуют добавочных 540 000 т металла в периоде второй пятилетки и добавочных 21 500 000 шт. шпал в периоде ближайших лет.

Всего реконструкция 10 000 км двухпутных линий типа 1Т и 40 000 км двухпутных линий типа 1 потребует до 1938 г. около 550 000 000 руб.

ГЛАВА XVIII

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАРОВОЗНОГО ПАРКА

15. Товарные паровозы

Существующий в настоящее время на сети паровоз серии Э становится слабым. На смену серии Э должен придти более мощный паровоз и другие виды локомотива (электровозы, тепловозы и др.). В настоящее время в САСШ построены 10 опытных паровозов типа 1—5—1 серии Т^Б (5 шт.) и типа 1—5—2 серии Т^А (5 шт.) с нагрузкой на сцепные оси в 23 т. Эти паровозы испытываются на дорогах Союза. На Луганском заводе построен паровоз типа 1—5—1 серии Ф Д с нагрузкой на ось 20 т. Благодаря наличию задних поддерживающих осей эти паровозы имеют топку увеличенных размеров, приспособленные для сжигания низкосортных углей. Котел паровоза серии Т^Б имеет достаточно большие размеры, позволяющие вести на девяти тысячный подъем поезд весом 2 000 т со скоростью 20 км/час.

Для лучшего использования топлива топка устроена с камерой сгорания, благодаря чему, как мы уже видели, уменьшаются потери от недогорания топлива и уноса его в дымовую коробку и в трубу.

С той же целью—повышения экономичности паровоза, в котле поставлен перегреватель таких размеров, чтобы без затруднений можно было получить перегрев пара в коллекторе до 400°. Машина паровоза—простая двухцилиндровая, что обеспечивает надежность, простоту конструкции, упрощает уход во время работы и удешевляет ремонт.

Размеры машины дают возможность развивать на подъеме при скорости 20 км/час и ведении состава весом 2 000 т, силу тяги в 25 000 кг на ободе движущих колес. Нагрузка на спаренную ось паровоза 23 т позволяет ему проходить по рельсам типа 11А без значительных затрат на усиление пути (добавление числа шпал до 1 800—2 000 штук на 1 км вместо 1 400 штук, уложенных сейчас).

Паровоз 1—5—2 серии Т^А заменит собой полтора паровоза серии Э. Что же касается эксплуатационных свойств этого паровоза, то увеличение силы тяги до 25 000 кг и скорости на подъеме до 20 км/час позволяет заменить 100 паровозов серии Э 61 паровозом серии Т^А.

Ввиду отсутствия до сих пор чертежей этого паровоза дать более подробное описание его не представляется возможным. Фотография паровоза типа 1—5—2, с нагрузкой на ось 23 т, дана на переплете.

Паровозы серии Т^А будут работать на линиях первой категории.

Постройка этих паровозов будет производиться по американским чертежам на наших заводах с исправлениями дефектов конструкции посредством перепроектировки отдельных деталей, которые выявятся во время опытной эксплуатации первых десяти паровозов.

16. Пассажирские паровозы

На текущее пятилетие основным типом пассажирского паровоза признан паровоз с тремя спаренными осями 1—3—1 серии С^У. Для тяжелого пассажирского движения с весом поездов до 1 000 т предполагено построить паровоз типа 2—4—1 или 1—4—2 с силой тяги на 20% больше, чем С^У, и скоростью на площадке до 85 км/час.

17. Модернизация паровозов

Кроме реконструктивных мероприятий паровозного парка намечается ряд мероприятий по модернизации существующих паровозов.

Модернизация паровозов дает возможность без значительных затрат экономично использовать паровозы старых серий посредством незначительной переделки их конструкций.

К числу мероприятий по модернизации старых паровозов на текущее пятилетие относятся:

а) Постановка пароперегревателей на паровозы серий О^В, Щ, Н^В и У, что даст возможность по окончании переделки 4 560 паровозов этих серий получить 20 520 000 руб. экономии в год. Стоимость переделки на пароперегрев всех 4 560 паровозов составит 30 600 000 руб. Следовательно, этот расход должен окупиться в полтора года.

б) Повышение рабочего давления пара на паровозах серии Э с 12 до 14 атм, что увеличит силу тяги паровоза с 15 600 (у серии Э) до 18 200 кг, т. е. на 16,7% (у паровоза серии Э^М с повышенным давлением).

Повышение давления пара дает некоторое увеличение экономичности паровоза, а также увеличение силы тяги.

в) Постановка инжекторов мягкого пара на 14 000 паровозах даст годовую экономию в 16 800 000 руб. при одновременных затратах на оборудование в 21 000 000 руб.

г) Оборудование 6 080 паровозов золотниками Трофимова. Это уменьшит внутреннее сопротивление машины (устраняется сжатие при движении паровоза без пара) и даст экономию в расходе топлива на 4 564 000 руб. ежегодно при одновременных затратах на оборудование около 4 млн. руб.

Кроме этих основных мероприятий предполагается постановка на паровозах: 1) байпасов Бондарева, 2) бустеров и стокеров, 3) термосифонов, 4) коллоидального графита для уменьшения накипи, 5) качающихся колосников на паровозах серии Э, б) электрического освещения.

Все эти мероприятия дадут значительное усиление старых серий с одновременным повышением экономичности их работы.

18. Эффективность реконструктивных мер

Как видно из изложенного, реконструкция пути и паровозного парка требует больших расходов.

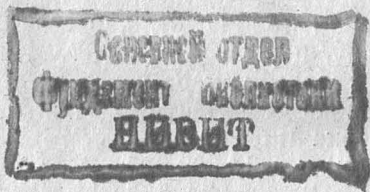
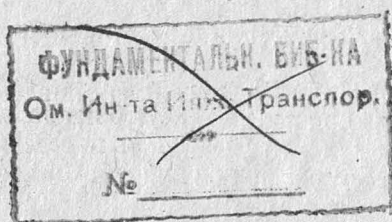
Вместе с тем, если отсрочить реконструкцию даже на год, это обойдется народному хозяйству в 390 тыс. т металла на постройку параллельных путей. Проведение же только основных элементов реконструкции к 1937/1938 гг. сэкономит около 16 млн. т металла.

Таким образом видим, что разрешение проблемы реконструкции транспорта является важнейшим условием ускорения социалистического строительства. Реконструкция при этом—самый экономичный метод разрешения стоящих перед транспортом задач.

Тем экономнее, тем успешнее и тем быстрее будет проведена техническая революция на транспорте, чем более сознательно и более активно армия железнодорожников будет изо дня в день работать над осуществлением лозунга ВКП (б)—*догнать и перегнать в техническом отношении передовые капиталистические страны.*



6511



~~Цена 2 р. 40 к.
переплет 35 к.~~



Издания Гострансиздата
продаются в магазинах
Книгообъединение
ОГИЗа

Единичные экземпляры
высылают наложенным
платежом

„Книга - почтой“

Москва, 64.

Сканировал Тищенко В. А.