

669
P56

Ричардс В.; Кошкин С.И.

Расчеты по металлургии

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

669

P-56

1971 г.
ПРОВЕРЕНО

РАСЧЕТЫ ПО МЕТАЛЛУРГИИ

I. В. Ричардса.

Профессора металлургии въ «Lehigh University».

Перевелъ съ согласія автора и редактировалъ сочиненіе
„Metallurgical calculations by Prof. **Joseph W. Richards**“.

Инженеръ-Металлургъ

С. И. Кошкинъ.

.....

Часть — общая.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Изданіе К. Л. РИККЕРА.

Невскій просп., 14.

1909.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

840501

БІБЛІОТЕКА
Національної металургійної академії України
Інв. № 104048

„Новая Типо-Лит. Бузе и Лассманъ, СПБ, Больш. Конюшенная 17.

НБ
УДУНТ
(ІПБТ)

Предисловіе

къ русскому изданію сочиненія Professor Joseph W. Richards:
„Metallurgical Calculations“.

Русское изданіе является не просто переводомъ съ извѣстнаго труда профессора I. В. Ричардса, а основательной его переработкой.

Всѣ расчеты приведены въ метрическихъ мѣрахъ для чего пришлось, изъ общаго числа 44 задачъ, совершенно передѣлать 18, а остальные 26 задачъ и довольно многочисленныя примѣры были тщательно провѣрены и, гдѣ нужно, исправлены.

Кромѣ того введены нѣкоторыя измѣненія въ текстѣ: —тамъ, гдѣ, безъ ущерба для ясности и полноты, можно было сократить изложеніе или опустить примѣръ— это сдѣлано, зато въ другихъ мѣстахъ, гдѣ объясненіе казалось недостаточнымъ — оно пополнено.

Глава IV, части общей: «Термохимія высокихъ температуръ», въ изложеніи (но не въ сути) довольно сильно разнится отъ оригинала, такъ какъ введенъ рядъ обозначеній и формулъ, тамъ отсутствующихъ, этимъ, однако, по мнѣнію переводчика, достигается большая простота изложенія и наглядность. — Въ главѣ VII (части общей): «Естественная тяга и форсированное дутье»: — выводъ и преобразование формулъ также отсутствуютъ въ оригиналѣ. Аналогичныя измѣненія допущены также въ главѣ VIII («Теплопроводность и излученіе»).

Изъ части общей опущено 10 коротенькихъ задачъ, служащихъ скорѣе примѣрами, такъ какъ вопросъ о тепловомъ коэффициентѣ полезнаго дѣйствія печей, котораго онѣ касаются, неоднократно разбирается въ задачахъ по доменному, бессемеровскому и мартеновскому дѣлу и другихъ задачахъ, приведенныхъ во всей полнотѣ.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Не надо также забывать, что американское издание представляет изъ себя, почти безъ измѣненія, собраніе статей, печатавшихся въ журналѣ: «Electrochemical and Metallurgical Industry» за 1905, 1906 и 1907 годъ, а потому, весьма понятно, что въ оригиналѣ встрѣчаются нѣкоторыя повторенія и долготы, которыхъ удалось избѣжать въ русскомъ изданіи.

Рядъ задачъ (безъ рѣшенія), приведенныхъ въ оригиналѣ для упражненія, въ видѣ приложенія къ I и II части, также отсутствуетъ въ переводѣ.

Считаю нужнымъ еще добавить, что переводъ сдѣланъ съ согласія автора и изложенная ему программа редакціонныхъ измѣненій имъ одобрена.

Ростовъ н/Д.
Сентябрь 1908 г.

С. Кошкинъ.
Инженеръ-металлургъ.

Оглавление.

	Стр.
Глава I. Химическое уравненіе . . .	1
Атомные вѣса	1
Относительные вѣса	2
Дѣйствительные вѣса и объемы	3
Вѣсъ и объемъ газовъ	3
Поправка для температуры	5
» » давленія	6
Одновременная поправка для температуръ и давленій	6
Задачи иллюстрирующія предыдущіе принципы	7
Глава II. Приложенія термохиміи	11
Термохимическая номенклатура	11
Термохимическія данныя	12
Теплоты образованія	24
Глава III. Пользованіе термохимическими данными	32
Простыя соединенія	32
Сложныя соединенія	32
Двойное разложеніе	34
Теплопроизводительная способность горючихъ матеріаловъ	36
Теплопроизводительная способность углей	36
Теоретическая температура горѣнія	37
Горѣніе, предварительно нагрѣтаго горючаго съ нагрѣтымъ воздухомъ	40
Способъ Эльдрета для урегулированія температуры пламени	43
Температура въ термическихъ процессахъ	44
Глава IV. Термохимія высокихъ температуръ	47
Общія замѣчанія по поводу термофизическ. данныхъ	53
Удѣльная теплота элементовъ	53
Скрытая теплота плавленія элементовъ	53
Скрытая теплота испаренія элементовъ	53
Примѣчанія къ таблицѣ термофизическихъ данныхъ элементовъ	54
Глава V. Термофизика сплавовъ	65
Термофизика химическихъ соединеній	69

VI

Глава VI. Генераторный газъ	85
Простые газогенераторы	85
Смѣшанные газогенераторы	93
Газогенераторъ системы Монда	100
Измѣненіе въ составъ генераторнаго газа Монда отъ нагрѣванія въ регенераторѣ	105
Водяной газъ	107
Глава VII. Естественная тяга и форсированное дутье	113
Тяга черезъ трубу	113
Потеря тяги отъ скорости выходящихъ газовъ	116
Потеря тяги отъ тренія о стѣнки трубы	117
Свободная тяга трубы	117
Глава VIII. Теплопроводность и излученіе	125
Принципы теплопроводности	125
Таблица удѣльной теплопроводности и удѣльнаго сопротивленія	126
Поверхностная передача тепла—конвенція	128
Излученіе или радіація	132

ГЛАВА I.

Химическое уравнение.

Расчеты, связанные съ металлургическими процессами, первымъ дѣломъ, требуютъ яснаго пониманія химическихъ уравненій. Каждое химическое уравненіе даетъ указанія троякаго рода относительно изображаемаго имъ процесса: Во первыхъ — относительные вѣса реагирующихъ тѣлъ; во вторыхъ ихъ относительные объемы въ газообразномъ состояніи и, наконецъ, въ третьихъ — выдѣленіе или поглощеніе энергіи, связанное съ реакціей, если извѣстны теплоты образованія соотвѣтствующихъ тѣлъ:

Атомные вѣса.

Они служатъ основаніемъ всякаго химическаго расчета; для металлургическихъ цѣлей достаточно брать ихъ въ округленномъ видѣ.

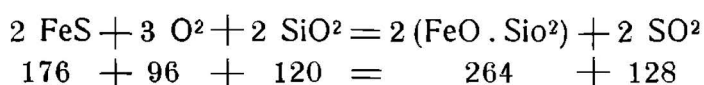
Водородъ	H	1	Марганецъ	Mn	55
Литій	Li	7	Желѣзо	Fe	56
Бериллій	Be	9	Никкель	Ni	58,5
Боръ	B	11	Кобальтъ	Co	59
Углеродъ	C	12	Мѣдь	Cu	63,6
Азотъ	N	14	Цинкъ	Zn	65
Кислородъ	O	16	Мышьякъ	As	75
Фторъ	F	19	Селенъ	Se	79
Натрій	Na	23	Бромъ	Br	80
Магній	Mg	24	Стронцій	Sr	87
Алюминій	Al	27	Цирконъ	Zr	90
Кремній	Si	28	Колумбій	Cb	94
Фосфоръ	P	31	Молибденъ	Mo	96
Сѣра	S	32	Палладій	Pd	106
Хлоръ	Cl	35,5	Серебро	Ag	108
Калій	K	39	Кадмій	Cd	112
Кальцій	Ca	40	Олово	Sn	118
Титанъ	Ti	48	Сурьма	Sb	120
Ванадій	V	51	Теллуръ	Te	126
Хромъ	Cr	52	Іодъ	I	127

Барій	Ba 137	Ртуть	Hg 200
Танталъ	Ta 183	Таллій	Tl 204
Вольфрамъ	W 184	Свинецъ	Pb 207
Иридій	Ir 193	Висмутъ	Bi 208
Платина	Pt 195	Торій	Th 232
Золото	Au 197	Уранъ	U 238

Относительные вѣса.

Написавъ любую химическую реакцію въ видѣ уравненія мы тѣмъ самымъ сразу узнаемъ, подставивъ атомные вѣса, объ относительномъ вѣсѣ реагирующихъ тѣлъ и продуктовъ.

Такъ наримѣръ:

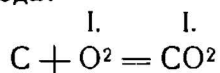


Само собою разумѣется, что вполне безразлично будемъ ли мы подразумѣвать подъ этими цифрами килограммы, фунты или другіе мѣры вѣса — отношеніе вѣсовъ не измѣнится.

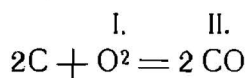
Относительные объемы.

Когда въ химическія уравненія входятъ газы то относительное количество ихъ молекулъ соотвѣтствуетъ ихъ относительнымъ объемамъ. Можно, для удобства, обозначить эти относительные объемы римскими цифрами, проставленными надъ формулами. Напримѣръ:

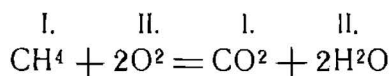
Полное сгораніе углерода:



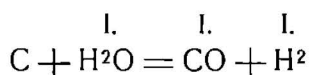
Не полное сгораніе углерода:



Сгораніе болотнаго газа:



Образованіе водяного газа:

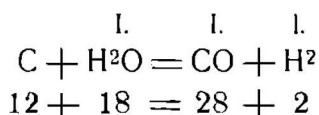


Во всѣхъ вышеприведенныхъ примѣрахъ относительные объемы газовъ соотвѣтствуютъ количеству ихъ молекулъ, этого нельзя сказать объ твердыхъ или жидкихъ тѣлахъ. Само собою разумѣется что вполне безразлично назовемъ-ли мы относительные объемы кубиче-

скими метрами, литрами или футами, такъ какъ отношеніе независимо отъ выбранной единицы мѣры.

Дѣйствительные вѣса и объемы.

Если мы условимся подразумѣвать подѣ цифрами изображающими относительные вѣса какія нибудь опредѣленныя единицы вѣса, напримеръ килограммы, то, пользуясь извѣстнымъ постояннымъ факторомъ, легко перейти отъ относительныхъ объемовъ къ дѣйствительнымъ соотвѣтствующимъ этимъ вѣсамъ. Возьмемъ, для примѣра, уравненіе реакціи образованія водяного газа:



Назвавъ относительные вѣса килограммами, мы перейдемъ отъ относительныхъ объемовъ, изображенныхъ римскими цифрами, къ дѣйствительнымъ, выраженнымъ въ кубическихъ метрахъ, посредствомъ постояннаго фактора 22,22. Если же вѣса будутъ граммы, то объемы выразятся въ литрахъ, пользуясь все тѣмъ же факторомъ 22,22.

Происходитъ это отъ того, что объемы газообразныхъ тѣлъ, вѣса коихъ пропорціональны ихъ молекулярнымъ вѣсамъ, всѣ равны между собою. Основаніемъ расчета служитъ «молекулярный объемъ» водорода, т. е. въ метрической системѣ, объемъ въ кубическихъ метрахъ, при нормальныхъ условіяхъ (0° С и 760 мм.) — 2 килограммъ этого газа, что и составляютъ 22,22 кубическихъ метра. Цифра 22,22 соотвѣтствуетъ удѣльному вѣсу водорода = 0,00009. Дѣйствительно, — такъ какъ кубическій дециметръ (литръ) водорода вѣситъ 0,00009 кгр., то 1 куб. м. вѣситъ въ 1.000 разъ больше т. е. 0,09 кгр., и слѣдовательно 2 кгр. водорода будутъ занимать объемъ въ $\frac{2}{0,09} = 22,22$ куб. метра. Нѣкоторые авторы предпочитаютъ 22,25, а иногда 22,30 — въ зависимости отъ удѣльнаго вѣса водорода, который, какъ это ни странно, не установленъ разъ навсегда съ достаточною аккуратностью, то же можно сказать и по поводу удѣльнаго вѣса другихъ газовъ, между прочимъ и кислорода. Но эти тонкости имѣютъ значеніе лишь при научныхъ изысканіяхъ, для нашихъ же цѣлей вполне допустимо пользоваться округленными данными.

Вѣсъ и объемъ газовъ.

Вѣсъ 1 куб. метра сухого воздуха при нормальныхъ условіяхъ (0° Цельсія и барометрическомъ давленіи 760 мм.) равенъ 1,293 кгр. Составъ воздуха будетъ:

Составная часть.	По вѣсу.		По объему.	
	Въ процентахъ.	Приблизительно.	Въ процентахъ.	Приблизительно.
Кислорода. .	23,1	3	20,8	21
Азота. . . .	76,9	10	79,2	80
Всего. . . .	100,0	13	100,0	101

Плотность воздуха по отношению къ водороду = 14,4. Замѣтимъ еще, что онъ въ 773 раза легче воды.

Чтобы получить вѣсъ 1 куб. метра любого газа, химическая формула котораго дана, нужно лишь помнить, что его «молекулярный вѣсъ» занимаетъ «молекулярный объемъ» т. е., въ метрическихъ мѣрахъ, 22,22 куб. метра. Напримѣръ 1 куб. метръ болотнаго газа CH_4 , имѣющій молекулярный вѣсъ равный 16, — вѣсить $\frac{16}{22,22} = 0,72$ кгр.

Можно также разсуждать инымъ образомъ: Молекулярный вѣсъ всякаго газа дѣленный на 2 представляетъ плотность этого газа по отношению къ водороду. Вѣсъ же 1 куб. метра водорода = 0,09 кгр. — перемноживъ получаемъ искомый вѣсъ 1 куб. м. газа.

Въ только что приведенномъ примѣрѣ плотность болотнаго газа по отношенію къ водороду $D_{\text{H}}^{\text{CH}_4} = \frac{16}{2}$ помноживъ это число на вѣсъ 1 куб. метра водорода, т. е. 0,09 кгр., получимъ 0,72, какъ и прежде, что впрочемъ вполне очевидно.

На основаніи вышесказаннаго можно легко составить таблицу подобную нижеслѣдующей:

Формула.	Молек. вѣсъ.	Плотн. п. о. къ H_2 .	Вѣсъ въ кгр. 1 куб. м.
Водородъ H_2	2	1	0,09
Воздухъ «Смѣсь» . .	—	14,4	1,29
Водяные пары H_2O	18	9	0,81
Азотъ N_2	28	14	1,26
Кислородъ O_2	32	16	1,44
Окись углерода CO	28	14	1,26
Углекислота CO_2	44	22	1,98
Болотный газъ CH_4	16	8	0,72

Особаго разъясненія требуетъ результатъ полученный для водяныхъ паровъ, такъ какъ извѣстно, что при нормальныхъ условіяхъ т. е. 0° Цельсія и 760 мм. они не существуютъ.

Такъ напримѣръ при комнатной температурѣ въ 15° Ц. они имѣютъ давленіе приблизительно въ $\frac{1}{50}$ атмосферы (т. е. составляютъ $\frac{1}{50}$ часть всего объема), но достигаютъ давленія въ 1 атмосферу,

какъ извѣстно лишь при 100° . Такимъ образомъ данный въ таблицѣ вѣсъ 0,81 кгр. для 1 куб. метра имѣетъ лишь условное, но тѣмъ не менѣе весьма важное значеніе, такъ какъ онъ позволяетъ путемъ простаго вычисленія, принципъ котораго будетъ изложенъ ниже, перевести расчетъ на практическую почву, согласуясь съ условіями встрѣчаемыми въ дѣйствительности.

Поправка для температуры.

Изъ наблюденія надъ газами замѣчено, что при повышеніи или пониженіи температуры на 1° Цельсія, при чемъ внѣшнее давленіе остается неизмѣнно, если начать съ извѣстнаго объема при 0° , то этотъ объемъ увеличится или уменьшится на $\frac{1}{273}$ его первоначальной величины. При дальнѣйшемъ повышеніи температуры измѣненіе объема пропорціонально числу градусовъ. Такимъ образомъ при $+273^{\circ}$ Цельсія объемъ газа будетъ ровно вдвое больше противъ его объема при 0° . Если бы можно было довести газъ до -273° , то при этой температурѣ газъ-бы не занималъ никакого объема, а начиная съ этого пункта, называемаго абсолютнымъ нулемъ, увеличеніе объема пропорціонально числу градусовъ, такъ называемаго, абсолютнаго термометра, или абсолютной температурѣ, которая по опредѣленію равна $t^{\circ} + 273$ по Цельсію.

Въ дѣйствительности всѣ газы болѣе или менѣе отступаютъ отъ этого «закона», но въ большинствѣ случаевъ настолько незначительно, что кромѣ весьма аккуратныхъ измѣреній его примѣняютъ безъ поправки, о которыхъ мы здѣсь и не упомянемъ.

Напримѣръ: при «нормальныхъ условіяхъ» 1 кгр. воздуха занимаетъ 773 литра, какой объемъ займетъ онъ при $+30^{\circ}$ С и -30° С, давленіе оставаясь безъ измѣненія (760 мм.).

0° С соотвѣтствуетъ 273° абсолютнаго термометра. $+30^{\circ}$ соотвѣтствуетъ 303° , а -30° — 243° . Искомые объемы будутъ соотвѣтственно:

$$773 \times \frac{303}{273} = 858 \quad \text{и} \quad 773 \times \frac{243}{273} = 688.$$

Такъ какъ $\frac{1}{273} = 0,00366 = \alpha$ — коэффициенту расширенія газовъ— то можно, не прибѣгая къ абсолютнымъ температурамъ, написать:

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t), \quad \text{а для данного случая:}$$

$$V_{+30} = 773 (1 + 0,00366 \times 30) = 858 \quad \text{и}$$

$$V_{-30} = 773 (1 - 0,00366 \times 30) = 688.$$

По нашему мнѣнію первый способъ ничуть не уступаетъ второму, вообще же введеніе понятія объ «абсолютной температурѣ» особенно полезно въ «термодинамикѣ», а потому не мѣшаетъ съ нимъ заблаговременно освоиться.

Поправка для давленія.

Основное правило то, что объемы газовъ обратно пропорціо-
нальны давленіямъ. Такимъ образомъ если данъ объемъ V_0 како-
нибудь газа при извѣстномъ давленіи P_0 , новый объемъ V_1 , при дав-
леніи P_1 , будетъ связанъ съ предыдущимъ уравненіемъ:

$$V_1 P_1 = V_0 P_0 = C.$$

Для каждаго газа постоянная C имѣетъ извѣстное характерное
значеніе, и зависитъ лишь отъ выбранныхъ единицъ мѣръ.

Этотъ законъ, точно также какъ и предъидущій, лишь прибли-
женный, но разница съ дѣйствительностью, по крайней мѣрѣ для
нашихъ цѣлей, можетъ быть пренебрежена. Въ термодинамикѣ, однако,
вводится, для удобства сравненій, понятіе объ совершенныхъ газахъ,
отвѣчающихъ въ точности обоимъ законамъ, путемъ же опытовъ
устанавливается степень отступленія натуральныхъ газовъ, при все-
возможныхъ условіяхъ, отъ этой нормы.

Для примѣра опредѣлимъ объемъ занимаемый 1 кгр. воздуха
при давленіи барометра въ 770 мм. и 0° С если извѣстно, что его
объемъ при нормальныхъ условіяхъ (760 мм. и 0° С) — 773 Литра.

Изъ вышеизложеннаго ясно, что:

$$V_1 = 773 \times \frac{760}{770} = 773 \times 0,987 = 763 \text{ Литра.}$$

Одновременная поправка для температуръ и давленій.

Пользуясь обоими законами одновременно легко перейти отъ
одного состоянія для газа къ другому. Для примѣра пусть требуется
опредѣлить объемъ все того же 1 кгр. воздуха при температурѣ въ
 $+30^\circ$ С и давленіи барометра въ 770 мм.

$$V' = 773 \times \frac{303}{273} \times \frac{760}{770} = 773 \times 1,11 \times 0,987 = 847.$$

Для другого примѣра опредѣлимъ вѣсъ 1 кб. метра водорода при
 1000° С и давленіи въ 250 мм., исходя изъ нормального вѣса 1 кб.
метра = 0,09 кгр.

$$W' = 0,09 \times \frac{273}{1000 + 273} \times \frac{250}{760} = 0,00637 \text{ кгр.}$$

Наконецъ, опредѣлимъ вѣсъ 50 кб. метровъ водяныхъ паровъ
при температурѣ 30° С и давленіи 31,6 мм.

Воспользуемся условнымъ значеніемъ вѣса 1 кб. метра водяныхъ
паровъ при нормальныхъ условіяхъ (0° С и 760 мм.) вычисленнаго
выше и равнаго 0,81 кгр.

Примѣняя оба закона получимъ

$$W' = 0,81 \times \frac{273}{303} \times \frac{31,6}{760} \times 50 = 1,517 \text{ кгр.}$$

Задачи иллюстрирующие предыдущие принципы.

Задача № 1.

Анализъ спекающагося угля далъ:

Углерода	73,60%
Водорода	5,30%
Азота	1,70%
Сѣры	0,75%
Кислорода	10,00%
Влаги	0,60%
Золы	8,05%
Итого	100,00%

Уголь измельченъ въ порошокъ и вдувается струей воздуха въ цементную печь.

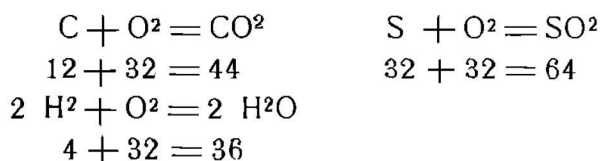
Требуется:

1) Опреѣлить теоретическій объемъ сухого воздуха при 25° С и 740 мм. давленія потребнаго для полнаго сжиганія одного килограмма угля.

2) Теоретическій объемъ продуктовъ горѣнія при 290° С и 740 мм. давленія и ихъ процентный составъ:

Рѣшеніе:

Реакціи горѣнія слѣдующія:



Количество кислорода для сжиганія 1 кгр. угля будетъ;

Кислорода для углерода	$0,7360 \times \frac{32}{12} = 1,9630$	кгр.
» » водорода	$0,0530 \times \frac{32}{4} = 0,4240$	»
» » сѣры. . .	$0,0075 \times \frac{32}{32} = 0,0075$	»

Всего потребно кислорода	2,3945	кгр.
Содержится кислорода въ углѣ	0,1000	»
Добавочный кислородъ изъ воздуха.	2,2945	кгр.
Сопутствующій его азотъ $\left(\frac{10}{3}\right)$	7,6483	»

Всего потребно воздуха 9,9428 кгр.

Что составляетъ $\frac{9,9428}{1,293} = 7,69$ куб. метра.



Переводя этотъ объемъ 7,69 куб. метровъ съ нормальныхъ условий къ заданнымъ получимъ:

$$V_1 = 7,69 \times \frac{273 + 25}{273} \times \frac{760}{740} = 8,62 \text{ куб. метра.}$$

Отвѣтимъ теперь на второй вопросъ.

Продукты горѣнія содержатъ по вѣсу:

Углекислоты CO ² . . .	0,7360 + 1,9630 =	2,6990	кгр.
Образовавшейся воды	0,0530 + 0,4240 =	0,4770	»
Перешедшей влаги.		0,0060	»
Сѣрнистаго газа SO ²	0,0075 + 0,0075 =	0,0150	»
Азота	0,0170 + 7,6483 =	7,6653	»
Итого		10,8623	кгр.

Переходя отъ вѣсовъ къ объемамъ при нормальныхъ условіяхъ:

CO ²	2,6990/1,98 =	1,363	куб. метра
H ² O	0,4830/0,81 =	0,597	»
SO ²	0,0150/2,88 =	0,005	»
N ²	7,6653/1,26 =	6,085	»
Итого		8,050	куб. метра.

Этотъ объемъ обратится при заданныхъ условіяхъ въ:

$$V_1' = 8,05 \times \frac{273 + 290}{273} \times \frac{760}{740} = 17,05 \text{ куб. м.}$$

Наконецъ процентный составъ продуктовъ горѣнія будетъ:

	По вѣсу.	По объему.
N ²	70,6%	75,5%
CO ²	24,8%	17,0%
H ² O	4,5%	7,4%
SO ²	> 0,1%	< 0,1%
Итого	100,0%	100,0%

Задача № 2.

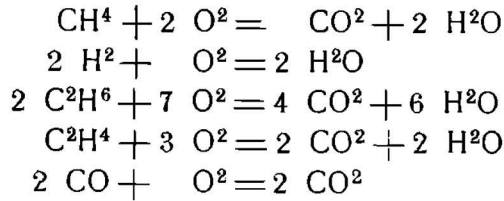
Составъ питтсбургскаго натурального газа по объему слѣдующій:

Болотнаго газа	CH ⁴	60,70%
Водорода	H ²	29,03%
Этана	C ² H ⁶	7,92%
Масл. газа	C ² H ⁴	0,98%
Кислорода	O ²	0,78%
Окиси углерода	CO	0,58%
		99,99%

Требуется опредѣлить:

- 1) Количество воздуха необходимаго для сжиганія.
- 2) Объемъ продуктовъ горѣнія.

Реакціи:



Рѣшеніе:

Потребное количество кислорода:

При сжиганіи	CH ⁴	. . .	0,6070 × 2 =	1,2140	частей
»	»	H ²	0,2903 × $\frac{1}{2}$ =	0,1451	»
»	«	C ² H ⁶	0,0792 × $\frac{7}{2}$ =	0,2772	»
»	»	C ² H ⁴	0,0098 × 3 =	0,0294	»
»	»	CO	0,0058 × $\frac{1}{2}$ =	0,0029	»
		Итого . . .		1,6686	частей

За исключеніемъ 0,0078 »

Остается добавить кислорода 1,6608 частей.

Что соотвѣтствуетъ въ объемахъ воздуха:

$$\frac{1,6608}{0,208} = 7,985 \text{ частямъ.}$$

Относительные объемы составныхъ частей продуктовъ горѣнія будутъ слѣдующіе:

		CO ²	H ² O	N ²
Отъ сгоранія	CH ⁴	0,6070	1,2140	—
»	H ²	—	0,2903	—
»	C ² H ⁶	0,1584	0,2376	
»	C ² H ⁴	0,0196	0,0196	—
»	CO	0,0058	—	—
Изъ воздуха	. . . .	—	—	6,3242
	Итого . . .	0,7908	1,7615	6,3242

Всѣ объемы здѣсь «относительны» при одинаковой температурѣ и давленіи.

Задача № 3.

Бессемеровскій конверторъ содержитъ 10 тоннъ чугуна слѣдующаго состава:

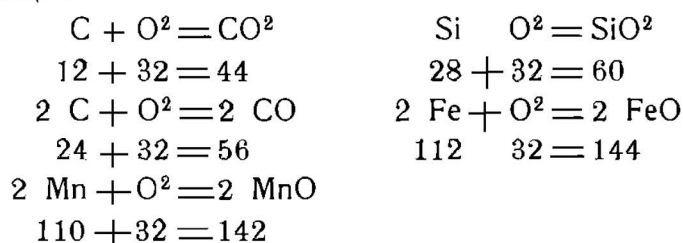
Углерода . .	3,0%
Марганца	0,5%
Кремнія	1,5%
Желѣза	95,0%
Итого	100,0%

Послѣ дутья $\frac{1}{3}$ углерода сжигается въ CO^2 , а $\frac{2}{3}$ въ CO ; 5% желѣза окисляется; воздухъ сухъ и въ теоретической пропорціи къ реакціямъ.

Требуется:

- 1) Вѣсъ кислорода потребнаго для дутья.
- 2) Соотвѣтствующій объемъ воздуха при нормальныхъ условіяхъ.
- 3) Средній составъ газовъ.

Реакціи:



Требуется кислорода:

C въ CO^2 100 кгр.	$\times \frac{32}{12}$	= 266,7 кгр.
C » CO 200 »	$\times \frac{32}{24}$	= 266,7 »
Mn » MnO 50 »	$\frac{32}{110}$	= 14,5 »
Si » SiO^2 150 »	$\times \frac{32}{28}$	= 171,4 »
Fe » FeO 500 »	$\times \frac{32}{112}$	= 142,8 »
Итого . . .		862,1 кгр.
Сопутствующій азотъ ($\frac{10}{3}$)		2873,7 »
Требуется воздуха		3735,8 кгр.
Объемъ воздуха $\frac{3735,8}{1,293}$		= 2889,3 куб. м.

Объемъ продуктовъ горѣнія:

$$\begin{array}{rcl} \text{CO}^2 = 100 + 266,7 = 366,7 \text{ кгр.} & = & \frac{366,7}{1,98} = 185,2 \text{ куб. м.} \\ \text{CO} = 200 + 266,7 = 466,7 \text{ »} & = & \frac{466,7}{1,26} = 370,4 \text{ »} \\ \text{N}^2 & = & \frac{2873,7}{1,26} = 2280,7 \text{ »} \end{array}$$

Итого . . . 2836,3 куб. м.

Процентный составъ по объему:

CO ²	6,5%	
CO	13,1%	
N ²	80,4%	
Итого		100,0%

ГЛАВА II.

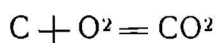
Приложенія термохиміи.

Въ практической металлургіи часто имѣетъ рѣшающее значеніе вопросъ о количествѣ потребной энергіи, въ томъ или иномъ видѣ, для осуществленія реакціи и отъ нее зависитъ практичность или непрактичность извѣстнаго процесса.

Относительное достоинство того или иного топлива, производство и утилизація газа, принципы регенераторной печи, процессъ Бессемера, электрическое возстановленіе и тому подобные процессы требуютъ производство и приложеніе химической энергіи, такъ что единственный путь освоиться съ этими реакціями съ энергетической точки зрѣнія это изучить ихъ опираясь на данныя термохиміи и термофизики.

Термохимическая номенклатура.

Количество теплоты, выдѣленное или поглощенное, при образованіи химическихъ соединеній изъ составныхъ элементовъ опредѣляется опытнымъ путемъ посредствомъ калориметра. Эта отрасль знанія часто называется «химической калориметріей» и служитъ отдѣломъ экспериментальной физики. Полученныя данныя относятся къ реакціямъ начавшимся при комнатной температурѣ и давшимъ окончательный продуктъ при приблизительно той же температурѣ. Результатъ опыта можетъ быть выраженъ различнымъ образомъ, если отнести количество теплоты, сопровождающее реакцію, къ тому или иному веществу; такъ, на примѣръ, при полномъ сгораніи углерода соотвѣтственно реакціи:



выдѣляется извѣстное количество тепла, которое будетъ;

8100	граммъ	калорій	на	каждый	граммъ	C
3037	»	»	»	»	»	O
2209	»	»	»	»	»	CO ²

или-же что будетъ самое рациональное — 97200 граммъ калорій относительно «формульныхъ вѣсовъ». Это послѣднее выраженіе надо

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

понимать слѣдующимъ образомъ: При полномъ сгораніи 12 гр. С съ 32 гр. О получается 44 гр. CO_2 съ выдѣленіемъ 97200 малыхъ калорій (граммъ калорій).

Само собою разумѣется что если вѣса будутъ взяты въ килограммахъ, то та-же цифра 97200 будетъ въ килограммъ калоріяхъ или большихъ калоріяхъ. Нѣкоторые ученые поступаютъ немного иначе, такъ напр. Бертелло беретъ вѣса въ граммахъ а тепловые единицы въ большихъ калоріяхъ и такимъ образомъ реакція $(\text{C}, \text{O}^2) = 97,2$ килограммъ-калорій. Оствальдъ въ своихъ таблицахъ пользуется особой тепловой единицей равной 100 малымъ калоріямъ и символизируемой буквой «К», такимъ образомъ предыдущій результатъ выражается черезъ 972 К. Мы-же во всемъ нижеслѣдующемъ будемъ пользоваться наибольшимъ числомъ 97200 согласно съ термохимиками старой школы (Гессъ, Науманъ и друг.), которое соотвѣтствуетъ малымъ или большимъ калоріямъ, смотря потому, берется ли вѣсъ реагирующихъ тѣлъ въ граммахъ или килограммахъ.

Теперь дадимъ таблицу термохимическихъ данныхъ, соотвѣствующихъ всевозможнымъ простымъ соединеніямъ, при чемъ температура начала и конца реакціи приблизительно 15° Цельсія.

Термохимическія данныя.

Теплоты образованія окисловъ.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавленномъ видѣ.
(Mg, O)	$24 + 16 = 40$	143400	148800
(Ba, O)	$137 + 16 = 153$	133400	161500
(Ca, O)	$40 + 16 = 56$	131500	149600
(Sr, O)	$87 + 16 = 103$	131200	158400
(Al ² , O ³)	$54 + 48 = 102$	392600	—
(Na ² , O)	$46 + 16 = 62$	100900	155900
(K ² , O)	$78 + 16 = 94$	98200	165200
(Si, O ²)	$28 + 32 = 60$	180000	—
(Mn, O)	$55 + 16 = 71$	90900	—
(B ² , O ³)	$22 + 48 = 70$	272600	279900
(Zn, O)	$65 + 16 = 81$	84800	—
(Mn ³ , O ⁴)	$165 + 64 = 229$	328000	—
(P ² , O ⁵)	$62 + 80 = 142$	365300	—
(Sn, O)	$118 + 16 = 134$	70700	—
(Sn, O ²)	$118 + 32 = 150$	141300	—
(CO, O)	$28 + 16 = 44$	68040	73940

Формула.	Молекурный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.	
(H ² , O)	2 + 16 = 18	$\left\{ \begin{array}{l} 70400 \text{ (твѣрд.)} \\ 69000 \text{ (жидк.)} \\ 58060 \text{ (газъ)} \end{array} \right.$	—	
(Fe ³ , O ⁴)	168 + 64 = 232		270800	—
(Cd, O)	112 + 16 = 128		66300	—
(Fe, O)	56 + 16 = 72	65700	—	
(Fe ² , O ³)	112 + 48 = 160	195600	—	
(Co, O)	59 + 16 = 75	64100	—	
(Mn, O ²)	55 + 32 = 87	125300	—	
(Ni, O)	58,5 + 16 = 74,5	61500	—	
(Sb ² , O ³)	240 + 48 = 288	166900	—	
(As ² , O ³)	150 + 48 = 198	156400	148900	
(Pb, O)	207 + 16 = 223	50800	—	
(C, O ²)	12 + 32 = 44	97200 (газъ)	103100	
(Bi ² , O ³)	416 + 48 = 464	139200	—	
(Sb ² , O ⁵)	240 + 80 = 320	231200	—	
(As ² , O ⁵)	150 + 80 = 230	219400	225400	
(Cu ² , O)	127,2 + 16 = 143,2	43800	—	
(Tl ² , O)	408 + 16 = 424	42800	39700	
(Cu, O)	63,6 + 16 = 79,6	37700	—	
(Ba, O ²)	137 + 32 = 169	145500	—	
(S, O ²)	32 + 32 = 64	69260 (газъ)	77600	
(Pb, O ²)	207 + 32 = 239	63400	—	
(S, O ³)	32 + 48 = 80	91900	141000	
(Tl ² , O ³)	408 + 48 = 456	87600	—	
(C, O)	12 + 16 = 28	29160 (газъ)	—	
(Hg ² , O)	400 + 16 = 416	22200	—	
(Hg, O)	200 + 16 = 216	21500	—	
(Te, O ²)	125,5 + 32 = 157,5	—	78300	
(Pd, O)	106 + 16 = 122	21000	—	
(Pt, O)	195 + 16 = 211	17000(?)	—	
(Ag ² , O)	216 + 16 = 232	7000	—	
(Au ² , O ³)	394 + 48 = 442	-11500	—	

Теплоты образованія гидратовъ.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Li, O, H)	7 + 16 + 1 = 24	112300	118100
(Mg, O ² , H ²)	24 + 32 + 2 = 58	217800	—
(Sr, O ² , H ²)	87 + 32 + 2 = 121	217300	227400

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.	
(Ca, O ² , H ²)	40 + 32 + 2 = 74	215600	219500	
(K, O, H) .	39 + 16 + 1 = 56	104600	117100	
(Na, O, H) .	23 + 16 + 1 = 40	102700	112500	
(N, H ⁵ , O) .	14 + 5 + 16 = 35	88800	90000	
(Al, O ³ , H ³) .	27 + 48 + 3 = 78	301300	—	
(H, O, +) .	1 + 16 + 1 = 18	{ 70400(тврд.) — 69000(жидк.) — 58060(газъ) —	—	
(Tl, O, H) .	204 + 16 + 1 = 221		57400	54300
(Bi, O ³ , H ³) .	208 + 48 + 3 = 259		171700	—
(Sn, O ² , H ²) .	65 + 32 + 2 = 99	83500	—	
(Te, O ² , H ²) .	127 + 32 + 2 = 161	78300	—	
(Te, O ³ , H ³) .	127 + 48 + 3 = 178	—	99500	
(Se, O ² , H ²) .	79 + 32 + 2 = 113	52400	51500	
(Se, O ³ , H ³) .	79 + 48 + 3 = 130	—	79300	
(Tl, O ³ , H ³) .	204 + 48 + 3 = 255	43800	—	

Теплота образованія сѣрнистыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Li ² , S)	14 + 32 = 46	—	115400
(K ² , S)	78 + 32 = 110	103500	113500
(Ba, S)	137 + 32 = 169	102900	109800
(Sr, S)	87 + 32 = 119	99300	106700
(Ca, S)	40 + 32 = 72	94300	100600
(Na ² , S)	46 + 32 = 78	89300	104300
(Mg, S)	24 + 32 = 56	79400	—
(K, S ²)	39 + 64 = 103	59300	59700
(Na, S ²)	23 + 64 = 87	49500	54400
(Mn, S)	55 + 32 = 87	45600	—
(Zn, S)	65 + 32 = 97	43000	—
(Al ² , S ³)	54 + 96 = 150	126400	—
(N, H ⁵ , S)	14 + 5 + 32 = 51	40000	36700
(Cd, S)	112 + 32 = 144	34400	—
(B ² , S ³)	22 + 96 = 118	75800	—
(Fe, S)	56 + 32 = 88	24000	—
(Co, S)	59 + 32 = 91	21900	—
(Tl ² , S)	204 + 32 = 236	21600	—
(Cu ² , S)	127,2 + 32 = 159,2	20300	—
(Pb, S)	207 + 32 = 239	20200	—

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молек. теплота образованій.	Въ разбавленномъ видѣ.
(Si, S ²)	28 + 64 = 92	40000	—
(Ni, S)	58,5 + 32 = 90,5	19500	—
(Sb ² , S ³)	240 + 96 = 336	34400	—
(Hg, S)	200 + 32 = 232	10600	—
(Cu, S)	63,6 + 32 = 95,6	10100	—
(H ² , S)	2 + 32 = 34	4800 (газъ)	9500
(Ag ² , S)	216 + 32 = 248	3000	—
(C, S ²)	12 + 64 = 76	—25400 (газъ)	—
		—19000 (жидк.)	—
(I, S)	127 + 32 = 159	0000	—

Теплоты образованія селенистыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавленномъ видѣ.
(Li ² , Se)	14 + 79 = 93	83000	93700
(K ² , Se)	78 + 79 = 157	79600	87900
(Ba, Se)	137 + 79 = 216	69900	—
(Sr, Se)	87 + 79 = 166	67600	—
(Na ² , Se)	46 + 79 = 125	60900	78600
(Ca, Se)	40 + 79 = 119	58000	—
(Zn, Se)	65 + 79 = 144	30300	—
(Cd, Se)	112 + 79 = 191	23700	—
(Mn, Se)	55 + 79 = 134	22400	—
(N, H ⁵ , Se)	14 + 5 + 79 = 98	17800	12800
(Cu, Se)	63,6 + 79 = 142,6	17300	—
(Pb, Se)	207 + 79 = 286	17000	—
(Fe, Se)	56 + 79 = 135	15200	—
(Ni, Se)	58,5 + 79 = 137,5	14700	—
(Co, Se)	59 + 79 = 138	13900	—
(Ti ² , Se)	408 + 79 = 487	13400	—
(Cu ² , Se)	127,2 + 79 = 206,2	8000	—
(Hg, Se)	200 + 79 = 279	6300	—
(Ag ² , Se)	216 + 79 = 295	2000	—
(H ² , Se)	2 + 79 = 81	—25100 (газъ)	—15800
(N, Se)	14 + 79 = 93	—42300	—

Теплоты образованія теллуристыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавленномъ видѣ.
(Zn, Te)	65 + 126 = 191	31000	—
(Cd, Te)	112 + 126 = 238	16600	—

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образования.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Co, Te) . . .	$59 + 126 = 185$	13000	—
(Fe, Te) . . .	$56 + 126 = 182$	12000	—
(Ni, Te) . . .	$58,5 + 126 = 184,5$	11600	—
(Tl ² , Te) . . .	$408 + 126 = 534$	10600	—
(Cu ² , Te) . . .	$127,2 + 126 = 253,2$	8200	—
(Pb, Te) . . .	$207 + 126 = 333$	6200	—
(H ² , Te) . . .	$2 + 126 = 128$	— 34900 (газъ)	—

Теплоты образования мышьяковистыхъ соединений.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образования.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(H ³ , As) . . .	$3 + 75 = 78$	— 44200 (газъ)	—

Теплоты образования сурьмянистыхъ соединений.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образования.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(H ³ , Sb) . . .	$3 + 120 = 123$	— 86800 (газъ)	—

Теплоты образования фосфористыхъ соединений.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образования.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Mn ³ , P ²) . . .	$165 + 62 = 227$	70900	—
(H ³ , P)	$3 + 31 = 34$	4900 (газъ)	—
(Fe, P)	$56 + 39 = 95$	почти ноль	—

Теплоты образования азотистыхъ соединений.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образования.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(H ³ , N)	$3 + 14 = 17$	12200 (газъ)	21000
		16600 (жидкость)	—
(Ba ³ , N ²) . . .	$411 + 28 = 439$	149400	—
(Li ³ , N) . . .	$21 + 14 = 35$	49500	—
(K, H ³ , N) . .	$39 + 3 + 14 = 56$	30700	—

Теплоты образования металло-водородистыхъ соединений.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образования.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Sr, H ²) . . .	$87 + 2 = 89$	38400	—
(Ba, H ²) . . .	$137 + 2 = 139$	37500	—

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молек. теплота образования.	Въ разбавленномъ видѣ.
(Pt ¹⁰ , H) . . .	1950 + 1 = 1951	14200	—
(Pd ¹⁵ , H) . . .	1590 + 1 = 1591	4600	—
(Si, H ⁴)	28 + 4 = 32	—6700 (газъ)	—

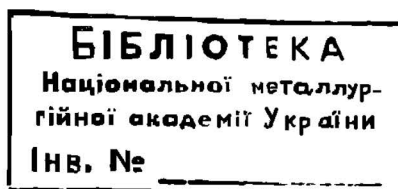
Теплоты образования углеводовъ.

Названіе.	Формула.	Молекулярн. вѣсъ.	Молекулярная теплота образования.
Метанъ (болотный газъ)	(C, H ⁴)	12 + 4 = 16	22250 (газъ)
Этанъ	(C ² , H ⁶)	24 + 6 = 30	26650 (газъ)
Пропанъ	(C ³ , H ⁸)	36 + 8 = 44	33850 (газъ)
Этиленъ (масляный газъ)	(C ² , H ⁴)	24 + 4 = 28	—11250 (газъ)
Пропиленъ	(C ³ , H ⁶)	36 + 6 = 42	— 6050 (газъ)
Толуэнъ	(C ⁷ , H ⁸)	84 + 8 = 92	5650 (жидкость)
Бензенъ	(C ⁶ , H ⁶)	72 + 6 = 78	{— 750 (жидкость) — 7950 (газъ)
Терпентинъ	(C ¹⁰ , H ¹⁶)	120 + 16 = 136	{ 7550 (жидк.) — 1850 (газъ)
Нафталинъ	(C ¹⁰ , H ⁸)	120 + 8 = 128	{—19450 (твердое тѣло) —24050 (жидкость)
Антраценъ	(C ¹⁴ , H ¹⁰)	168 + 10 = 178	—39050 (тверд. тѣло)
Ацетиленъ	(C ² , H ²)	24 + 2 = 26	—54750 (газъ)
Метиль-алкоголь (Древесный спиртъ)	(C, H ⁴ , O)	12 + 4 + 16 = 32	{65050 (жидкость) 56650 (газъ)
Этиль-алкоголь (Алкоголь)	(C ² , H ⁶ , O)	24 + 6 + 16 = 46	{73250 (жидкость) 63150 (газъ)
Ацетонъ	(C ³ , H ⁶ , O)	36 + 6 + 16 = 58	{69650 (жидкость) 62150 (газъ)

Теплоты образования карбидовъ.

Формула.	Молекул. вѣсъ.	Молек. теплота образования.	Въ разбавленномъ видѣ.
(Al ⁴ , C ³)	108 + 36 = 144	232000	—
(Mn, C ²)	55 + 24 = 79	114400 (Ponthiere)	
(Mn, C ³)	55 + 36 = 91	9900 (Berthelot)	
(Mn ³ , C)	165 + 12 = 177	10400 (Le Chatelier)	
(Fe ³ , C)	168 + 12 = 180	8460	—
(Ca, C ²)	40 + 24 = 64	—6250	—
(Na, C)	23 + 12 = 35	—4400	—
(Li, C)	7 + 12 = 19	—5750	—
(N ² , C ²)	28 + 24 = 52	—73000 (газъ)	—67100
(Ag, C)	108 + 12 = 120	—43575	—

И. В. Ричардсъ. Расчеты по металлургии.



НБ
УДУНТ
(ІПБТ)

Теплоты образованія кремнистыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Mn ⁷ , Si ²)	385 + 56 = 441	47400	—
(H ⁴ , Si)	4 + 28 = 32	—6700 (газъ)	—

Теплоты образованія фтористыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Sr, F ²)	87 + 38 = 125	224020	—
(Ba, F ²)	137 + 38 = 175	224000	221500
(Li, F)	7 + 19 = 26	—	116880
(K, F)	39 + 19 = 58	110000	113600
(Ca, F ²)	40 + 38 = 78	216450	—
(Mg, F ²)	24 + 38 = 62	209500	—
(Na, F)	23 + 19 = 42	109720	109120
(N, H ⁴ , F)	14 + 4 + 19 = 37	101250	99750
(Al, F ³)	27 + 57 = 84	—	275220
(B, F ³)	11 + 57 = 68	—	219345
(Mn, F ²)	55 + 38 = 93	—	153310
(Zn, F ²)	65 + 38 = 103	—	138220
(Si, F ⁴)	28 + 76 = 104	275920 (газъ)	—
(Fe, F ²)	56 + 38 = 94	—	125220
(Cd, F ²)	112 + 38 = 150	—	121720
(Co, F ²)	59 + 38 = 97	—	120340
(Ni, F ²)	58,5 + 38 = 96,5	—	118980
(Fe, F ³)	56 + 57 = 113	—	164940
(Tl, F)	204 + 19 = 223	—	54405
(Pb, F ²)	207 + 38 = 245	101600	—
(H, F)	1 + 19 = 20	38500 (газъ)	50300
(Sb, F ³)	120 + 57 = 177	—	136680
(Cu, F ²)	63,6 + 38 = 101,6	—	88160
(Ag, F)	108 + 19 = 127	22070	25470

Теплоты образованія хлористыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(K, Cl)	39 + 35,5 = 74,5	105700	101200
(Be, Cl ²)	9 + 71 = 80	155000	199500
(Ba, Cl ²)	137 + 71 = 208	197100	198300
(Na, Cl)	23 + 35,5 = 58,5	97900	96600

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молек. теплота образования.	Въ разбавленномъ видѣ.
(Li, Cl) . . .	7 + 35,5 = 42,5	93900	102300
(Sr, Cl ²) . . .	87 + 71 = 158	184700	195850
(Ca, Cl ²) . . .	40 + 71 = 111	169900	187400
(N, H ⁴ , Cl) . . .	14 + 4 + 35,5 = 63,5	76800	72800
(Mg, Cl ²) . . .	24 + 71 = 95	151200	187100
(Al, Cl ³) . . .	27 + 106,5 = 133,5	161800	238100
(Mn, Cl ²) . . .	55 + 71 = 126	112000	128000
(Zn, Cl ²) . . .	65 + 71 = 136	97400	113000
(Tl, Cl) . . .	204 + 35,5 = 239,5	48600	38400
(Cd, Cl ²) . . .	112 + 71 = 183	93700	96400
(Pb, Cl ²) . . .	207 + 71 = 278	83900	77900
(Fe, Cl ²) . . .	56 + 71 = 127	82200	100100
(Sn, Cl ²) . . .	118 + 71 = 189	80900	—
(Co, Cl ²) . . .	59 + 71 = 130	76700	95000
(Ni, Cl ²) . . .	58,5 + 71 = 129,5	74700	93900
(Cu, Cl) . . .	63,5 + 35,5 = 99	35400	—
(Sn, Cl ⁴) . . .	118 + 142 = 260	129800 (жидк.)	—
(Fe, Cl ³) . . .	56 + 106,5 = 162,5	96150	127850
(Hg, Cl) . . .	200 + 35,5 = 235,5	31320	—
(Sb, Cl ³) . . .	120 + 106,5 = 226,5	91400	—
(Bi, Cl ³) . . .	208 + 106,5 = 314,5	90800	—
(Si, Cl ⁴) . . .	28 + 142 = 170	128800 (газъ)	—
(B, Cl ³) . . .	11 + 106,5 = 117,5	89100 (газъ)	—
(Ag, Cl) . . .	108 + 35,5 = 143,5	29000	—
(Hg, Cl ²) . . .	200 + 71 = 271	53300	50300
(Cu, Cl ²) . . .	63,6 + 71 = 134,6	51400	62500
(As, Cl ³) . . .	75 + 106,5 = 181,5	71500	—
(H, Cl) . . .	1 + 35,5 = 36,5	22000	39400
(Sb, Cl ⁵) . . .	120 + 177,5 = 297,5	104500 (жидк.)	—
(Pd, Cl ²) . . .	106 + 71 = 177	40500	—
(Pt, Cl ⁴) . . .	195 + 142 = 337	60200	79800
(Au, Cl ³) . . .	197 + 106,5 = 303,5	22800	27200
(Au, Cl) . . .	197 + 35,5 = 232,5	5800	—

Теплоты образований углекислыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молек. теплота образования.	Въ разбавленномъ видѣ.
(Ba, C, O ³) . . .	137 + 12 + 48 = 197	286300	—
(K ² , C, O ³) . . .	78 + 12 + 48 = 138	282100	288600
(Sr, C, O ³) . . .	87 + 12 + 48 = 147	281400	—

2*

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Ca, C, O ³)	40 + 12 + 48 = 100	273850	—
(Na ² , C, O ³) . .	46 + 12 + 48 = 106	273700	279300
(Mg, C, O ³) . .	24 + 12 + 48 = 84	269900	—
(Mn, C, O ³) . .	55 + 12 + 48 = 115	210300	—
(N, H ⁵ , C, O ³)	14 + 5 + 12 + 48 = 79	208600	202300
(Zn, C, O ³) . .	65 + 12 + 48 = 125	197500	—
(Fe, C, O ³) . .	56 + 12 + 48 = 116	187800	—
(Cd, C, O ³) . .	112 + 12 + 48 = 172	183200	—
(Pb, C, O ³) . .	207 + 12 + 48 = 267	170000	—
(Cu, C, O ³) . .	63,6 + 12 + 48 = 123,6	146100	—
(Ag ² , C, O ³) . .	216 + 12 + 48 = 276	123800	—

Теплоты образованія дву-углекислыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(K, H, C, O ³)	39 + 1 + 12 + 48 = 100	233300	228000
(Na, H, C, O ³)	23 + 1 + 12 + 48 = 84	227000	222700

Теплоты образованія азотнокислыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(K, N, O ³) .	39 + 14 + 48 = 101	119000	110700
(Na, N, O ³) .	23 + 14 + 48 = 85	110700	106000
(Zn, N ² , O ⁶)	65 + 28 + 96 = 187	—	131700
(Pb, N ² , O ⁶)	207 + 28 + 96 = 331	105400	98200
(Cu, N ² , O ⁶)	63,5 + 28 + 96 = 187,5	—	81300
(H, N, O ³) .	1 + 14 + 48 = 63	34400 (газъ)	48800
(Ag, N, O ³) .	108 + 14 + 48 = 170	28700	23000

Теплоты образованія фосфорнокислыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Ca ³ , P ² , O ⁸) .	120 + 62 + 128 = 310	919200	—
(Mg ³ , P ² , O ⁸) .	72 + 62 + 128 = 262	910600	—
(Na ³ , P, O ⁴) .	69 + 31 + 64 = 164	452400	—

Теплоты образованія кремнекислыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсь.	Молек. теплота образованія.	Въ разбавлен- номъ видѣ.
(Ba, Si, O ³) .	137 + 28 + 48 = 213		328100 —
(Ca, Si, O ³)	40 + 28 + 48 = 116		329350 —

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекулярная теплота образованія.	Въ раз- бавлен. видѣ.
(Ca, ² Si, O ⁴)	80 + 28 + 64 = 172	471300	—
(Ca ³ , Si, O ⁵)	120 + 28 + 80 = 228	603050	—
(Sr, Si, O ³)	87 + 28 + 48 = 163	329100	—
(Al ² , Si ² , O ⁷)	54 + 56 + 112 = 222	767500	—
(Li ² , Si, O ³)	14 + 28 + 48 = 90	347100 (?)	—
(Na ² , Si, O ³)	46 + 28 + 48 = 122	326100	—
(Ca ³ , Al ² , Si ² , O ¹⁰) . .	120 + 54 + 56 = 160 = 390	1195550	—
(H ⁴ , Al ² , Si ² , O ⁹) . .	4 + 54 + 56 + 144 = 258	927420	—
(Mn, Si, O ³)	55 + 28 + 48 = 131	276300	—
(Fe, Si, O ³)	56 + 28 + 48 = 132	254600	—

Теплоты образованія алюминатовъ.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекулярная теплота образованія.	Въ раз- бавлен. видѣ.
(Ca, Al ² , O ⁴)	40 + 54 + 64 = 158	524550	—
(Ca ² , Al ² , O ⁵)	80 + 54 + 80 = 214	658900	—
(Ca ³ , Al ² , O ⁶)	120 + 54 + 96 = 270	789050	—

Теплоты образованія сѣрнокислыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекулярная теплота образованія	Въ раз- бавлен. видѣ.
(K ² , S, O ⁴)	78 + 32 + 64 = 174	344300	337700
(Ba, S, O ⁴)	137 + 32 + 64 = 233	339400	—
(Li ² , S, O ⁴)	14 + 32 + 64 = 110	333500	339600
(Sr, S, O ⁴)	87 + 32 + 64 = 183	330200	—
(Na ² , S, O ⁴)	46 + 32 + 64 = 142	328100	328500
(Ca, S, O ⁴)	40 + 32 + 64 = 136	317400	321800
(Mg, S, O ⁴)	24 + 32 + 64 = 120	300900	321100
(Al ² , S ³ , O ¹²)	54 + 96 + 192 = 342	—	879700
(N ² , H ⁸ , S, O ⁴) . .	28 + 8 + 32 + 64 = 132	283500	281100
(Mn, S, O ⁴)	55 + 32 + 64 = 151	249400	263200
(Zn, S, O ⁴)	65 + 32 + 64 = 161	229600	248000
(Fe, S, O ⁴)	56 + 32 + 64 = 152	—	234900
(Co, S, O ⁴)	59 + 32 + 64 = 155	—	228900
(Ni, S, O ⁴)	58,5 + 32 + 64 = 154,5	—	228700
(Fe ² , S ³ , O ¹²)	112 + 96 + 192 = 400	—	650500
(Tl ² , S, O ⁴)	408 + 32 + 64 = 504	221800	213500
(Cd, S, O ⁴)	112 + 32 + 64 = 208	219900	231600
(Pb, S, O ⁴)	207 + 32 + 64 = 303	215700	—

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекул. теплота образованія.	Въ раз- бавлен. видѣ.
(H ² , S, O ⁴)	2 + 32 + 64 = 98	192200	210200
(Cu, S, O ⁴)	63,6 + 32 + 64 = 159,6	181700	197500
(Hg ² , S, O ⁴)	400 + 32 + 64 = 496	175000	
(Ag ² , S, O ⁴)	216 + 32 + 64 = 312	167100	162600
(Hg, S, O ⁴)	200 + 32 + 64 = 296	165100	

Теплоты образованія кислыхъ-сѣрнокислыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекулярная теплота образованія.	Въ раз- бавлен. видѣ.
(K, H, S, O ⁴)	39 + 1 + 32 + 64 = 136	276100	272900
(Na, H, S, O ⁴) .	23 + 1 + 32 + 64 = 120	269100	268300
(N, H ⁵ , S, O ⁴) .	14 + 5 + 32 + 64 = 115	244600	245100
(H, H, S, O ⁴)	1 + 1 + 32 + 64 = 98	192200	210200

Теплоты образованія борнокислыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекулярная теплота образованія.	Въ раз- бавлен. видѣ.
(Na ² , B ⁴ , O ⁷)	46 + 44 + 112 = 202	748100	758300

Теплоты образованія ціанистыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекулярная теплота образованія.	Въ раз- бавлен. видѣ.
(Ca, C ² , N ²) .	40 + 24 + 28 = 92		41650
(K, C, N) . . .	39 + 12 + 14 = 65	33450	30250
(Na, C, N) . . .	23 + 12 + 14 = 49	25950	25450
(K, Ag, C ² , N ²)	39 + 108 + 24 + 28 = 199	13700	5350
(Fe ⁷ , C ¹⁸ , N ¹⁸) . .	392 + 216 + 252 = 860	256700	—
(Zn, C ² , N ²) . . .	65 + 24 + 28 = 117	24550	
(Cd, C ² , N ²) . . .	112 + 24 + 28 = 164	31850	
(Cu, C, N)	63,6 + 12 + 14 = 89,6	20375	
(Pd, C ² , N ²) . . .	106 + 24 + 28 = 158	49250	
(H, C, N)	1 + 12 + 14 = 27	27150(газъ)	—21050
(Hg, C ² , N ²) . . .	200 + 24 + 28 = 252	59150	

Теплоты образованія ціанисто-кислыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекул. теплота образованія.	Въ разбав- ленномъ видѣ.
(K, C, N, O)	39 + 12 + 14 + 16 = 81	105850	100650
(Na, C, N, O)	23 + 12 + 14 + 16 = 65	105050	100250
(Ag, C, N, O)	108 + 12 + 14 + 16 = 150	26450	

Теплоты образованія желѣзо-синеродистыхъ соединеній.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекулярная теплота образованія.	Въ раз- бавлен. видѣ.
(K ⁴ , Fe, C ⁶ , N ⁶)	156 + 56 + 72 + 84 = 368	157300	145300
(H ⁴ , Fe, C ⁶ , N ⁶)	4 + 56 + 72 + 84 = 216	102000	101500
(K ³ , Fe, C ⁶ , N ⁶)	117 + 56 + 72 + 84 = 329	129600	100800
(H ³ , Fe, C ⁶ , N ⁶)	3 + 56 + 72 + 84 = 215		—127400

Теплоты образованія амальгамъ.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекулярная теплота образованія.	Въ раз- бавлен. видѣ.
(Hg ¹² , K)	2400 + 39 = 2439	34600	25600
(Hg ⁴ , K)	800 + 39 = 839	29700	25600
(Hg ⁶ , Na)	1200 + 23 = 1223	21900	19000
(Hg ^x , Au)	x + 197 = 197 + x		2580
(Hg ^x , Ag)	x + 108 = 108 + x		2470

Теплоты образованія сплавовъ.

Формула.	Молекулярный вѣсъ.	Молекулярная теплота образованія.	Въ раз- бавлен. видѣ.
(Cu, Zn ²)	63,6 + 130 = 193,6	10143	
(Cu, Zn) .	63,6 + 65 = 128,6	5783	
(Cu ³ , Al) .	190,8 + 27 = 217,8	26910	
(Cu ² , Al) .	127,2 + 27 = 154,2	21278	
(Cu ³ , Al ²)	190,8 + 54 = 244,8	17395	
(Cu, Al) .	63,6 + 27 = 90,6	1887	
(Cu ² , Al ³)	127,2 + 81 = 208,2	10196	
(Cu, Al ²) .	63,6 + 54 = 117,6	—6738	

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Теплоты образованія.

О к и с л ы.

	Въ разбавленномъ видѣ.					
	На 1 элемента.	На 1 кислорода.	На 1 соединенія.	На 1 элемента.	На 1 кислорода.	На 1 соеди- ненія.
Mg O .	5975	8963	3585	6200	9300	3720
Ba O .	974	8338	872	1179	10938	1051
Ca O .	3288	8219	2348	3740	9350	2671
Sr O .	1508	8200	1274	1821	9900	1538
Al ² O ³ .	7270	8179	3849	—	—	—
Na ² O .	2193	6306	1627	3389	9744	2515
K ² O .	1259	6138	1045	2118	10325	1758
Si O ² .						
Mn O .	1653	5681	1280		—	—
B ² O ³ .	12391	5679	3894	12723	5831	3999
Zn O .	1305	5300	1058	—	—	—
Mn ³ O ⁴	1988	5125	1434		—	—
P ² O ⁵ .	5895	4566	2572	—	—	—
Ba O ² .	1062	4542	861	—	—	—
Sn O .	599	4419	527	—	—	—
Sn O ² .	1197	4416	942	—	—	—
CO ² (изъ CO, O)	2430	4253	1546	2641	4621	1680
H ² O .	—	—	—	—	—	—
Твердое тѣло	35200	4400	3911	—	—	—
Жидкость.	34500	4313	3833	—	—	—
Газъ.	29030	3629	3226	—	—	—
Fe ³ O ⁴ .	1612	4231	1167	—	—	—
Cd O .	592	4144	518	—	—	—
Fe O .	1173	4106	913	—	—	—
Fe ² O ³ .	1746	4075	1223	—	—	—
Co O .	1086	4006	855	—	—	—
Mn O ² .	2278	3916	1440	—	—	—
Ni O .	1051	3844	826	—	—	—
Sb ² O ³ .	695	3479	580	—	—	—
As ² O ³	1043	3258	790	993	3102	752
Pb O .	245	3175	228	—	—	—

	Въ разбавленномъ видѣ.					
	На 1 элемента.	На 1 кислорода.	На 1 соединенія.	На 1 элемента.	На 1 кислорода.	На 1 соеди- ненія.
C O ² (изъ C) .	8100	3038	2209	8592	3222	2343
Bi ² O ³ .	335	2900	300	—	—	—
Sb ² O ⁵ .	963	2890	723	—	—	—
As ² O ⁵ .	1463	2743	954	1503	2818	980
Cu ² O .	344	2738	306	—	—	—
Tl ² O .	105	2675	101	97	2481	94
Cu O . .	593	2356	474	—	—	—
S O ² (газъ) .	2164	2164	1082	2425	2425	1213
Pb O ² . .	306	1981	265	—	—	—
S O ³ .	2872	1915	1149	4406	2938	1763
Tl ² O ³ . .	215	1825	192	—	—	—
C O (газъ)	2430	1823	1041	—	—	—
S O ³ (Изъ S O ² & O)	354	1415	283	991	3963	793
Hg ² O . . .	56	1388	53	—	—	—
Hg O .	108	1344	100	—	—	—
Te O ² .	—	—	—	624	2447	497
Pd O .	198	1313	172	—	—	—
Pt O .	87	1063	81	—	—	—
Pb O ² (Изъ Pb O & O)	56	788	53	—	—	—
Ba O ² (Изъ Ba O & O) .	79	756	72	—	—	—
Ag ² O . . .	32	438	30	—	—	—
Au ² O ³ .	—29	—240	—26	—	—	—

Г и д р а т ы.

	Въ разбавленномъ видѣ.					
	На 1 окисла.	На 1 воды.	На 1 соединенія.	На 1 окисла.	На 1 воды.	На 1 соеди- ненія.
Mg O. H ² O	135	300	93	—	—	—
Sr O. H ² O	166	950	141	264	1511	225
Ca O. H ² O	270	839	204	323	1006	245
K ² O. H ² O	447	2333	375	713	3722	598
Na ² O. H ² O	573	1972	444	887	3056	688
Al ² O ³ . 3H ² O	29	56	19	—	—	—
S O ³ . H ² O	391	1739	319	616	2739	503
N ² O ⁵ . H ² O	9	56	8	—	—	—
Tl ² O. H ² O	7	167	7	—	—	—
Bi ² O ³ . 3H ² O	6	—52	5	—	—	—

Сѣрнистыя соединенія.

	Въ разбавленномъ видѣ.					
	На 1 элемента.	На 1 сѣры.	На 1 соединенія.	На 1 элемента.	На 1 сѣры.	На 1 соеди- ненія.
Li ² S			—	8244	3606	2509
K ² S	1327	3234	941	1455	3547	1032
Ba S	751	3216	609	801	3431	650
Sr S	1141	3103	834	1226	3334	897
Ca S	2358	2947	1310	2515	3144	1397
Na ² S	2152	2791	1145	2267	3259	1337
Mg S	3308	2481	1418		—	—
Mn S	829	1425	524		—	—
Zn S	662	1344	443	—	—	—
Al ² S ³	2341	1317	843	—	—	—
Cd S	307	1075	239	—	—	—
Fe S	428	750	273	—	—	—
Co S	371	685	241	—	—	—
Tl ² S	106	675	92	—	—	—
Cu ² S	160	634	127		—	—
Pb S	98	631	85	—	—	—
Si S ²	1429	625	435	—	—	—
Ni S	333	609	215	—	—	—
Sb ² S ³	143	358	102	—	—	—
Hg S	53	331	46	—	—	—
Cu S	159	316	106	—	—	—
H ² S (газъ)	2400	150	141	4750	297	279
Ag ² S	14	94	12	—	—	—
C S ² (газъ)	—2117	—397	—334	—	—	—

Фтористыя соединенія.

	Въ разбавленномъ видѣ.					
	На 1 элемента.	На 1 фтора.	На 1 соединенія.	На 1 элемента.	На 1 фтора.	На 1 соеди- ненія.
Sr F ²	2575	5898	1792	—	—	—
Ba F ²	1635	5895	1280	1617	5829	1266
Li F	—	—	—	16696	6151	4496
K F	2821	5789	1897	2913	5979	1959
Ca F ²	5411	5696	2775	—	—	—
Mg F ²	8729	5513	3379	—	—	—
Na F	4770	5775	2612	4744	5743	2598
N H ⁴ F	5625	5329	2736	5542	5250	2696
Al F ³	—	—	—	10193	4828	3276
B F ³	—	—	—	19940	3848	3226

	Въ разбавленномъ видѣ.					
	На 1 элемента.	На 1 фтора.	На 1 соединенія.	На 1 элемента.	На 1 фторы.	На 1 соедине- нiя.
Mn F ²	—	—	—	2787	4034	1648
Zn F ²	—	—	—	2127	3637	1342
Si F ⁴	9854	3631	2653	—	—	—
			(газъ)			
Fe F ²	—	—	—	2236	3295	1332
Cd F ²	—	—	—	1087	3203	811
Co F ²	—	—	—	2040	3167	1241
Ni F ²	—	—	—	2034	3131	1233
Fe F ³	—	—	—	2947	2894	1460
Tl F	—	—	—	267	2863	244
Pb F ²	491	2674	415	—	—	—
H F	38500	2026	1925	50300	2647	2515
			(газъ)			
Sb F ³	—	—	—	1139	2398	772
Cu F ²	—	—	—	1386	2320	868
Ag F.	204	1162	174	236	1341	201

Хлористыя соединенія.

	Въ разбавленномъ видѣ.					
	На 1 элемента.	На 1 хлора.	На 1 соединенія.	На 1 элемента.	На 1 хлора.	На 1 соедине- нiя.
K Cl	2710	2977	1419	2595	2879	1358
Be Cl ²	17222	2183	1938	22167	2810	2494
Ba Cl ²	1439	2776	948	1447	2793	953
Na Cl	4257	2758	1674	4200	2721	1651
Li Cl.	13414	2645	2209	14614	2882	2407
Sr Cl ²	2123	2601	1169	2251	2758	1240
Ca Cl ²	4248	2393	1531	4685	2639	1688
N H ⁴ Cl.	4267	2192	1209	4044	2051	1146
Mg Cl ²	6300	2129	1592	7796	2635	1969
Al Cl ³	5993	1519	1212	8819	2236	1784
Mn Cl ²	2037	1577	889	2327	1803	1016
Zn Cl ²	1498	1372	716	1738	1592	831
Tl Cl.	238	1369	203	188	1082	1060
Cd Cl ²	837	1320	512	861	1358	527
Pb Cl ²	405	1182	302	376	1097	280
Fe Cl ²	1468	1158	647	1788	1410	788
Sn Cl ²	686	1139	428	—	—	—
Co Cl ²	1300	1080	590	1610	1338	731
Ni Cl ²	1277	1052	577	1605	1323	725

	Въ разбавленномъ видѣ.					
	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.	На 1 окисла.	На 1 кисоты.	На 1. соеди- ненія.
Cu Cl	557	997	358	—	—	—
Sn Cl ⁴	1100	914	499	—	—	—
			(жидкость)			
Fe Cl ³	1717	903	592	2283	1200	787
Hg Cl	157	882	133	—	—	—
Sb Cl ³	762	858	404	—	—	—
Bi Cl ³	437	853	289	—	—	—
Si Cl ⁴	4600	907	758	—	—	—
			(газъ)			
B Cl ³	8100	837	758	—	—	—
			(газъ)			
Ag Cl	269	817	202	—	—	—
Hg Cl ²	267	751	197	252	708	185
Cu Cl ²	808	724	382	983	880	464
As Cl ³	953	671	394	—	—	—
H Cl	22000	620	603	39400	1110	1080
Sb Cl ⁵	871	589	351	—	—	—
			(жидкость)			
Pd Cl ²	382	570	229	—	—	—
Pt Cl ⁴	308	424	179	409	562	237
Au Cl ³	116	214	75	138	255	90
Au Cl	29	163	25	—	—	—

Углекислыя соединенія.

Реакція RO. CO².

	Въ разбавленномъ видѣ.					
	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.
BaO. CO ²	364	1266	282	—	—	—
K ² O. CO ²	922	1970	628	216	461	147
SrO. CO ²	515	1205	361	—	—	—
CaO. CO ²	806	1026	451	—	—	—
Na ² O. CO ²	1219	1718	713	328	461	192
MgO. CO ²	733	666	349	—	—	—
MnO. CO ²	313	505	193	—	—	—
ZnO. CO ²	191	352	124	—	—	—
FeO. CO ²	346	566	215	—	—	—
CdO. CO ²	154	448	115	—	—	—
PbO. CO ²	99	500	83	—	—	—
CuO. CO ²	140	255	91	—	—	—
Ag ² O. CO ²	82	445	71	—	—	—

Азотнокислыя соединенія.

Реакція $RO. N^2O^5$.

	На 1 соединенія.			Въ разбавленномъ видѣ.		
	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соединенія.	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соединенія.
$K^2O. N^2O^5$	1500	1306	698	294	256	137
$Na^2O. N^2O^5$	1963	1127	716	443	255	162
$ZnO. N^2O^5$	—	—	—	226	169	97
$PbO. N^2O^5$	250	517	168	84	174	57
$CuO. N^2O^5$	—	—	—	188	139	80
$H^2O. N^2O^5$	56	9	8	—	—	—
$Ag^2O. N^2O^5$	222	478	152	45	96	31

Фосфорно-кислыя соединенія.

Реакція $3 RO. P^2O^5$.

	На 1 соединенія.			Въ разбавленномъ видѣ.		
	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соединенія.	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соединенія.
$3 Ca O. P^2O^5$	949	1123	514	—	—	—
$3 Mg O. P^2O^5$	959	811	439	—	—	—
$3 Na^2O. P^2O^5$	1273	1668	722	—	—	—

Силикаты.

Реакція $RO. SiO^2$.

	На 1 соединенія.			Въ разбавленномъ видѣ.		
	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соединенія.	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соединенія.
$BaO. SiO^2$	96	245	69	—	—	—
$CaO. SiO^2$	319	298	154	—	—	—
$2 CaO. SiO^2$	253	472	165	—	—	—
$3 CaO. SiO^2$	170	476	125	—	—	—
$SrO. SiO^2$	174	298	110	—	—	—
$Al^2O^3. 2 SiO^2$	146	124	67	—	—	—
$Na^2O. SiO^2$	729	753	371	—	—	—
$3CaO. Al^2O^3. 2SiO^2$	288	404	124	—	—	—
(CaO)	475					
(Al ² O ³)						
$2H^2O. Al^2O^3. 2SiO^2$	1023	307	143	—	—	—
(H ² O)	361					
(Al ² O ³)						
$Mn O. Si O^2$	76	90	41	—	—	—
$Fe O. Si O^2$	124	148	67	—	—	—

Алюминаты.

Реакція $RO. Al^2O^3$.

	На 1 оксила.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.	Въ разбавленномъ видѣ.		
				На 1 оксила.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.
Ca O. Al^2O^3	8	4	3	—	—	—
2Ca O. Al^2O^3	29	32	15	—	—	—
3Ca O. Al^2O^3	12	19	7	—	—	—

Сѣрно-кислыя соединенія.

Реакція $RO. SO^3$.

	На 1 оксила.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.	Въ разбавленномъ видѣ.		
				На 1 оксила.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.
$K^2 O. SO^3$	1640	1925	886	335	394	181
Ba O. SO^3	746	1426	490	—	—	—
Sr O. SO^3	1040	1339	585	—	—	—
$Na^2O. SO^3$	2182	1691	953	510	395	226
Ca O. SO^3	1679	1175	692	557	390	229
Mg O. SO^3	1640	820	547	783	391	261
$Al^2O^3.3SO^3$	—	—	—	2073	880	619
Mn O. SO^3	938	833	441	1133	1005	533
Zn O. SO^3	653	661	328	880	891	442
Fe O. SO^3	—	—	—	392	353	185
Co O. SO^3	—	—	—	317	298	153
Ni O. SO^3	—	—	—	352	328	170
$Fe^2O^3.3SO^3$	—	—	—	199	133	80
$Tl^2 O. SO^3$	206	1087	174	77	410	65
Cd O. SO^3	482	771	296	577	917	352
Pb O. SO^3	327	913	558	—	—	—
$H^2 O. SO^3$	1606	374	295	2606	590	679
Cu O. SO^3	655	651	328	852	848	427
$Hg^2O. SO^3$	146	761	122	—	—	—
$Ag^2O. SO^3$	294	853	217	275	797	203
Hg O. SO^3	239	646	174	—	—	—

Борнокислыя соединенія.

Реакція $RO. B^2O^3$.

	На 1 оксила.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.	Въ разбавленномъ видѣ.		
				На 1 оксила.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.
$Na^2O. (B^2O^3)^2$	1645	729	505	687	304	211

Амальгамы.

Реакція R. Hg.

				Въ разбавленномъ видѣ.		
	На 1 элемента.	На 1 ртути.	На 1 соеди- ненія.	На 1 элемента.	На 1 ртути.	На 1 соеди- ненія.
Hg ¹² K	14	887	14	11	656	10
Hg ⁴ K	37	762	35	32	656	31
Hg ⁶ Na	18	952	18	16	826	16
Hg ⁴ Av	—	—	—	—	13	—
Hg ⁴ Ag	—	—	—	—	23	—

Сплавы.

				Въ разбавленномъ видѣ.		
	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.	На 1 окисла.	На 1 кислоты.	На 1 соеди- ненія.
(Cu Zn ²)	160	78	52	—	—	—
(Cu Zn) .	91	89	45	—	—	—
(Cu ³ Al) .	141	997	124	—	—	—
(Cu ² Al) .	167	788	138	—	—	—
(Cu Al ²) .	91	322	71	—	—	—
(Cu Al) .	30	70	21	—	—	—
(Cu ² Al ³) .	80	126	49	—	—	—
(Cu Al ²) .	106	124	57	—	—	—

ГЛАВА III.

Пользованіе термохимическими данными.

Простыя соединенія.

Если требуется опредѣлить количество, выдѣленной или поглощенной, теплоты, при дѣйствіи извѣстнаго количества одного элемента на другой, то рѣшеніе сводится къ простому дѣленію и умноженію, произведенному надъ данными взятыми изъ таблицъ. Такъ на примѣръ пусть требуется опредѣлить общее количество выдѣленной теплоты въ задачѣ № 3 т. е. при окисленіи происходящемъ въ бессемеровскомъ конверторѣ.

100 кгр. С	сгораетъ въ	CO ²
200 » С	»	»
50 » Mn	»	MnO
150 » Si	»	SiO ²
500 » Fe	»	FeO

Рѣшеніе представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$\begin{aligned} 100 \times \frac{97200}{12} &= 100 \times 8100 = 810000 \text{ Cal.} \\ 200 \times \frac{29160}{12} &= 200 \times 2430 = 486000 \text{ »} \\ 50 \times \frac{90900}{55} &= 50 \times 1653 = 82650 \text{ »} \\ 150 \times \frac{180000}{28} &= 150 \times 6429 = 964350 \text{ »} \\ 500 \times \frac{65700}{56} &= 500 \times 1173 = 586500 \text{ »} \\ \hline \text{Итого} & 2929500 \text{ Cal.} \end{aligned}$$

Сложныя соединенія.

Если два химическихъ соединенія, дѣйствуя другъ на друга, даютъ третье,—то поступаютъ слѣдующимъ образомъ:

Въ таблицѣ находятъ количество тепла, соотвѣтствующее окончательному продукту, но составленному изъ элементовъ, и отсюда вычитаютъ теплоты образованія промежуточныхъ соединеній,—остатокъ будетъ искомая теплота образованія сложнаго соединенія.

Пусть требуется опредѣлить какое количество тепла выдѣляется при соединеніи MnO и FeO съ SiO^2 образуя шлакъ. Вычисленіе представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$(Mn, Si, O^3) = 276300 \text{ Cal.}$$

$$(Mn, O) = 90900 \text{ »}$$

$$(Si, O^2) = 180000 \text{ »}$$

слѣдовательно:

$$(Mn, SiO^2) = 276300 - (90900 + 180000) = 5400,$$

а 1 кгр. MnO соотвѣтствуетъ:

$$\frac{5400}{71} = 76 \text{ Cal.}$$

Точно также:

$$(Fe, Si, O^3) = 254600 \text{ Cal.}$$

$$(Fe, O) = 65700 \text{ »}$$

$$(Si, O^2) = 180000 \text{ »}$$

слѣдовательно:

$$(FeO, SiO^2) = 254600 - (65700 + 180000) = 8900,$$

а 1 кгр. FeO соотвѣтствуетъ:

$$\frac{8900}{72} = 124 \text{ Cal.}$$

Въ предыдущей задачѣ (№ 3) образовалось 64,5 кгр. MnO и 642,8 кгр. FeO , слѣдовательно при соединеніи этихъ основаній съ SiO^2 выдѣлится:

$$MnO, SiO^2 . . . 64,5 \times 76 = 4902 \text{ Cal.}$$

$$FeO, SiO^2 . . . 642,8 \times 124 = 79707 \text{ »}$$

$$\text{Итого } \underline{84609 \text{ Cal.}}$$

Это будетъ теплота выдѣляющаяся при образованіи шлака.

Подобнымъ образомъ можно вычислить теплоту образованія всякой соли назвавъ черезъ MO —основаніе мы получимъ:

$$(MO, SiO^2) = (M, Si, O^3) - (M, O) - (Si, O^2)$$

$$(MO, SO^3) = (M, S, O^4) - (M, O) - (S, O^3)$$

$$(MO, CO^2) = (M, C, O^3) - (M, O) - (C, O^2)$$

$$(3 MO, P^2O^5) = (M^3, P^2, O^8) - 3 (M, O) - (P^2, O^5)$$

Примѣръ: Какое количество тепла требуется для обжига известняка:

$$(CaO, CO^2) = (Ca, C, O^3) - (Ca, O) - (C, O^2)$$

$$= 273850 - 131500 - 97200$$

$$= 45150 \text{ Cal.}$$

Это относится къ 100 кгр. CaCO_3 , дающимъ 56 кгр. CaO и 44 кгр. CO_2 . Слѣдовательно:

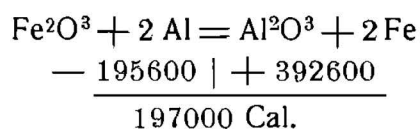
$$\begin{array}{rcl} \text{на 1 кгр. CaCO}_3 \text{ приходится} & \frac{45150}{100} = & 451,5 \text{ Cal.} \\ \text{» CaO} & \frac{45150}{56} = & 806 \text{ »} \\ \text{» CO}_2 & \frac{45150}{44} = & 1026 \text{ »} \end{array}$$

Двойное разложеніе.

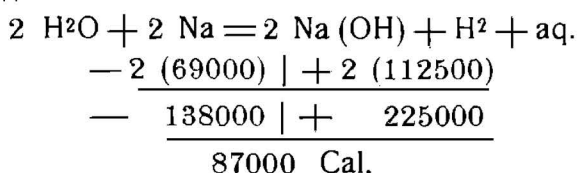
Написавъ реакцію, подсчитываютъ теплоту образованія изъ элементовъ обоихъ членовъ уравненія. Разница представляетъ изъ себя выдѣленную или поглощенную теплоту двойного разложенія отнесенную къ молекулярнымъ вѣсамъ.

Примѣры:

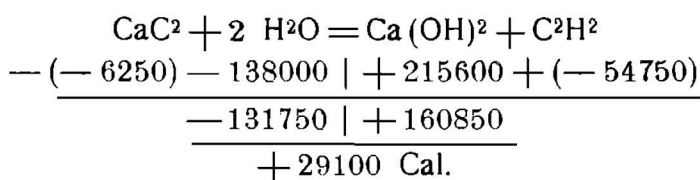
а. Какое количество тепла выдѣляется въ термическомъ процессѣ Гольдшмидта представляющимъ изъ себя возстановленіе окиси желѣза алюминіемъ.



б. Опредѣлимъ количество тепла выдѣляемаго при дѣйствіи натрія на избытокъ воды:



с. Какое количество тепла выдѣляется при дѣйствіи воды на карбидъ кальція съ образованіемъ ацетилена:



Если бы вода была въ большемъ избыткѣ, позволяющемъ гидрату кальція раствориться, то количество, выдѣленной реакціей, теплоты было бы немного больше, а именно 33000 Cal., такъ какъ вмѣсто 215600, для теплоты образованія и растворенія Ca (OH)_2 , надо было бы взять 2195000 Cal.

д. Опредѣлить теплоты горѣнія газообразныхъ углеводородовъ, относя ихъ къ 1 куб. м. газа, причемъ пары воды предполагаются не конденсированными, молекулярный же объемъ газовъ, какъ извѣстно, 22,22 куб. м.

	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$			
	$- 22250 \quad | \quad + 97200 \quad + 2 (58\cdot060)$	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	$+ 191070 \text{ Cal.}$	
или	8598 Cal. на 1 куб. м. CH_4 .			
	$2 \text{C}^2 \text{H}_6 + 7 \text{O}_2 = 4 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$			
	$- 2 (26650) \quad | \quad + 4 (97200) \quad + 6 (58\cdot060)$	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	$+ 683860 \text{ Cal.}$	
или	15387 Cal. на 1 куб. м. $\text{C}^2 \text{H}_6$.			
	$\text{C}^3 \text{H}_8 + 5 \text{O}_2 = 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$			
	$- 33850 \quad | \quad + 3 (97200) \quad + 4 (58\cdot060)$	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	$+ 489990 \text{ Cal.}$	
или	22050 Cal. на 1 куб. м. $\text{C}^3 \text{H}_8$.			

Подобнымъ образомъ легко составить нижеслѣдующую таблицу:

Название горючаго и формула.	Молекулярная теплота горѣнія. Cal.	Теплота горѣнія 1 куб. м. газа. Cal.
Метанъ CH_4	(газъ) 191070	8598
Этанъ C^2H_6	(газъ) 341930	15387
Пропанъ C^3H_8	(газъ) 489900	22050
Этиленъ C^2H_4	(газъ) 321770	14480
Пропиленъ C^3H_6	(газъ) 471830	21232
Толюэнъ C^7H_8	(жидк.) 906990	—
Бензенъ C^6H_6	жидкость 758130	—
	газъ 765330	34440
Терпентинъ $\text{C}^{10}\text{H}^{16}$	жидк. 1428930	—
	газъ 1438330	64725
Нафталинъ C^{10}H^8	тверд. т. 1223690	—
	жидк. 1228290	—
Антраценъ $\text{C}^{14}\text{H}^{10}$	(тверд.) т. 1690150	—
Ацетиленъ C^2H^2	(газъ) 365270	16437
Метиль-алкоголь CH_4O	жидк. 148270	—
	газъ 156670	7050
Этиль-алкоголь $\text{C}^2\text{H}^6\text{O}$	жидк. 295300	—
	газъ 305430	13744
Ацетонъ $\text{C}^3\text{H}^6\text{O}$	жидк. 396130	—
	газъ 403630	18163
Окись углерода CO	(газъ) 68040	3062
Водородъ H^2	(газъ) 58060	2613
Сѣрнистый водородъ H^2S	(газъ) 122520	5513

з*

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Теплопроизводительная способность горючих материаловъ.

Вычисленіе теплопроизводительной способности горючихъ матеріаловъ производится на основаніи вышеизложенныхъ принциповъ. Обыкновенно вода остается въ неконденсированномъ видѣ, а поэтому въ вычисленіяхъ не приходится пользоваться скрытой теплотой испаренія.

Задача № 4.

Анализъ натурального газа изъ Кокомо, штата Индіана, далъ слѣдующіе результаты:

CH ⁴	. 94,16 0/0	CO	. 0,55 0/0
C ² H ⁴	. 0,30 0/0	CO ²	. 0,27 0/0
H ²	. 1,42 0/0	O ²	. 0,32 0/0
H ² S	0,18 0/0	N ² .	. 2,80 0/0

Требуется вычислить теплопроизводительную способность 1 куб. м. этого газа.

Обращаясь къ только что приведенной таблицѣ теплотъ горѣнія мы получимъ для теплопроизводительной способности 1 куб. м. газа:

CH ⁴ .	0,9416	×	8598	=	8095,9 Cal.
C ² H ⁴	0,0030	×	14480	=	43,4 »
H ²	0,0142	×	2613		37,1 »
H ²	0,0018	×	5513		9,9 »
CO .	0,0055	×	3062		16,8 »
			Всего		8203,1 Cal.

Теплопроизводительная способность углей.

Самое лучшее произвести калориметрическое наблюденіе. Изъ общаго количества выдѣлившагося тепла слѣдуетъ вычесть то, которое относится къ скрытой теплотѣ водяныхъ паровъ (при комнатной температурѣ). Напримѣръ:

Одному грамму сожженного въ калориметрѣ угля соотвѣтствовало выдѣленіе 8215 малыхъ Cal., при чемъ сконденсировалось 0,45 гр. воды, опредѣлить дѣйствительную теплопроизводительную способность угля.

Беря для скрытой теплоты 1 грамма водяныхъ паровъ (при 0°), данную Ренье цифру 606,5 малыхъ Cal., мы получимъ для 0,45 гр. — 273 мал. Cal., каковыя и слѣдуетъ исключить изъ 8215; такимъ образомъ дѣйствительная теплопроизводительность угля будетъ 7942 Cal.

Приведемъ теперь приближенный способъ расчета теплопроизводительной способности угля, данный Дюлонгомъ и Пети, если извѣ-

стенъ лишь его элементарный анализъ. Возьмемъ для примѣра уголь задачи № 1, составъ котораго былъ:

С .	73,60%	N . .	1,70%
H .	5,30%	Влага	0,60%
O .	10,00%	Зола . . .	8,05%
S	0,75%	Всего . .	100,00%

Углеродъ сгорая полностью выдѣлится:

$$0,7360 \times 8100 = 5962 \text{ Cal.}$$

Присутствующій кислородъ въ размѣрѣ 10% связываетъ 0,0125 кгр. водорода слѣдовательно, свободными для дальнѣйшаго горѣнія, остается:

$$0,0530 - 0,0125 = 0,0405 \text{ кгр. H}^2.$$

Эти 0,0405 кгр. H², образуя воду, (жидкость) — выдѣляютъ:

$$0,0405 \times 3450 = 1397 \text{ Cal.}$$

Кромѣ того 0,0075 кгр. S сгорая выдѣляютъ:

$$0,0075 \times 2164 = 17 \text{ Cal.}$$

Итакъ — на 1 кгр. сожженного угля придется:

$$5962 + 1397 + 17 = 7376 \text{ Cal.}$$

Изъ этого количества слѣдуетъ исключить скрытую теплоту, образовавшихся при горѣнии, водяныхъ паровъ (теоретически при 0°). Всего водяныхъ паровъ будетъ:

Отъ содержавшейся влаги	0,0060 кгр.
Отъ водорода, уже связаннаго съ O	0,1125 »
Отъ свободного водорода . . .	0,3645 »
Всего	0,4830 кгр.

Ихъ скрытая теплота будетъ:

$$0,4830 \times 606,5 = 293 \text{ Cal.}$$

Такимъ образомъ дѣйствительная теплопроизводительная способность 1 кгр. даннаго угля будетъ:

$$7376 - 293 = 7083 \text{ Cal.}$$

Теоретическая температура горѣнія.

Если извѣстно количество выдѣлившейся при горѣнии теплоты, количество продуктовъ горѣнія и ихъ средняя теплоемкость между 0° и искомой температурой горѣнія (эмпирическая функція) то самую температуру горѣнія опредѣлить не трудно (въ большинствѣ случаевъ изъ квадратнаго уравненія).

До послѣдняго времени было очень мало данныхъ относительно удѣльной теплоты тѣлъ при высокой температурѣ, а слѣдовательно и законъ измѣненія теплоемкости съ температурой оставался неизвѣстенъ. Очень часто теплоемкость бралась за величину постоянную отъ чего нерѣдко получались весьма крупныя разногласія между теоріей и практикой. Le Chatelier et Mallard много поработали надъ этимъ вопросомъ и теперь мы имѣемъ въ рукахъ данныя позволяющія гораздо болѣе приблизиться къ истинѣ.

Лешателье и Малларъ даютъ слѣдующія эмпирическія формулы для удѣльной теплоты S при t° , одного кубическаго метра слѣдующихъ газовъ:

$$\begin{aligned} \text{Для } N^2, O^2, H^2 \text{ и } CO & \dots S = 0,303 + 0,000054 t \\ \text{» } CO^2 & \dots S = 0,37 + 0,00044 t \\ \text{» паровъ } H^2O & \dots S = 0,34 + 0,00030 t \end{aligned}$$

Однако въ расчетахъ намъ почти всегда приходится сталкиваться не съ удѣльной теплотой при t° , а со среднею удѣльною теплотою— S_m между 0° и t° . Для тѣхъ-же газовъ мы имѣемъ для S_m :—

$$\begin{aligned} \text{Для } N^2, O^2, H^2 \text{ и } CO & \dots S_m = 0,303 + 0,000027 t \\ \text{» } CO^2 & \dots S_m = 0,37 + 0,00022 t \\ \text{» паровъ } H^2O & \dots S_m = 0,34 + 0,00015 t \end{aligned}$$

Количество теплоты въ калоріяхъ повышающее температуру 1 куб. м. газа съ 0° до t° — $Q_{(0-t)}$ будетъ:

$$\begin{aligned} \text{Для } N^2, O^2, H^2 \text{ и } CO & \dots Q_{(0-t)} = 0,303 t + 0,000027 t^2 \\ \text{» } CO^2 & \dots Q_{(0-t)} = 0,37 t + 0,00022 t^2 \\ \text{» паровъ } H^2O & \dots Q_{(0-t)} = 0,34 t + 0,00015 t^2 \end{aligned}$$

Для поднятія-же температуры того-же количества газовъ съ t° до t'° потребуется:

$$\begin{aligned} \text{Для } N^2, O^2, H^2 \text{ и } CO & \dots Q_{(t-t')} = 0,303 (t'-t) + 0,000027 (t'^2 - t^2) \\ \text{» } CO^2 & \dots Q_{(t-t')} = 0,37 (t'-t) + 0,00022 (t'^2 - t^2) \\ \text{» паровъ } H^2O & \dots Q_{(t-t')} = 0,34 (t'-t) + 0,00015 (t'^2 - t^2) \end{aligned}$$

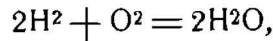
Средняя-же теплоемкость между двумя какими-либо температурами t и t' — $S_{m(t-t')}$ будетъ:

$$\begin{aligned} \text{Для } N^2, O^2, H^2 \text{ и } CO & \dots S_{m(t-t')} = 0,303 + 0,000027 (t' + t) \\ \text{» } CO^2 & \dots S_{m(t-t')} = 0,37 + 0,00022 (t' + t) \\ \text{» паровъ } H^2O & \dots S_{m(t-t')} = 0,34 + 0,00015 (t' + t) \end{aligned}$$

Примѣры:

1) Какова будетъ наивысшая температура пламени водородо-кислородной горѣлки?

ГорѢнія происходитъ согласно реакціи:



слѣдовательно объемъ образовавшихся паровъ воды равенъ объему водорода; намъ извѣстно, что 1 куб. м. водорода выдѣляетъ при горѢніи 2613 Cal., задачу можно слѣдовательно перефразировать такъ:— До какой температуры могутъ 2613 Cal., поднять 1 куб. м. паровъ воды?

t опредѣлится изъ уравненія:

$$Q_{(0-t)} = 2613 = 0,34 t + 0,00015 t^2$$

откуда:

$$t = 3191^\circ$$

2) Какова будетъ наивысшая температура пламени водорода, горящаго въ сухомъ воздухѣ.

Очевидно что количество, выдѣлившейся при горѢніи 1 куб. м. водорода, теплоты будетъ опять 2613 Cal., продукты-же горѢнія будутъ: Кромѣ 1 куб. м. водяныхъ паровъ, еще и тотъ объемъ азота, который сопровождаетъ, необходимые для горѢнія, 0,5 куб. м. кислорода, т. е.:

$$\frac{0,5}{0,208} \cdot 0,5 = 1,9 \text{ куб. м. азота}$$

t опредѣлится, слѣдовательно, изъ уравненія:

$$Q_{(0-t)} = 2613 = (0,34 t + 0,00015 t^2) + 1,9 (0,303 t + 0,000027 t^2)$$

откуда:

$$t = 2010^\circ$$

3) Какова будетъ температура пламени водорода если для поддержания горѢнія употребляется 25% избытка воздуха.

Количество теоретически необходимаго воздуха будетъ, какъ опредѣлено выше:

$$0,5 + 1,9 = 2,4 \text{ куб. м.}$$

слѣдовательно объемъ продуктовъ горѢнія увеличится на:

$$0,25 \times 2,4 = 0,6 \text{ куб. м.}$$

воздуха, имѣющаго съ азотомъ одну и ту-же теплоемкость.

Такимъ образомъ новое уравненіе для опредѣленія t будетъ:

$$Q_{(0-t)} = 2613 = (0,34 t + 0,00015 t^2) + 2,5 (0,303 t + 0,000027 t^2)$$

откуда:

$$t = 1764^\circ$$

Изъ вышеприведенныхъ расчетовъ ясно выступаетъ то большое значеніе, которое имѣетъ точная регулировка потребнаго для горѢнія воздуха.

Горѣніе, предварително нагрѣтаго горючаго съ нагрѣтымъ воздухомъ.

Очевидно что температура пламени повысится на столько, на сколько въ состояніи, добавочное количество тепла, повысить температуру продуктовъ горѣнія. Возьмемъ для сравненія слѣдующіе примѣры:

- a. Горѣніе холодной окиси углерода съ холоднымъ воздухомъ.
- b. Холодной CO съ воздухомъ нагрѣтымъ до 700° .
- c. Если оба: CO и воздухъ предварително нагрѣты до 700° .

Рѣшеніе:

a. При горѣніи 1 куб. м. CO выдѣляется 3062 Cal. и продукты горѣнія состоятъ изъ 1 куб. м. CO_2 и 1,904 куб. м. азота.

Слѣдовательно:

$$\begin{aligned} \text{Теплота въ 1 куб. м. } CO_2 & = 0,37 \text{ t} + 0,00022 \text{ t}^2 \\ \text{» } \text{» } 1,904 \text{ куб. м. } N_2 & = 0,577 \text{ t} + 0,0000514 \text{ t}^2 \\ \text{» } \text{» } \text{продуктахъ горѣнія} & . . = 0,947 \text{ t} + 0,0002714 \text{ t}^2 \end{aligned}$$

и мы получимъ уравненіе:

$$3062 = 0,947 \text{ t} + 0,0002714 \text{ t}^2$$

откуда:

$$t = 2050^{\circ}$$

b. Если, необходимые для горѣнія 2,404 куб. м. воздуха, будутъ предварително нагрѣты до 700° то добавочное количество тепла будетъ:

$$Q_{(o-700)} = 2,404 [0,303 (700) + 0,000027 (700)^2] = 552 \text{ Cal.}$$

слѣдовательно теплота въ продуктахъ горѣнія будетъ:

$$3062 + 552 = 3614 \text{ Cal.}$$

и t опредѣлится изъ уравненія:

$$3614 = 0,947 \text{ t} + 0,0002714 \text{ t}^2$$

откуда:

$$t = 2189^{\circ}$$

c. Если, кромѣ того, окись углерода тоже подогрѣта до 700° , то къ 3614 Cal. еще прибавится:

$$Q_{(o-700)} = [0,303 (700) + 0,000027 (700)^2] = 225 \text{ Cal.}$$

и слѣдовательно:

$$3839 = 0,947 \text{ t} + 0,0002714 \text{ t}^2$$

откуда:

$$t = 2284^{\circ}$$

Задача № 5.

Пусть имѣется натуральный газъ (изъ Кокомо, штата Индіана) содержащій по анализу (объемному):

Метана	CH ⁴	94,16%	CO	0,55%
Этилена	C ² H ⁴	0,30 »	CO ²	0,27 »
	H ²	1,42 »	O ²	0,32 »
	H ² S	0,18 »	N ²	2,80 »

Требуется опредѣлить:

- 1) Наивысшую температуру пламени при горѣніи холоднаго газа съ холоднымъ воздухомъ въ теоретически необходимомъ количествѣ.
- 2) Если воздухъ предварительно нагрѣтъ до 1000°.
- 3) Если употребляется избытокъ воздуха въ 25%, причемъ воздухъ имѣетъ до горѣнія температуру въ 1000°.

Рѣшеніе:

Теплопроизводительная способность 1 куб. м. этого газа была уже вычислена въ задачѣ № 4 и равна 8203 Cal. Газъ не подвергается предварительному подогреванію чтобы избѣжать частичнаго разложенія и осажденія углерода въ регенераторахъ.

Объемы продуктовъ горѣнія и кислорода, соотвѣтствующіе 1 куб. м. газа, вычисляются на основаніи анализа и химическихъ уравненій окислительныхъ реакціи. Легко составить нижеслѣдующую таблицу:

Составная части.	Въ 1 куб. м. газа.	Требуется кислорода.	Продукты горѣнія.			
			CO ²	H ² O	SO ²	N ²
CH ⁴	0,9416	1,88320	0,9416	1,8832	—	—
C ² H ⁴	0,0030	0,00900	0,0060	0,0060	—	—
H ²	0,0142	0,00710	—	0,0142	—	—
H ² S	0,0018	0,00270	—	0,0018	0,0018	—
CO	0,0055	0,00275	0,0055	—	—	—
CO ²	0,0027	—	0,0027	—	—	—
O ²	0,0032	—0,0320	—	—	—	—
N ²	0,0280	—	—	—	—	0,0280
Всего . .	1,0000	1,90155	0,9558	1,9052	0,0018	0,0280

Потребный объемъ кислорода 1,90155 куб. м. соотвѣтствуетъ 9,14 куб. м. воздуха и сопровождается 7,238 куб. м. азота, слѣдовательно общій объемъ азота въ продуктахъ горѣнія будетъ 7,266 куб. м.

Теплоемкость 1 куб. м. CO_2 , H_2O , и N_2 намъ известна, что-же касается до SO_2 то его средняя теплоемкость, въ зависимости отъ температуры можетъ быть положена равной $(0,36 + 0,0003 t)$.

Такимъ образомъ мы получимъ для теплоты, содержащейся въ продуктахъ горѣнія при t° :

N_2 .	7,266	($0,303 t + 0,000027 t^2$)	=	2,2016 t	+	0,000196 t^2
H_2O .	1,9052	($0,34 t + 0,00015 t^2$)	=	0,6478 t	+	0,000286 t^2
CO_2 .	0,9558	($0,37 t + 0,00022 t^2$)	=	0,3536 t	+	0,000210 t^2
SO_2 .	0,0018	($0,36 t + 0,0003 t^2$)	=	0,0006 t	+	0,000001 t^2
				Всего		<u>= 3,2036 t — 0,000693 t^2</u>

Для опредѣленія t мы будемъ слѣдовательно имѣть уравненіе:

$$8203 = 3,2036 t + 0,000693 t^2$$

Откуда:

$$t = 1830^\circ.$$

2) 1 куб. м. воздуха при 1000° приноситъ съ собою:

$$Q_{(0-1000)} = 0,303 (1000) + 0,000027(1000)^2 = 330 \text{ Cal.}$$

Слѣдовательно добавочное количество тепла будетъ:

$$9,14 \times 330 = 3016 \text{ Cal.}$$

И уравненіе для опредѣленія t :

$$11219 = 3,2036 t + 0,000693 t^2.$$

Откуда:

$$t = 2330^\circ.$$

3) Избытокъ воздуха будетъ:

$$9,14 \times 0,25 = 2,285 \text{ куб. м.}$$

Всего слѣдовательно будетъ употреблено — 11,425 куб. м. воздуха, которые содержатъ при 1000° :

$$11,425 \times 330 = 3770 \text{ Cal.}$$

Такъ что продукты горѣнія будутъ содержать:

$$8203 + 3770 = 11973 \text{ Cal.}$$

Съ другой стороны избытокъ воздуха = 2,285 куб. м. будетъ содержать при t° :

$$2,285 (0,303 t + 0,000027 t^2) = 0,6923 t + 0,000062 t^2.$$

Прибавимъ это выраженіе къ $3,2036 t + 0,000693 t^2$ и напишемъ уравненіе:

$$11973 = 3,8959 t + 0,000755 t^2.$$

Откуда:

$$t = 2160^\circ.$$

Способъ Эльдредда для регулированія температуры пламени.

Въ принципѣ этотъ способъ заключается въ подмѣшиваніи къ воздуху, необходимому для горѣнія, нѣкоторой части перегорѣвшихъ газовъ, чѣмъ достигается пониженіе температуры пламени.

Примѣръ: Вычислить температуру пламени древеснаго угля (допустимъ чистаго углерода) въ слѣдующихъ случаяхъ:

- 1) Если не употреблять избытка воздуха.
- 2) Если къ потребному для горѣнія воздуху подмѣшать равный ему объемъ продуктовъ горѣнія.
- 3) Если составъ продуктовъ горѣнія будетъ CO_2 — 6%, O_2 — 15% и N_2 — 79%.
- 4) Если составъ продуктовъ горѣнія будетъ: CO_2 — 12%, O_2 — 9% и N_2 — 79%, при чемъ къ воздуху подмѣшивается равный ему объемъ продуктовъ горѣнія, такъ что получается смѣсь: CO_2 — 6%, O_2 — 15% и N_2 — 79%.

Рѣшеніе. 1) Все вычисленіе будемъ относить къ 1 кгр. чистаго углерода, дающаго при полномъ горѣніи 8100 Cal. + та теплота, которая будетъ въ немъ заключаться при t° , т. е., приблизительно: $(0,5 t - 120)$ Cal., такъ что мы располагаемъ въ общемъ:

$$8100 + (0,5 t - 120) = 7980 + 0,5 t \text{ Cal.}$$

Продукты горѣнія будутъ:

CO_2 . . .	1,85 кб. м.
N_2	7,04 »

и они будутъ содержать при t° :

CO_2	1,85	$(0,37 t + 0,00022 t^2) = (0,6845 t + 0,000407 t^2)$	Cal.
N_2	7,04	$(0,303 t + 0,000027 t^2) = (2,1331 t + 0,000190 t^2)$	Cal.
	Всего	$2,8176 t + 0,000597 t^2$	Cal.

Слѣдовательно:

$$2,8176 t + 0,000597 t^2 = 7980 + 0,5 t.$$

Откуда:

$$t = 2200^\circ.$$

2) Въ случаѣ разбавленія потребнаго количества воздуха равнымъ ему объемомъ продуктовъ горѣнія очевидно на 1 кгр. С придется удвоенный объемъ продуктовъ горѣнія, содержащихъ слѣдовательно $2(2,8176 t + 0,000597 t^2)$ Cal., такъ что новое уравненіе для опредѣленія t будетъ:

$$2(2,8176 t + 0,000597 t^2) = 7980 + 0,5 t.$$

Откуда:

$$t = 1216^\circ.$$

3) Продукты горѣнія, соотвѣтствующіе 1 кгр. С, будутъ:

CO ²	. . .	1,85	кб. м.
O ²	. . .	4,62	»
N ²	. . .	24,36	»
Всего	. . .	30,83	кб. м.

Теплота, содержащаяся въ нихъ при t°:

CO ²	. . .	1,85	(0,37 t + 0,00022 t ²) =	(0,6845 t + 0,000407 t ²)	Cal.
O ²	N ² .	28,98	(0,303 t + 0,000027 t ²) =	(8,7810 t + 0,000783 t ²)	»
		Всего		9,4655 t + 0,001190 t ²	Cal.

Слѣдовательно:

$$9,4655 t + 0,001190 t^2 = 7980 + 0,5 t.$$

Откуда:

$$t = 810^\circ.$$

4) Въ этомъ случаѣ продукты горѣнія, соотвѣтствующіе 1 кгр. С будутъ:

CO ²	. . .	3,70	кб. м.
O ²	. . .	2,77	»
N ²	. . .	24,36	»
Всего	. . .	30,83	кб. м.

Теплота, содержащаяся въ нихъ при t°:

CO ²	. . .	3,70	(0,37 t + 0,00022 t ²) =	(1,3690 t + 0,000814 t ²)	Cal.
O ²	+ N ² .	27,13	(0,303 t + 0,000027 t ²) =	(8,2204 t + 0,000733 t ²)	»
		Всего		9,5894 t + 0,001547 t ²	Cal.

Слѣдовательно:

$$9,5894 t + 0,001547 t^2 = 7980 + 0,5 t.$$

Откуда:

$$t = 780^\circ.$$

Заключение: Изъ разсмотрѣнія, вышеприведенныхъ расчетовъ, можно сдѣлать слѣдующее заключение: Способъ Эльдрета лишь въ томъ случаѣ понижаетъ температуру пламени ощутительнымъ образомъ, когда потребный для горѣнія воздухъ не былъ предварительно введенъ въ избытокъ, иначе разбавленіе воздуха продуктами горѣнія почти не вліяетъ на температуру пламени.

Температура въ «термическихъ процессахъ».

Упомянутый выше процессъ Гольдшмидта, возстановленія холодной окиси желѣза алюминіемъ, представляетъ изъ себя лишь частный случай; такъ называемыхъ, «термическихъ процессовъ», въ которыхъ холодная окись одного металла, какъ напр., CuO или MnO возстановляется порошкообразнымъ алюминіемъ съ выдѣленіемъ тепла.

Для опредѣленія температуры реакціи надо знать теплоемкость продуктовъ реакціи при высокихъ температурахъ (эмпирическіе законы). Такъ для Al_2O_3 , имѣющаго температуру плавленія около 2200° , количество теплоты вплоть до этой температуры можетъ быть опредѣлено по формулѣ:

$$Q_{(0-t)} = 0,2081 t + 0,0000876 t^2.$$

Въ моментъ плавленія $Q = 881,8$ Cal. Скрытая теплота плавленія можетъ быть приблизительно опредѣлена по эмпирической формулѣ:

$$L = 2,1 T \text{ Cal.}$$

гдѣ T есть абсолютная температура плавленія т. е., въ данномъ случаѣ; $2200 + 273 = 2473^\circ$, а L скрытая теплота плавленія молекулярнаго вѣса тѣла (выраженнаго въ кгр.).

Для 102 кгр. Al_2O_3 :

$$L = 2,1 \times 2473 = 5193 \text{ Cal.},$$

а слѣдовательно для 1 кгр. Al_2O_3 :

$$\frac{5193}{102} = 50,9 \text{ Cal.}$$

Если допустить, что въ расплавленномъ видѣ Al_2O_3 имѣетъ удѣльную теплоту твердаго тѣла при температурѣ плавленія, то:

$$S = 0,2081 + 0,0001752 \times 2200 = 0,5935.$$

Слѣдовательно при t° (выше температуры плавленія), теплота въ 1 кгр. Al_2O_3 будетъ:

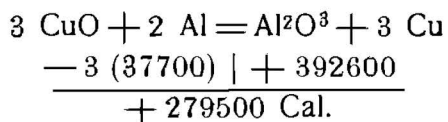
До точки плавленія	881,8 Cal.
Скрытая теплота плавленія	50,9 »
Въ жидкомъ Al_2O_3 до t°	<u>$0,5935 (t - 2200)$</u> »

Всего . . . $932,7 + 0,5935 (t - 2200)$ Cal.

а для молекулярнаго вѣса 102 кгр.:

$$95135 + 60,54 (t - 2200).$$

Примѣръ 1. Вычислить температуру реакціи возстановленія черной окиси мѣди CuO порошкообразнымъ Al .



Это количество теплоты должно поднять температуру Al_2O_3 и 3 Cu съ 0° до t° . Для молекулярнаго вѣса Al_2O_3 , потребное количество Cal. будетъ:

$$95135 + 60,54 (t - 2200).$$

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Для 3 Си надо произвести слѣдующій расчетъ:

$$\begin{array}{r} \text{Теплота въ 1 кгр. Си при } 1065^\circ \text{ (точка плавленія)} \dots\dots\dots 162 \text{ Cal.} \\ \text{»} \quad \text{»} \quad \text{Си выше } 1065^\circ \dots\dots\dots 0,1318 (t - 1065^\circ) \text{ »} \\ \hline \text{Всего} \dots\dots\dots 162 + 0,1318 (t - 1065^\circ) \text{ Cal.} \end{array}$$

а для атомнаго вѣса $\text{Si} = 63,6$:

$$10303 + 8,3825 (t - 1065).$$

Уравненіе для опредѣленія t будетъ слѣдовательно:

$$95135 + 60,54 (t - 2200) \quad 3 [10303 + 8,3825 (t - 1065)] = 279500.$$

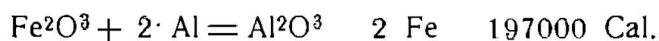
Откуда:

$$t = 3660^\circ.$$

Произведя подсчетъ, легко видѣть, что количество тепла въ Al_2O_3 будетъ приблизительно $\frac{2}{3}$ всего количества, а въ мѣди остальная треть.

Примѣръ 2. Произвести расчетъ температуры терметического процесса при возстановленіи FeO .

Нами уже было расчитано выше количество теплоты выдѣляемое реакціей:



Съ другой стороны количество тепла въ 1 кгр. Fe при температурѣ плавленія 1600° , — 300 Cal., скрыта теплота плавленія—69 Cal.; если теперь взять для удѣльной теплоты расплавленнаго желѣза—0,25, то общее количество Cal. въ 1 кгр. Fe при t° будетъ:

$$369 + 0,25 (t - 1600).$$

Для атомнаго вѣса желѣза:

$$Q_{(0-t)} = 20664 + 14 (t - 1600).$$

Теперь легко составить уравненіе для опредѣленія t :

$$95135 + 60,54 (t - 2200) + 2 [20664 + 14 (t - 1600)] = 197000.$$

Откуда:

$$t = 2694^\circ.$$

Если произвести подсчетъ для возстановленія MnO , то получится температура ниже той, которая необходима для плавленія Al_2O_3 . Для полученія болѣе легкоплавкаго шлака нужно употреблять избытокъ MnO .

Г Л А В А IV.

Термохимія високихъ температуръ.

Задачи этого отдѣла термохиміи слѣдующія; зная какое количество тепла выдѣляется или поглощается во время извѣстной реакціи при томъ условіи, что какъ реагирующіе тѣла такъ и продукты находятся при комнатной температурѣ, опредѣлить:

- a. Соотвѣтствующее реакціи, выдѣленіе или поглощеніе тепла при холодныхъ реагирующихъ тѣлахъ и горячихъ продуктахъ.
- b. При горячихъ реагирующихъ тѣлахъ и горячихъ продуктахъ.
- c. При горячихъ реагирующихъ тѣлахъ и холодныхъ продуктахъ.

Изъ всѣхъ трехъ случаевъ самый общій b, рѣшивъ его легко перейти къ одному изъ остальныхъ двухъ случаевъ. Впрочемъ возможно рѣшить каждый изъ трехъ случаевъ примѣнивъ самостоятельныя разсужденія.

Случай (a). Самостоятельный методъ рѣшенія будетъ слѣдующій. Написавъ реакцію: $A + B = C + D$ опредѣлимъ, пользуясь, извѣстными намъ, термохимическими таблицами, общее количество выдѣленной (+), или поглощенной (—) теплоты. Назовемъ a_0 , b_0 , c_0 и d_0 —теплоты образованія тѣлъ: A, B, C и D при 0° (всѣ эти данныя берутся изъ таблицъ). Пусть далѣе: a_t , b_t , c_t и d_t обозначаютъ неизвѣстныя намъ (и для даннаго случая не необходимыя) теплоты образованія тѣхъ же тѣлъ но при t° . И наконецъ пусть: a, b, c и d будутъ соотвѣтствовать тѣмъ количествамъ тепла которые содержатся въ самихъ тѣлахъ при t° . Общее количество тепла выдѣленное или поглощенное во время всей реакціи назовемъ черезъ Q причемъ температуру начала и конца реакціи проставимъ ввидѣ показателей; такъ, пользуясь знакомыми намъ таблицами, мы получимъ:

$$Q_0^\circ = (c_0 + d_0) - (a_0 + b_0)$$

намъ же надо опредѣлить Q_0^t .

Очевидно что Q_0^t будетъ меньше Q_0° на все то количество тепла которое содержится въ продуктахъ реакціи C и D при t° т. е. что:

$$Q_0^t = Q_0^\circ - (c + d)$$

такъ какъ a и b въ данномъ случаѣ отсутствуютъ (A и B имѣютъ по 0°).

Второй методъ рѣшенія, болѣе сложный, возможенъ если предварительно рѣшенъ случай (b), т. е., опредѣлено Q_t^t тогда:

$$Q_o^t - Q_t^t = (a + b).$$

Но мы его пока касаться не будемъ.

Случай (b). Для Q_t^t имѣются два выраженія, а именно:

$$\begin{aligned} Q_t^t &= Q_o^t - (c + d) + (a + b) \text{ и} \\ Q_t^t &= (c_t - d_t) - (a_t + b_t). \end{aligned}$$

Примѣненіе перваго вообще проще втораго, такъ какъ не требуетъ предварительнаго опредѣленія теплотъ образованія тѣлъ C, D, A и B при температурѣ t° , что влечетъ за собою, какъ легко выяснитъ изъ примѣровъ, излишнія вычисления, тѣмъ болѣе что величины: c_t , d_t , a_t и b_t (изъ которыхъ одна или двѣ часто O) опредѣляются сами по первому методу.

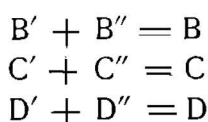
Дѣйствительно: Пусть тѣло A образовалось изъ элементовъ A' и A'' такъ что:



при O° выдѣлилось a_o Cal., а при t° — a_t Cal., количество-же теплоты въ этихъ тѣлахъ при t° назовемъ соотвѣтственно черезъ a' , a'' и a . Тогда очевидно

$$a_t = a_o - a + (a' + a'')$$

подобнымъ образомъ для тѣлъ B, C и D образовавшихся по реакціямъ:



при аналогичныхъ обозначеніяхъ:

$$\begin{aligned} b_t &= b_o - b + (b' + b'') \\ c_t &= c_o - c + (c' + c'') \\ d_t &= d_o - d + (d' + d''). \end{aligned}$$

Подставивъ эти величины въ выраженіе: $Q_t^t = (c_t + d_t) - (a_t + b_t)$ получимъ:

$$\begin{aligned} Q_t^t &= [(c_o + d_o) - (a_o + b_o) - (c + d) + (a + b)] + \\ &+ [(c' + c'') - (a' + a'') - (b' + b'') + (d' + d'')]. \end{aligned}$$

Первыя скобки [] обращаются въ

$$Q_o^t - (c + d) + (a + b)$$

а вторыя скобки [] совершенно уничтожаются, какъ въ этомъ легко убѣдиться на примѣрахъ. Изъ этого слѣдуетъ что можно обойтись безъ знанія величинъ a' , a'' , b' , b'' , c' , c'' , d' , d'' .

Случай (с). Этотъ случай рѣшается очень просто самостоятельно, такъ какъ очевидно:

$$Q_t^o = Q_o^o + (a + b).$$

Но онъ можетъ также быть рѣшенъ когда извѣстно Q_t^t т. к.:

$$Q_t^o = Q_t^t + (c + d).$$

Примѣръ: Примѣнить случаи (а), (b) и (с) къ реакціи:
 $ZnO + C = Zn + CO.$

Согласно нашему обозначенію мы будемъ имѣть: $A = ZnO$,
 $B = C$ (элементъ), $C = Zn$ и $D = CO$

a_o — теплота образованія ZnO при O т. е. 84800

b_o O

c_o O

d_o теплота образованія CO при O^o т. е. 29160

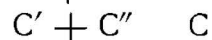
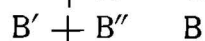
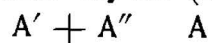
a_t неизвѣстная теплота образованія ZnO при t^o

b_t O

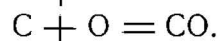
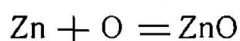
c_t O

d_t неизвѣстная теплота образованія CO при t^o .

Вспомогательныя реакціи случая (b):



Сведутся очевидно лишь къ первой и четвертой



Такъ что соотвѣтствующія обозначенія будутъ:

$$A' = Zn \quad C \quad C'$$

$$A'' = O \text{ (элементъ)} = D''$$

$$B' = C \text{ (элементъ)} = B = D'$$

B'' отсутствуетъ

$$C' = Zn = C = A'$$

C'' отсутствуетъ

$$D' = C \text{ (элементъ)} = B = B'$$

$$D'' = O \text{ (элементъ)} = A''.$$

Во всѣхъ этихъ вспомогательныхъ уравненіяхъ единственнымъ новымъ тѣломъ является кислородъ, который, согласно нашимъ обозначеніямъ, будетъ A'' или D'' .

Кромѣ вышеприведенныхъ величинъ намъ придется еще встрѣтиться съ тѣми количествами тепла, которыя содержатся въ тѣлахъ $A, B, C, D, A', B', C', D', A'', B'', C'', D''$ и которыя соотвѣтственно

обозначены нами черезъ $a, b, c, d, a', b', c', d', a'', b'', c'', d''$. Очевидно, что въ зависимости отъ тождества тѣлъ обозначенныхъ большими буквами (со значками или безъ оныхъ) будутъ и тождества между количествами тепла обозначенными малыми буквами (также со значками или безъ оныхъ). Въ виду же полного отсутствія тѣлъ B'' и C'' очевидно b'' и c'' также отсутствуютъ.

Такимъ образомъ нижеслѣдующія обозначенія соотвѣтствуютъ количествомъ тепла содержащимся въ тѣлахъ при t° :

$$\begin{array}{l|l|l} a \text{ въ } ZnO & a' = c \text{ въ } Zn = c' & a'' \text{ въ } O_{(\text{элементъ})} = d'' \\ b \text{ въ } C \text{ (элементъ)} & b' = b \text{ въ } C_{(\text{элементъ})} = d' & b'' \text{ отсутствуетъ} \\ c \text{ въ } Zn & c' = c \text{ въ } Zn = a' & c'' \text{ отсутствуетъ} \\ d \text{ въ } CO & d' = b \text{ въ } C_{(\text{элементъ})} = b' & d'' \text{ въ } O_{(\text{элементъ})} = a'' \end{array}$$

Въ данномъ случаѣ слѣдовательно всѣ 12 величинъ сводятся къ 5: a, b, c, d и a'' , при чемъ можно было-бы обойтись и безъ a'' при рѣшеніи случая (b), пользуясь первымъ методомъ.

Кромѣ всего вышеизложеннаго мы имѣемъ еще слѣдующія обозначенія:

Q_0° = теплота поглощаемая (—) реакціей (отъ 0° до 0°)

Q_0^t = теплота поглощаемая въ случаѣ (a) (отъ 0° до t°)

Q_t^t = теплота поглощаемая въ случаѣ (b) (отъ t° до t°)

Q_t° = теплота поглощаемая въ случаѣ (c) (отъ t° до 0°).

Для опредѣленія величинъ Q_0° , Q_0^t , Q_t^t и Q_t° мы имѣемъ слѣдующія выраженія:

$$\begin{aligned} Q_0^\circ &= (c_0 + d_0) - (a_0 + b_0) \\ Q_0^t &= Q_0^\circ - (c + d) = Q_t^t - (a + b) \\ Q_t^t &= Q_0^\circ - (c + d) + (a + b) = (c_t + d_t) - (a_t + b_t) \\ Q_t^\circ &= Q_0^\circ + (a + b) = Q_t^t + (c + d) \end{aligned}$$

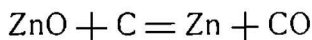
и кромѣ того вспомогательныя выраженія:

$$\begin{aligned} a_t &= a_0 - a + (a' + a'') \\ b_t &= b_0 - b + (b' + b'') \\ c_t &= c_0 - c + (c' + c'') \\ d_t &= d_0 - d + (d' + d''). \end{aligned}$$

Для даннаго случая эти выраженія преобразуются въ слѣдующія:

$$\begin{aligned} Q_0^\circ &= d_0 - a_0 \\ Q_0^t &= Q_0^\circ - (c + d) - Q_t^t - (a + b) \\ Q_t^t &= Q_0^\circ - (c + d) + (a + b) = d_t - a_t \\ Q_t^\circ &= Q_0^\circ + (a + b) - Q_t^t + (c + d) \\ a_t &= a_0 - a + c + a'' \\ d_t &= d_0 - d + b + a''. \end{aligned}$$

Приступая теперь къ расчетамъ величинъ Q_0^o , Q_0^t , Q_t^t и Q_t^o въ реакціи:



при $t = 1300^\circ$.

Такъ какъ теплота образованія ZnO при $0^\circ = a_0 = 84800$ Cal., а теплота образованія CO при $0^\circ = d_0 = 29160$ Cal., то реакція (отъ $0^\circ - 0^\circ$) поглотитъ (—):

$$Q_0^o = 29160 - 84800 = -55640 \text{ Cal.}$$

Для дальнѣйшаго намъ надо предварительно опредѣлить величины: a, b, c, d, по желанію—также a'', зная которое можно вычислить a_t и d_t и слѣдовательно вывести Q_t^t другимъ способомъ.

Опредѣленіе a: Теплота содержащаяся въ 81 кгр. ZnO при 1300° опредѣлится изъ формулы:

$$Q_{(0-t)} = 0,1212 t + 0,0000315 t^2$$

для 1 кгр. ZnO при t° , слѣдовательно:

$$a = 81 \times [0,1212 (1300) + 0,0000315 (1300)^2] = 17075 \text{ Cal.}$$

Опредѣленіе b: Для 1 кгр. C при высокихъ температурахъ можно пользоваться формулой:

$$Q_{(0-t)} = 0,5 t - 120$$

слѣдовательно для 12 кгр. C при 1300° :

$$b = 12 \times [0,5 (1300) - 120] = 6360 \text{ Cal.}$$

Опредѣленіе c: Для 65 кгр. Zn расчетъ количества теплоты при 1300° будетъ нѣсколько сложнѣе, такъ какъ Zn плавится при 420° и кипитъ при 930° . Пользуясь эмпирическими формулами, сводъ которыхъ для большинства извѣстныхъ тѣлъ и соединеній будетъ подробно приведенъ далѣе, въ термофизическихъ таблицахъ, можно распределить расчетъ слѣдующимъ образомъ:

Теплота въ твердомъ Zn до 420° :	
65 × [0,09058 (420) + 0,000044 (420) ²]	= 2977 Cal.
Скрытая теплота плавленія: 65 × 22,61	= 1470 »
Теплота въ жидкомъ Zn (420° до 930°):	
65 × [0,09058 + 0,000088 (420)] × (930 — 420)	= 4228 »
Скрытая теплота испаренія: 20 × (930 + 273)	= 27670 »
Теплота въ парахъ Zn: 5 × (1300 — 930)	= 1850 »
Итого C.	= 38195 Cal.

Опредѣленіе d: Для молекулярнаго объема CO мы имѣемъ при 1300° :

$$d = 22,22 [0,303 (1300) + 0,000027 (1300)^2] = 9766 \text{ Cal.}$$

Опредѣленіе a'': a'' соответствуетъ половинѣ молекулярнаго объема кислорода т. е. 11,11 кб. м. (16 кгр. O), слѣдовательно:

$$a'' = 11,11 \times [0,303 (1300) + 0,000027 (1300)^2] = 4884 \text{ Cal.}$$

Опредѣленіе a_t : Примѣняя формулу:

$$a_t = a_0 - a + c + a''$$

получимъ:

$$a_t = 84800 - 17075 - 38195 + 4884 = 110804 \text{ Cal.}$$

Опредѣленіе d_t : Примѣняя формулу:

$$d_t = d_0 - d - b + a''$$

получимъ:

$$d_t = 29160 - 9766 - 6360 + 4884 = 30638 \text{ Cal.}$$

Теперь мы имѣемъ всѣ необходимыя величины для опредѣленія Q_0^t , Q_t^t и Q_t^0 .

$$Q_0^t = Q_0^0 - (c - d) = -55640 - 38195 - 9766 = -103601 \text{ Cal.}$$

или:

$$Q_0^t = Q_t^t - (a - b) = -80166 - 17075 - 6360 = -103601 \quad \gg$$

$$Q_t^t = Q_0^0 - (c + d) + (a + b) = -55640 - 38195 - 9766 + 17075 + 6360 = -80166 \quad \gg$$

или:

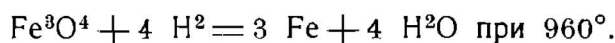
$$Q_t^t = d_t - a_t = 30638 - 110804 = -80166 \quad \gg$$

$$Q_t^0 = Q_0^0 + (a + b) = -55640 + 17075 + 6360 = -32205 \quad \gg$$

или:

$$Q_t^0 = Q_t^t + (c + d) = -80166 + 38195 + 9766 = -32205 \quad \gg$$

Второй примѣръ. Опредѣлить количество поглощеннаго тепла въ реакціи:



Въ данномъ случаѣ: $A = \text{Fe}^3\text{O}^4$, $B = 4 \text{H}^2$, $C = 3 \text{Fe}$, $D = 4 \text{H}^2\text{O}$.
Теплоты образованія этихъ тѣлъ при 0° будутъ:

$$a_0 = 270800, \quad b_0 = 0, \quad c_0 = 0, \quad d_0 = 4 \times 58060 = 232240$$

слѣдовательно:

$$Q_0^0 = d_0 - a_0 = 232240 - 270800 = -38560 \text{ Cal.}$$

Q_t^t опредѣлится по формулѣ:

$$Q_t^t = Q_0^0 - (c + d) + (a + b)$$

a , b , c , d —суть тѣ количества тепла, которыя содержатся въ тѣлахъ A , B , C , D при $t = 960^\circ$; опредѣлимъ эти величины:

$$\text{Fe}^3\text{O}^4 \quad a = 232 \times [0,1447 (960) + 0,0001878 (960)^2] = 72384 \text{ Cal.}$$

$$4 \text{H}^2 \quad b = 4 \times 22,22 \times [0,303 (960) + 0,000027 (960)^2] = 28075 \quad \gg$$

$$3 \text{Fe} \quad c = 3 \times 56 \times [0,218 (960) - 39] = 28560 \quad \gg$$

$$4 \text{H}^2\text{O} \quad d = 4 \times 22,22 \times [0,34 (960) + 0,00015 (960)^2] = 41300 \quad \gg$$

Слѣдовательно:

$$Q_t^t = -38560 - 28560 - 41300 + 72384 + 28075 = -7961 \text{ Cal.}$$

Общія замѣчанія по поводу термофизическихъ данныхъ.

Удѣльная теплота элементовъ.

Согласно Дюлонга и Пети удѣльная теплота большинства твердыхъ элементовъ, взятыхъ въ количествахъ пропорціональныхъ ихъ атомнымъ вѣсамъ, величина почти постоянная, обыкновенно лежащая между 6 и 7, въ среднемъ, основываясь на наблюденіяхъ Ренье (для температуръ до 100°) она — 6,4. Значительныя отступленія представляютъ лишь В, С и Si.

Съ повышеніемъ температуры повышается и удѣльная теплота приблизительно по 0,04% на каждый градусъ, такъ что для 1000° , напримѣръ, удѣльная теплота приблизительно на 40% больше того, что она была при 0° .

Удѣльная теплота элементовъ въ жидкомъ видѣ приблизительно та же, что въ твердомъ тѣлѣ при температурѣ плавленія и она почти не измѣняется съ повышеніемъ температуры.

Удѣльная теплота паровъ металловъ, обыкновенно моноатомичныхъ, занимающихъ молекулярный объемъ, (22,22 куб. м.) при нормальныхъ условіяхъ и постоянномъ давленіи, теоретически величина постоянная равная 5, что составляетъ 0,225 для 1 куб. м.

Скрытая теплота плавленія элементовъ.

При переходѣ тѣла изъ твердаго состоянія въ жидкое поглощается нѣкоторое количество тепла, выдѣляющееся при обратномъ переходѣ изъ жидкаго въ твердое.

Если относить скрытую теплоту плавленія (обозначимъ ее черезъ L') не къ 1 кгр., а къ атомному вѣсу тѣла то легко замѣтитъ, что чѣмъ выше температура плавленія — тѣмъ выше и скрытая теплота, эта послѣдняя приблизительно пропорціональна абсолютной температурѣ плавленія ($T = t + 273$) при чемъ въ среднемъ $L' = 2,1 T$.

Скрытая теплота испаренія элементовъ.

Для моноатомичныхъ паровъ (большинства металловъ) скрытая теплота испаренія (L''), отнесенная къ атомному вѣсу тѣла, приблизительно пропорціональна абсолютной температурѣ кипѣнія (при атмосферномъ давленіи), причемъ, при постоянномъ давленіи въ среднемъ: $L'' = 23 T$, а при постоянномъ объемѣ — $21 T$.

Примѣчаніе къ таблицѣ термофизическихъ данныхъ элементовъ.

Въ таблицѣ даны среднія удѣльныя теплоты (теплоемкости) элементовъ въ предѣлахъ между 0° и t° обыкновенно подъ видомъ эмпирическихъ формулъ общаго вида:

$$S_{m(0-t)} = a + b t.$$

Если желательно имѣть удѣльную теплоту S при t° то она будетъ:

$$S_{(t)} = a + 2 b t.$$

Средняя удѣльная теплота въ предѣлахъ между t° и t'° будетъ:

$$S_{m(t-t')} = a - b (t + t').$$

Для газовъ средняя удѣльная теплота S_m опредѣлена при постоянномъ давленіи, если желательно знать S'_m при постоянномъ объемѣ то величину S_m надо уменьшить на то количество тепла, которое соотвѣтствуетъ внѣшней работѣ газа при расширеніи противъ атмосфернаго давленія. Въ большихъ калоріяхъ (Cal.), работа, соотвѣтствующая молекулярному объему газа (22,22 куб. м.), будетъ 2; такъ что для этого объема $S'_m = S_m - 2$. — Для 1 куб. м. эта работа будетъ $\frac{2}{22,22} = 0,09$ Cal., а для 1 клг. — 2: молекулярный вѣсъ газа, или — 0,09: вѣсъ 1 куб. м. газа.

Водородъ H — 1.

$S_{m(0-t)}$ для 1 кгр.	(до 2000°)	3,367 — 0,0003 t
» для 1 куб. м.	» . . .	0,303 + 0,000027 t.

Эта величина опредѣлена Le Chatelier & Mallard, а для болѣе высокихъ температуръ, согласно опредѣленіямъ Berthelot & Vielle:

$S_{m(0-t)}$ для 1 кгр.	(до 4000°)	2,86 [+ 0,0008 t
» для 1 куб. м.	»	— 0,2575 + 0,000072 t.

Литій Li — 7.

S_m ($26^\circ - 100^\circ$) (твердое т.)	= 0,9408	(Regnault)
Температура плавленія	= 180°	»
Скрытая теплота плавленія (1 кгр.)	= 73	(вычислено)
S (жидкость) (1 кгр.)	= 0,975	(вычислено)
Температура плавленія	= 500°	(предполож.)
Скрытая теплота испаренія (1 кгр.)	= 2540	(вычислено)
S (газъ) (1 кгр.)	= 0,714	(вычислено)
» » (1 куб. м.)	= 0,225	(предполож.)

Бериллій Be = 9.

S_m (твердое т.) . . . = 0,3756 + 0,00106 t (Humpidge).

Боръ B = 11.

S_m (твердое т.) . . . = 0,22 + 0,00035 t (Weber).

Углеродъ C = 12.

S_m (аморфный) $t < 250^\circ = 0,1567 + 0,00036 t$
 (250° до 1000°) = 0,2142 + 0,000166 t
 $t > 1000^\circ = 0,5 - \frac{120}{t}$.

S_m (графитъ) = приблизительно S_m (аморфный).

Температура кипѣнія (сублимация) . . = 3700°
 Скрытая теплота испаренія (молекулы) = 92080 (вычисл.)
 » » 1 кгр. (если C²) . . = 3837 (предпол.)
 S (для паровъ C²) для 1 кгр. . . . = 0,25 (предпол.)
 » » для 1 куб. м. . . . = 0,27 (предпол.)

Азотъ N = 14.

Для $t < 2000^\circ$:

$S_{m(o-t)}$ для 1 кгр. = 0,2405 + 0,0000214 t
 » для 1 куб. м. = 0,303 + 0,000027 t

Для $2000^\circ < t < 4000^\circ$:

$S_{m(o-t)}$ для 1 кгр. = 0,2044 + 0,000057 t
 » для 1 куб. м. = 0,2575 + 0,000072 t.

Кислородъ O = 16.

Для $t < 2000^\circ$:

$S_{m(o-t)}$ для 1 кгр. = 0,2104 + 0,0000187 t
 » для 1 куб. м. = 0,303 + 0,000027 t

Для $2000^\circ < t < 4000^\circ$:

$S_{m(o-t)}$ для 1 кгр. = 0,1788 + 0,00005 t
 » для 1 куб. м. = 0,2575 + 0,000072 t.

Натрій Na 23.

S_m (твердое т.) (— 38° до + 10°) = 0,293 (Regnault)
 » (0° до t°) . . = 0,2932 + 0,00019 t (Bernini)
 Температура плавленія = 96,°5 »
 Скрытая теплота плавленія 1 кгр. = 31,7 (Johannis)
 » » = 730 (для атомнаго вѣса)

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

S (жидкость) (98° — 100°) . . .	= 0,333	(Bernini)
Температура кипѣнія	= 742°	»
Скрытая теплота испаренія . . .	= 23345	(для атомнаго вѣса)
» » »	= 1015	(для 1 кгр.)
S (пары) для 1 кгр.	= 0,2174	(вычислено)
» » для 1 куб. м.	= 0,225	(предполож.)

Магній Mg 24.

S _m (твердое т.) (22 — 98°)	= 0,25	(Regnault)
Температура плавленія	= 750°	»
Скрытая теплота плавленія 1 кгр.	= 58	(вычислено)
Температура кипѣнія	= 1100°	»
Скрытая теплота испаренія . . .	= 31580	(для атомнаго вѣса)
» » »	= 1315	(для 1 кгр.)
S (пары) для 1 кгр.	= 0,2084	(вычислено)
» » для 1 куб. м.	= 0,225	(предполож.)

Алюминій Al 27.

S _{m_(o-t)} (твердое т.)	= 0,222 + 0,00005 t	(Richards)
Температура плавленія	= 625°	»
Теплота въ твердомъ т. при 625°	= 158,3	»
Теплота въ жидкомъ т. при 625°	= 258,3	»
Скрытая теплота плавленія . . .	= 100,0	(Richards)
S (для жидкости)	= 0,308	(Pionchon до 800°)
Температура кипѣнія	= 2300°	(предполож.)
Скрытая теплота испаренія . . .	= 61480	(для атомнаго вѣса)
» » »	= 2277	(для 1 кгр.)
S (для паровъ) для 1 куб. м.	= 0,225	(предполож.)
» » для 1 кгр.	= 0,1852	(вычислено).

Кремній Si 28.

S _{m_(o-t)} (тверд. т.) (опредѣл. до 234°)	= 0,17 + 0,00009 t	(Weber)
Температура плавленія	= 1430°	(E. Thompson)
Скрытая теплота плавленія . . .	= 3576	(для атомнаго вѣса)
» » »	= 127,7	(для 1 кгр.)
Температура кипѣнія	= 2800°	(предполож.)
Скрытая теплота испаренія . . .	= 70680	(для атомнаго вѣса)
» » »	= 1262	(для 1 кгр. если Si ²)
S (пары) для 1 куб. м. Si ² . . .	= 0,205	(предполож.)
» » для 1 кгр. Si ²	= 0,107	(вычислено).

Фосфоръ Р 31.

Sm (твѣрд. т.) ($-20^{\circ} - +7^{\circ}$)	=	0,17,88
Температура плавленія .	=	44°
Скрытая теплота плавленія .	=	156 (для атомнаго вѣса)
» » » .	=	5,03 (для 1 кгр.)
S (жидкость) ($44^{\circ}-51^{\circ}$) .	=	0,,2045
Температура кипѣнія . . .	=	287°
Скрытая теплота испаренія .	=	12,880 (для молекулы P^4)
» » »	=	104 (для 1 кгр.)
S (пары) для 1 кб. м.	=	0,36 (предполож.)
» для 1 кб. м.	=	0,064 (вычислено).

Сѣра S 32.

Sm. (твѣрд. т.) ($15^{\circ}-97^{\circ}$)	=	0,1844 (Regnault)
Температура плавленія	=	114°
Скрытая теплота плавленія для 1 кгр.	=	9,37 (Person)
S (жидкость) ($119^{\circ}-147^{\circ}$)	=	0,2346 (Person)
Скрытая теплота испаренія	=	13825 (для молекулы S^8)
» » »	=	72 (для 1 кгр.)
S (пары) для 1 кб. м. S^6	=	0,50 (предполож. до 500°)
» » S^2	=	0,315 (предполож. выше 800°).

Хлоръ Cl = 35,5.

Sm. (при постоянн. давл.) ($13^{\circ}-202^{\circ}$) 1 кгр.	=	0,1241 (Regnault)
» » 1 кб. м.	=	0,40.

Калій K = 39.

Sm (твѣрд. т.) (-78° до $+23^{\circ}$)	=	0,1602 (Schulz)
» ($0^{\circ}-t^{\circ}$)	=	0,1858 + 0,00008 t (Bernini)
Температура плавленія . . .	=	58°
Скрытая теплота плавленія для 1 кгр.	=	15,7 (Johannis)
» » для атомн. вѣса	=	612
Sm (жидкость) ($98^{\circ}-58^{\circ}$) .	=	0,25 (Johannis)
»	=	0,2137 (Bernini)
Температура кипѣнія . . .	=	730° (Cornelley & Williams)
Скрытая теплота испаренія .	=	23069 (для атомн. вѣса)
» » »	=	592 (для 1 кгр.)
S (пары) для 1 кб. м. .	=	0,225 (предполож.)
» для 1 кгр.	=	0,128 (вычисл.)

Кальцій Ca = 40.

Sm (тверд. т.) (0° — 100°) = 0,1704 (Bunsen)
 Температура плавленія = 780°
 Скрытая теплота плавленія = 2106 (для атомн. вѣса)
 » » » = 52,6 (для 1 кгр.)

Титанъ Ti = 48.

Sm (твердость т.) (0° — 400°) = 0,0978 + 0,000147 t (Nilson & Petterson).

Ванадій V = 51.

Sm (0° — 100°) для атомн. вѣса = 6,4 (предполож.)
 для 1 кгр. = 0,125 (вычисл.)

Хромъ Cr = 52.

Sm (15° — 60°) = 0,100 (Корр.) (приближенно)
 » (0° — 600°) = 0,1039 + 0,00000008 t² (Adler).

Марганецъ Mn = 55.

Sm (14° — 97°) = 0,1217 (Regnault) (приближенно).

Желѣзо Fe = 56.

Лучшими опредѣленіями слѣдуетъ считать сдѣланныя Pionchon надъ мягкимъ желѣзомъ «Веггу».

Sm (0 — 660°) = 0,11012 + 0,000025 t — 0,0000000547 t²

Скрытая теплота измѣненія (между 660 и 720°) = 5,3

Sm (0 —t) ($720^{\circ} < t < 1000$) = 0,218 — $\frac{39}{t}$

Скрытая теплота измѣненія (между 1000° и 1050°) = 6,0

Sm (0 —t) ($1050^{\circ} < t < 1160^{\circ}$) = 0,19887 — $\frac{23,44}{t}$

Температура плавленія = 1600° (Roberts Austen)

Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 70 (вычисл.)

Теплота въ твердомъ т. при 1600° = 300 »

Теплота въ жидкомъ т. при 1600° = 370 »

S (для жидкости) въ среднемъ = 0,22 (предполож.)

Никкель Ni = 58,5.

По опредѣленіямъ Pionchon:

Sm (0 —t) (до 230°) = 0,10836 + 0,00002233 t

Скрытая теплота измѣненія (между 230° и 400°) = 4,64

Sm (0 —t) ($440^{\circ} < t < 1050^{\circ}$) = 0,099 + 0,00003375 t + $\frac{6,54}{t}$

Температура плавленія = 1450°

Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 62 (вычисл.)

Кобальтъ Co = 59.

По опредѣленію Pionchon:

$$Sm (o-t) (t < 900^\circ) = 0,10584 \quad 0,00002287 t \quad 0,000000022 t^2$$

$$Sm (o-t) (t > 900^\circ) = 0,124 + 0,00004 t - \frac{14,8}{t}$$

Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 68 (вычисл.)

Мѣдь Cu = 63,6.

$$Sm (o-t) = 0,0939 \quad 0,00001778 t \text{ (Frazier \& Richards)}$$

Температура плавленія = 1065°

Теплота въ жидкой мѣди при 1065° = 162 (по наблюден.)

Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 43,3 (по наблюден.)

» » » 44,8 (по вычисл.)

S (жидкость) для 1 кгр. = 0,132 (предполож.)

Температура плавленія = 2100° (Fery)

Скрытая теплота плавленія = 54579 (для атомн. вѣса)

» » = 858 (для 1 кгр.)

Цинкъ Zn = 65.

$$Sm (o-t) = 0,0906 + 0,000044 t$$

Температура плавленія = 420°

Теплота въ твердомъ т. при 420° = 45,2

Теплота въ жидкомъ т. при 420° = 67,8

Скрытая теплота плавленія = 22,6 (по наблюд. Person)

» » = 22,4 (по вычисленію.)

S (жидкость) . . . = 0,1275 (по вычисленію)

Температура кипѣнія . . = 930°

Скрытая теплота испаренія = 27670 (для атомн. вѣса)

» » = 425 (для 1 кгр.)

S (пары) для 1 кб. м. . = 0,225 (по предполож.)

» для 1 кгр. = 0,076.

Мышьякъ As = 75.

$$Sm \text{ (аморфный)} (21^\circ - 65^\circ) = 0,0758 \text{ (Bettendorf \& Wulner)}$$

» (кристаллическій) » = 0,083 » »

Температура сублимаціи . . = 450°

Скрытая теплота сублимаціи = 16,630 (для молекулы As⁴)

» » » = 56 (для 1 кгр.).

Селенъ Se = 79.

$$Sm (60^\circ - 250^\circ) = 0,084 \text{ (Bettendorf \& Wulner)}$$

Температура плавленія = 125°.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 13 (приблизит.)	
Температура кипѣнія	= 690° (Berthelot)
Скрытая теплота испаренія	= 22150 (для молек. Se ²)
» » »	= 140 (для 1 кгр.)

Бромъ Br = 80.

Sm (тверд. т.) (— 77° до — 10°) = 0,0843 (Regnault)	
Температура плавленія	= — 7°
Скрытая теплота плавленія	= 16,2 (Regnault)
Sm (жидкость) (— 6° — 58°) = 0,105 + 0,0011 t	
Температура кипѣнія	= 58°
Скрытая теплота испаренія для 1 кгр. = 43,75 (Berthelot & Gier)	
S (пары) для 1 кб. м. = 0,80	
» для 1 кгр. = 0,0555.	

Стронцій Sr = 87.

Sm (тверд. т.) (0°—100°) = 6,4 (предполож. для атомн. вѣса)
» » = 0,0735 (для 1 кгр.)

Цирконъ Zr = 90.

Sm (0°—100°) = 0,0662 (Mixter & Danna).

Колумбій Cb = 94.

Sm (0°—100°) = 6,4 (предполож. для атомн. вѣса)
» = 0,068 (для 1 кгр.)

Молибденъ Mo = 96.

Sm (5° — 15°) = 0,0659 (De la Rive & Marcet).

Палладій Pd = 106.

Sm (o — t) = 0,0582 + 0,00001 t (Violle)
Температура плавленія = 1500°
Теплота въ твердомъ т. при 1500° = 109,8
Теплота въ жидкомъ т. при 1500° = 146,1
Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 36,3 (Violle).

Серебро Ag = 108.

Согласно опредѣленіямъ Pionchon:

Sm (o — t) (при t < 400°) = 0,0555 + 0,00000943 t
» (при t > 400°) = 0,05758 + 0,00000440 t + 0,000000006 t ²
Температура плавленія = 962°

Теплота въ твердомъ т. при $962^{\circ} = 64,8$
 Теплота въ жидкомъ т. при $962^{\circ} = 89,15$
 Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 24,35
 S (жидкость) ($962^{\circ} - 1020^{\circ}$) = 0,0748 (по наблюденіямъ)
 » » » = 0,0782 (по вычисленіямъ)
 Температура кипѣнія = 1600° (приблѣж., V. Meyer)
 Скрытая теплота испаренія = 43080 (для атомнаго вѣса)
 » » » = 397 (для 1 кгр.)
 S (пары) для 1 куб. м. = 0,225 (предполож.)
 » » » 1 кгр. = 0,046.

Кадмій Cd = 112.

$S_m(o-t) = 0,0546 + 0,000012 t$ (Naccari)
 Температура плавленія = 322°
 Теплота въ тверд. т. при $322^{\circ} = 18,81$ (Naccari)
 Теплота въ жидк. т. при $322^{\circ} = 31,83$ (Person)
 Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 13,02
 S (жидкость) = 0,0623 (по вычисленію)
 Температура кипѣнія = 778° (Berthelot)
 Скрытая теплота испаренія = 24173 (для атомнаго вѣса)
 » » » = 216 (для 1 кгр.)
 S (пары) для 1 куб. м. = 0,225 (по предположенію)
 » » » 1 кгр. = 0,0446.

Олово Sn = 118.

$S_m(o-t) = 0,0560 + 0,000044 t$ (Bede & Regnault)
 Теплота въ твердомъ т. при температурѣ плавленія = 14,34
 Теплота въ жидкомъ т. » » » = 28,16
 Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 13,82
 $S_m(o-t)$ ($232^{\circ} < t < 1000^{\circ}$) согласно Pionchon:
 $0,06129 - 0,000010474 t + 0,000000010345 t^2 + \frac{14,37}{t}$
 S (жидкость) ($250^{\circ} - 340^{\circ}$) = 0,0637 (Person)
 Температура кипѣнія = 1550° (Cornelley)
 Теплота въ жидкомъ тѣлѣ при температурѣ кипѣнія = 159 (вычисл.)
 Скрытая теплота испаренія = 31930 (для атомнаго вѣса)
 » » » = 271 (для 1 кгр.)
 S (пары) для 1 куб. м. = 0,225 (по предположенію)
 » » » 1 кгр. = 0,0424.

Сурьма Sb = 120.

$S_m(o-t) = 0,04864 + 0,0000084 t$ (Naccari)
 Температура плавленія = 632°

Теплота въ твердомъ тѣлѣ при $632^{\circ} = 34,1$ (Naccari)
 Теплота въ жидкомъ тѣлѣ при $632^{\circ} = 74,3$ (Richards)
 Скрытая теплота плавленія $= 40,2$
 S (жидкость) ($632^{\circ}—830^{\circ}$) $= 0,0605$ (Richards)
 Температура плавленія $= 1600^{\circ}$ (Biltz & V. Meyer)
 Теплота въ жидкомъ тѣлѣ при $1600^{\circ} = 131$
 Скрытая теплота испаренія $= 43080$ (для атомнаго вѣса)
 » » » $= 359$ (для 1 кгр.)
 S (пары) для 1 кб. м. $= 0,225$ (по предположенію)
 » » » 1 кгр. $= 0,0416$.

Теллуръ $Te = 126$.

Sm (тверд. т.) ($15^{\circ}—100^{\circ}$) $= 0,0525$ (Fabre)
 Температура плавленія $= 455^{\circ}$ (Richards)
 Теплота въ твердомъ тѣлѣ при $455^{\circ} = 27,3$
 Теплота въ жидкомъ тѣлѣ при $455^{\circ} = 46,3$
 Скрытая теплота плавленія $= 19,0$ (по наблюденіямъ).

Иодъ $I = 127$.

Sm (тверд. т.) ($9^{\circ}—98^{\circ}$) $= 0,05412$ (Regnault)
 Температура плавленія $= 114^{\circ}$
 Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. $= 11,7$ (Person)
 Температура кипѣнія $= 183^{\circ}$
 Скрытая теплота испаренія для 1 кгр. $= 23,95$ (Fabre & Silberman)
 S (пары I^2) для 1 кб. м. $= 0,4088$
 » » » 1 кгр. $= 0,03489$
 S (пары I выше 1200°) для 1 кб. м. $= 0,225$
 » » » 1 кгр. $= 0,0394$
 Скрытая теплота перехода $I^2 = 2 I = 7240$ (для I^2)
 » » » » $= 28,5$ (для 1 кгр.)

Барій $Ba = 137$.

Sm ($0—100$) $= 0,05$ (Менделѣевъ).

Танталъ $Ta = 183$.

Sm ($0—100$) $= 6,4$ (по предположенію для атомнаго вѣса)
 » $= 0,035$ (для 1 кгр.)

Вольфрамъ $W = 184$.

Sm ($6^{\circ}—15^{\circ}$) для 1 кгр. $= 0,035$ (De la Rive & Marcet).

Иридій Ir = 193.

Sm (o—t) = 0,0317 + 0,000006 t (Violle)
 Температура плавленія = 1950° (Violle)
 Скрытая теплота плавленія = 4668 (для атомн. вѣса)
 » » » = 24,2 (для 1 кгр.)
 S (жидкость) = 0,055 (вычислено).

Платина Pt = 195.

Sm (o—t) = 0,0317 + 0,000006 t (Violle)
 Температура плавленія = 1775° (Violle)
 Теплота въ 1 кгр. твердаго тѣла при 1775° = 75,2
 » » жидкаго » = 102,4
 Скрытая теплота плавленія = 27,2
 S (жидкость) = 0,053 (вычислено).

Золото Au = 197.

S (0°—600°) = 0,0316 (постоянная величина по Violle)
 Теплота въ металѣ при 600° = 18,96
 Sm (o—t) (отъ 600° до температуры плавленія) по Violle:

$$0,0289 \quad 0,0000045 t + \frac{18,96}{t}$$
 Теплота въ тверд. т. при темпер. плавл. = 34,63
 » » жидк. » = 50,93 (Roberts Austen)
 Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 16,3 (по наблюден.)
 » » » » = 14,4 (по вычисл.)
 S (жидкость) = 0,0358 (по вычисл.).

Ртуть Hg = 200.

S (твердое тѣло) (при—59°) = 0,0319 (Regnault)
 Sm (жидкость) (—36°—0°) = 0,0333 (Petterson)
 Sm (o—t) (0°—250°) = 0,03337 — 0,00000275 t + 0,0000000667 t² (по Naccari)
 Температура плавленія = — 40°
 Скрытая теплота плавленія для 1 кгр. = 2,84 (Person)
 Температура кипѣнія = 356°.
 Скрытая теплота испаренія для 1 кгр. = 67,8 (Курбатовъ)
 » » » » = 72,5 (по вычислен.)
 S (пары) для 1 куб. м. = 0,225 (по предполож.)
 » » » 1 кгр. = 0,025.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Таллій Tl = 204.

$Sm (17^\circ - 100^\circ) = 0,03355$ (Regnault)
 Температура плавленія = 290°
 Скрытая теплота плавленія = 1182 (для атомнаго вѣса)
 » » » = 5,8 (для 1 кгр.)
 Температура кипѣнія = 1700° (Biltz & V. Meyer)
 Скрытая теплота испаренія = 45380 (для атомнаго вѣса)
 » » » = 224,5 (для 1 кгр.)
 S (пары) для 1 кб. м. = 0,225 (по предполож.)
 » » для 1 кгр. = 0,024.

Свинецъ Pb = 207.

$Sm (0-t) = 0,02925 + 0,000019 t$ (Bede & Regnault)
 Температура плавленія = 326°
 Теплота въ твердомъ тѣлѣ при $326^\circ = 11,6$ (Le Verrier)
 » » жидкомъ » » = 15,6 (Person)
 Скрытая теплота плавленія = 4,0
 S (жидкость) ($335^\circ - 430^\circ$) = 0,0402 (Person).

Висмутъ Bi = 208.

$Sm (0-t) = 0,0285 + 0,00002 t$ (Bede & Regnault)
 Температура плавленія = 267°
 Теплота въ твердомъ тѣлѣ при $267^\circ = 9,0$
 » » жидкомъ » » = 21,0 (Person)
 Скрытая теплота плавленія = 12,0
 S (жидкость) ($280^\circ - 360^\circ$) = 0,0363 (Person).

Торій Th = 232.

$Sm (0^\circ - 100^\circ) = 0,0276$ (Nilson).

Уранъ U = 238.

$Sm (0^\circ - 100^\circ) = 0,028$ (Blumcke).

ГЛАВА V.

Термофизика сплавовъ.

Сплавы олова со свинцомъ.

Составъ % Sn	Sm	Скрытая теплота плавления.
Pb ¹⁶ Sn 4,8	—	5,5 (Mazotto)
Pb ⁵ Sn 10,2	—	8,0 при 307° (Spring)
Pb ⁴ Sn 12,5	—	8,3 при 292° »
Pb ³ Sn 16,0	—	9,1 при 289° »
Pb ² Sn 22,2	—	9,5 при 270° »
Pb Sn 36,3 0,04073 (12° — 99°) (Regnault)		11,6 при 241° »
— 50,0 теплота въ 1 кгр. отъ 0° до 202°		—18,0 (Ledebur)
Pb Sn ² 53,3 0,04507 (10° — 99°) (Regnault)		10,5 при 197° (Mazotto)
Pb Sn ³ 63,1	—	15,5 при 179° (Spring)
Pb Sn ⁴ 69,5	—	17,0 при 188° »
— 83,0 теплота въ 1 кгр. отъ 0° до 205°		21,5 (Ledebur)
Pb Sn ¹⁶ 90,1	—	12,9 (Mazotto)

Сплавы олова съ висмутомъ.

Составъ % Sn	Sm	Скрытая теплота плавления.
Bi ⁸ Sn 6,7	—	11,4 (Mazotto)
Bi ² Sn 22,1	—	11,2 »
Bi Sn 36,2 0,0400 (20° — 99°) (Regnault)		11,6 »
Bi Sn ² 53,1 тверд. 0,0450 (Regnault)		11,6 (Mazotto)
» » жид. 0,0454 (146° — 275°) (Person)		»
Bi Sn ⁴ 69,1	—	11,1 при 140° »
Bi Sn ⁸ 82,7	—	12,6 »
Bi Sn ¹⁶ 90,1	—	12,8 »

Сплавы олова съ цинкомъ.

Составъ % Zn	Sm	Скрытая теплота плавления.
Zn Sn ² 78,4	—	23,5 (Mazotto)
Zn Sn ⁷ 92,7	—	16,2 при 197° »
Zn Sn ¹² 95,6	—	16,3 »
Zn Sn ²⁰ 97,3	—	15,1 »

Сплавы олова и мѣди.

Колокольный металл (20% Sn) $Sm = 0,0862$ ($14^\circ - 98^\circ$) (Regnault)

Бронза (15% Sn) теплота ($0^\circ -$ темпер. плавл.) = 130 (Ledebur)

Сплавы олова и сурьмы.

Металл Британія (90% Sn) теплота ($0^\circ - 236^\circ$, темп. плавл.)
— 28,0 Cal. для 1 кгр. (Ledebur)

(82% Sn) теплота ($0^\circ - 205^\circ$, темп. плавл.) — 25,7 Cal. (Ledebur)

Сплавы олово, висмутъ — сурьма.

(Bi Sn² Sb) — Bi = 34,3%, Sn = 41,9%, Sb = 23,8%

Sm ($15^\circ - 100^\circ$) = 0,0462 (Regnault).

Сплавы олова, висмута, сурьмы и цинка.

(Bi Sn² Sb Zn²) — Bi = 29,8%, Sn = 34,0%, Sb = 17,3%, Zn = 18,9%

Sm ($15^\circ - 100^\circ$) = 0,0566 (Regnault)

Сплавы свинца и висмута.

Составъ	%Pb	Sm	Скрытая теплота плавленія.
Pb Bi ⁸	11,1	—	10,2 (Mazotto)
Pb Bi ²	33,2	—	6,4 »
Pb ² Bi ³	39,9	тврд. ($16^\circ - 99^\circ$) — 0,03165 (Person)	
»	»	жидк. ($144^\circ - 358^\circ$) — 0,03500 (Person)	
Pb ³ Bi ⁴	42,7	—	4,7 при 127° (Mazotto)
Pb Bi	49,9	—	4,0 »
Pb ² Bi	66,6	—	3,6 »
Pb ⁸ Bi	88,8	—	4,9 »

Сплавы свинца и сурьмы.

Съ 63% Pb — Sm ($10^\circ - 98^\circ$) = 0,0388 (Regnault)

Съ 82% Pb теплота въ 1 кгр. расплавл. металла = 15,6 Cal. (Ledebur)

Съ 90% Pb » » » » » = 13,8 Cal. »

Сплавы свинца, олова и висмута.

Сплавъ d'Arcet: Pb = 32,5%, Sn = 18,5%, Bi = 49,0%.

Sm тврд. ($5^\circ - 65^\circ$) = 0,0372 (Mazotto)

Sm тврд. ($12^\circ - 50^\circ$) = 0,049 (Person)

Sm тврд. ($14^\circ - 80^\circ$) = 0,060 »

Sm (жидкость) (107° — 136°)	= 0,047	(Person)
» » (120° — 150°)	= 0,0399	(Mazotto)
» » (136° — 300°)	= 0,0360	(Person)
Скрытая теплота плавленія	= 5,96	при 96° »
» » »	= 5,77	при 99° (Mazotto)
Сплавъ Rose: Pb = 24,0%, Sn = 27,3%, Bi = 48,7%.		
Sm (тврд.) (5° — 65°)	= 0,0375	(Mazotto)
Sm (жидк.) (119° — 338°)	= 0,0422	(Person)
Скрытая теплота плавл.	= 6,85	при 99° (Mazotto)
Легкоплавкій сплавъ: Pb = 31,8, Sn = 36,2, Bi = 32,0		
Sm (тврд.) (18° — 52°)	= 0,0423	(Person)
» » (11° — 98°)	= 0,0448	(Regnault)
Sm (жидк.) (143 — 330°)	= 0,0460	(Person)
Скрытая теплота плавл.	= 7,63	при 145° »
Сплавъ Wood: Pb = 25,8, Sn = 14,7, Bi = 52,5, Cd = 7,0		
Sm (тврд.) (5° — 50°)	= 0,0352	(Mazotto)
Sm (жидк.) (100° — 150°)	= 0,0426	»
Скрытая теплота плавленія	= 7,78	при 75° »
Сплавъ Lipowitz: Pb = 25,0, Sn = 14,2, Bi = 50,7, Cd = 10,1		
Sm (тврд.) (5° — 50°)	= 0,0345	(Mazotto)
Sm (жидк.) (100° — 150°)	= 0,0426	»
Скрытая теплота плавленія	= 8,4	при 75° »

Сплавы мѣди и цинка.

Красная латунь (Cu = 85°, Zu = 15%):

S при 0° = 0,0899 (Lorenz)

S при 50° = 0,0924 »

S при 75° = 0,0940 »

Желтая латунь (Cu = 65%, Zu = 35%):

S при 0° = 0,0883 (Lorenz)

» 50° = 0,0922 »

» 75° = 0,0927 »

Теплота въ 1 кгр. немного перегрѣтой, расплавленной латуни
= 130 Cal. (Ledebur)

Сплавы мѣди, цинка и никкеля.

Нѣмецкое серебро: (74 Cu, 20 Zu, 6 Ni)

Sm (o — t) = 0,0941 + 0,0000053 t (Tomlinson)

Сплавы мѣди и алюминія.

$$(Cu = 88,7\%_o) - Sm (20^\circ - 100^\circ) = 0,10432 \text{ (Лугининъ)}$$

Сплавы серебра и платины.

$$(Ag = 66,7\%_o) - Sm (o - t) = 0,04726 \quad 0,0000138 t \text{ (Tomlinson)}$$

Ртутныя амальгамы олова.

$$\begin{aligned} Hg Sn (37,1\%_o Sn) Sm (-30^\circ - +15^\circ) &= 0,04083 \text{ (Schüz)} \\ \text{»} \quad \text{»} \quad \text{»} (-25^\circ - +15^\circ) &= 0,04218 \quad \text{»} \\ \text{»} \quad \text{»} \quad \text{»} (+22^\circ - 99^\circ) &= 0,07294 \text{ (Regnault)} \\ Hg Sn^2 (54,1\%_o Sn) Sm (+25^\circ - +99^\circ) &= 0,06591 \quad \text{»} \\ Hg Sn^5 (74,7\%_o Sn) Sm (-16^\circ - +15^\circ) &= 0,05039 \text{ (Schüz)} \end{aligned}$$

Ртутныя амальгамы свинца.

$$\begin{aligned} Hg Pb (50,9\%_o Pb) Sm (-69^\circ - +20^\circ) &= 0,03458 \text{ (Schüz)} \\ \text{»} \quad \text{»} \quad Sm (-23 - +99^\circ) &= 0,03827 \text{ (Regnault)} \\ Hg Pb^2 (67,4\%_o Pb) Sm (-72 - +20^\circ) &= 0,03348 \text{ (Schüz)} \end{aligned}$$

Сплавы кадмія съ оловомъ.

$$\begin{aligned} Cd Sn^2 (67,8\%_o Sn) Sm (-77^\circ - +20^\circ) &= 0,05537 \text{ (Schüz)} \\ \text{»} \quad Sm (o - t) &= 0,0557 + 0,00000366 t \quad \text{»} \end{aligned}$$

Углеродистыя соединенія желѣза.

$$\begin{aligned} \text{Мягкая сталь (0,15\%_o C) Sm (20^\circ - 98^\circ)} &= 0,1165 \text{ (Regnault).} \\ \text{Твердая сталь (1,00\%_o C) Sm (20^\circ - 98^\circ)} &= 0,1175 \text{ (Regnault).} \\ \text{Теплота въ 1 кгр. расплавленной стали при 1350^\circ} & \\ &= 300 \text{ Cal. (Ledebur)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Чугунъ (1,0\%_o C) Sm (0 - 1200^\circ)} &= 0,175 \\ Sm (o - t^\circ) &= 0,12 + 0,000046 t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Теплота въ 1 кгр. расплавленного чугуна при 1200^\circ} & \\ &= 245 \text{ Cal. (Ledebur)} \end{aligned}$$

по Акерманн, для доменнаго чугуна при выпускѣ: — 250 — 325 Cal.

Термофизика химическихъ соединеній.

Кислородныя соединенія.

Вода: H²O.

Твердое т.: — ледъ:	Sm (— 78°—0°) = 0,463	(Regnault)
»	» (— 30°—0°) = 0,505	(Person)
Жидкость: —	Sm (0°—100°) = 1 0,00015 t	(Pfaundler)
»	S (при 15°) = 1,0045	(Pfaundler)
»	S (при 0°) = 1,0000	(установлено)

Газъ: — пары (не насыщающіе пространство):

Для 1 куб. м. (0°—2000°)	Sm = 0,34	0,00015 t	(Mallard & Le Chatelier)
» 1 кгр.	» Sm = 0,42	0,000185 t	»
» 1 куб. м. (2000°—4000°)	Sm = 0,48	0,00017 t	(Vielle)
» 1 кгр.	» Sm = 0,59	0,00021 t	»

Для скрытой теплоты испаренія воды примѣняется формула Ренье:

$$Q = 606,5 + 0,305 t,$$

дающая количество тепла, которое нужно сообщить 1 кгр. воды (отъ 0° до t°) чтобы превратить его въ паръ, насыщающій пространство при t°. Такимъ образомъ средняя удѣльная теплота 1 кгр., насыщающаго пространство, пара при постепенно увеличивающемся давленіи (въ зависимости отъ температуры t°), — Sm есть величина постоянная: Sm = 0,305, а для 1 куб. м. (вѣсъ 0,81 кгр.: — Sm = 0,247.

Давленіе, насыщающихъ пространство, паровъ воды, при разныхъ температурахъ, можетъ быть опредѣлено изъ особыхъ таблицъ, ниже помѣщаемъ для справокъ маленькую таблицу этого рода:

Температура.	Давленіе млм. Hg.	Температура.	Давленіе млм. Hg.
0°	4,6	—	—
5°	6,5	55°	117,5
10°	9,1	60°	148,9
15°	12,7	65°	187,1
20°	17,4	70°	233,3
25°	23,5	75°	288,8
30°	31,5	80°	354,9
35°	41,8	85°	433,2
40°	54,9	90°	525,5
45°	71,4	95°	633,7
50°	92,0	100°	760,0

Кромѣ вышеприведеннаго мы имѣемъ для воды:

Скрытая теплота плавленія	(0°) = 80 Cal. (Bunsen)
» » испаренія	(0°) = 606,5 (Regnault)
» » »	(100°) = 637 — 100 = 537 Cal.
» » »	1 кгр. при t° = (606,5 — 0,305 t) — t.

Окись Бериллія Be²O³.

Sm (0°—100°) = 0,2471 (Nilson & Petterson).

Окись Бора B²O³.

Sm (16°—98°) = 0,2374 (Regnault).

Окись Углерода CO.

Sm (o—t) для 1 кб. м. (до 2000°)	= 0,303 + 0,000027 t (Mallard & Le Chatelier)
Sm (o—t) для 1 кгр. (до 2000°)	= 0,2405 + 0,0000214 t
Sm (o—t) » 1 кб. м. (2000°—4000°)	= 0,2575 + 0,000072 t (Berthelot)
Sm (o—t) » 1 кгр. (2000°—4000°)	= 0,2041 + 0,000057 t

Углекислота CO².

Sm (o—t) для 1 кб. м. (до 2000°)	= 0,37 + 0,00022 t (Mallard & Le Chatelier)
» » 1 кгр. »	= 0,19 + 0,00011 t » »
Sm (o—t) для 1 кб. м. (2000°—4000°)	= 0,815 + 0,0000675 t (Vielle)
» » 1 кгр. »	= 0,42 + 0,000034 t »

Перекись Азота NO².

Sm (27°—280°) для 1 кб. м.	= 1,35 (Berthelot & Ogier)
» 1 кгр.	= 0,65.

Окись Магнія MgO.

Sm (24°—100°)	= 0,2440 (Regnault)
Sm (o—t)	= 0,2420 + 0,000016 t (предполож.)
Mg (OH) ² — Sm (19°—50°)	= 0,312 (Корр.)

Окись Аллюминія Al²O³ (корундъ, глиноземъ).

Sm (o—t) (до 1200°)	= 0,2081 + 0,0000876 t (Richards)
Температура плавленія	= 2200 (приблизит)
Скрытая теплота плавленія	= 5193 (для молекулы)
» »	= 50,9 (для 1 кгр.)
Теплота въ тверд. т. при 2200°	= 881,8 Cal.
» въ жидк. »	= 932,7 Cal.
S (жидкость)	= 0,5935 (вычисл.)

Окись Кремнія SiO² (кварцъ, кремнеземъ).

Sm (o—t) (до 1200°)	= 0,1833 + 0,000077 t (Richards)
Температура плавленія	= 1900° (Boudouard)
Скрытая теплота плавленія для 1 кгр.	= 135 (Voigt)
Теплота въ тверд. т. при 1900°	= 626
Теплота въ жидк. »	= 761
S (жидкость)	= 0,476 (вычисл.)

Сѣрнистый Ангидридъ SO².

Sm (16°—202°) для 1 кб. м.	= 0,4447 (Regnault)
» для 1 кгр.	= 0,1544

Допустимъ что молекулярная удѣльная теплота SO² = 8 (т. е. 5 + число атомовъ въ молекулѣ), тогда мы будемъ имѣть приблизительно: S (при 0°) для 1 кб. м. = $\frac{8}{22,22} = 0,36$ и слѣдовательно, согласуя эту величину съ той, которая была дана Ренье, можно написать:

Sm o(—t) для 1 кб. м.	= 0,36	0,0003 t
» » 1 кгр.	= 0,125	0,0001 t.

Пока не будетъ непосредственныхъ опредѣленій, придется пользоваться приближенной величиной Sm (o—t).

Сѣрный Ангидридъ SO³.

Въ виду отсутствія опытныхъ опредѣленій положимъ:
Sm (при 0°) для молекулы = 9,0 слѣдовательно:

» » 1 кб. м.	= 0,405
« » 1 кгр.	= 0,10

Для коэффициента при t возьмемъ ту-же величину какъ и для NH³, тогда получимъ:

Sm (o—t) для молекулы	= 9,0	0,0036 t
» » 1 кб. м.	= 0,405	0,00017 t
» » 1 кгр.	0,100	0,00004 t

Окись Кальція CaO (известъ).

Къ сожалѣнію и въ этомъ случаѣ пока отсутствуетъ опытное опредѣленіе Sm.

Предположимъ что молекулярная удѣльная теплота CaO та-же что и MgO, опредѣленная Regnault (24°—100°), т. е.:

$$0,2440 \times 40 = 9,76 \text{ тогда:}$$

$$Sm (24^\circ - 100^\circ) = \frac{9,76}{56} = 0,1743 \text{ для 1 кгр.}$$

Можно еще поступить инымъ образомъ, а именно принять среднюю молекулярную удѣльную теплоту соединенія типа MO за $6,4 + 3,6 = 10$ Cal. (въ предѣлѣ $0^\circ - 100^\circ$) и предположить увеличенію Sm на $0,04\%$ на каждый градусъ. Тогда для 1 кгр.

$$Sm (0-100^\circ) = \frac{10}{56} = 0,1786$$

$$S (\text{при } 0^\circ) = \frac{0,1786}{1,04} = 0,1717 \text{ и слѣдовательно:}$$

$$Sm (0-t) = 0,1717 + 0,00007 t$$

Окись Титана TiO².

$$S (\text{до } 200^\circ) \dots = 0,1790 \text{ (Nilson \& Pettersson)}$$

$$Q (0-200^\circ) \dots = 35,8 \text{ Cal.}$$

$$Q (0-t) (t > 200^\circ) = 35,8 + 0,1790 (t - 200) + 0,000055 (t - 200)^2$$

Окись Хрома Cr²O³.

$$Sm (10^\circ - 99^\circ) \dots = 0,1796 \text{ (Regnault)}$$

Марганцовыя окиси.

$$MnO \quad Sm (13 - 98) = 0,1570 \text{ (Regnault)}$$

$$Mn^2O^3 \quad Sm (15 - 99) = 0,1620 \text{ (Oeberg)}$$

$$\text{(Манганитъ)} Mn^2O^3H^2O - Sm (21^\circ - 52^\circ) = 0,1760 \text{ (Kopp)}$$

$$\text{(Пиролозитъ)} MnO^2 - Sm (17^\circ - 48^\circ) = 0,1590 \quad \gg$$

Жельзныя окиси.

$$Fe^2O^3 = Sm (0-t) = 0,1456 + 0,000188 t \text{ (Regnault \& Richards)}$$

$$Fe^3O^4 = Sm (0-t) = 0,1447 + 0,000188 t \quad \gg$$

Окись Никкеля NiO.

$$Sm (13^\circ - 98^\circ) = 0,1588$$

Мѣдныя окиси.

$$Cu^2O = Sm (19^\circ - 51^\circ) = 0,1110 \text{ (Oeberg)}$$

$$CuO = Sm (12^\circ - 98^\circ) = 0,1420 \text{ (Regnault)}$$

Окись Цинка ZnO.

$$Sm (0-t) (\text{до } 1000^\circ) = 0,1212 + 0,0000315 t \text{ (Richards)}$$

Мышьяковистый ангидридъ As²O³.

$$Sm (13^\circ - 97^\circ) = 0,1276 \text{ (Regnault)}$$

Окись Циркона ZrO^2 .

Sm (o — 100°) = 0,1076 (Nilson & Pettersson)

Окись Колумбія Sb^2O^5 .

Sm (o — t) = 0,1037 + 0,00007 t (Kruss & Nilson)

Окись Молибдена MoO^3

Sm (21° — 52°) = 0,1540 (Kopp)

Окись Олова Sn^2O .

Sm (16° — 98°) = 0,0936 (Regnault)

Sm (o — t) = 0,1050 + 0,000006 t (Richards)

Сурьмянистый Ангидридъ Sb^2O^3 .

Sm (18° — 100°) = 0,0927 (Neumann)

Окись Вольфрама WO^3 .

Sm (8° — 98°) = 0,0798 (Regnault)

Окись ртути Hgo.

Sm (5° — 98°) = 0,0518 (Regnault)

Окись Свинца PbO .

Sm (22° — 98°) = 0,0512 (Regnault)

Окись Висмута Bi^2O^3

Sm (20 — 98°) = 0,0605 (Regnault)

Окись Торія Th^2O^3 .

Sm (0 — 100) = 0,0548 (Nilson & Pettersson)

Соединенія съ хлоромъ.

Водородъ, HCl (газъ):

Sm для 1 кгр. (22° — 214°) . . . = 0,1867 (Regnault)

» 1 куб. м. (22° — 214°) . . . = 0,3067 »

Литій, LiCl (тверд. т.):

Sm для 1 кгр. (13° — 97°) . . . = 0,2821 Cal. »

Углеродъ, CCl⁴ (жидкость):

Скрытая теплота испаренія при 0° . . . = 52,0 » »

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Аммоній, NH_4Cl (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($23^\circ - 100^\circ$)	. =	0,3908	» (Neumann)
Натрій NaCl (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($15^\circ - 98^\circ$)	. =	0,2140	» (Regnault)
Магній, MgCl_2 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($24^\circ - 100^\circ$)	. =	0,1946	»
Кремній, SiCl_4 (жидкость):			
Sm для 1 кгр. ($10^\circ - 15^\circ$)	. =	0,1904	»
SiCl_4 (газь) Sm для 1 кгр. ($90^\circ - 234^\circ$)	=	0,1322	»
SiCl_4 (газь) Sm для 1 куб. м. ($90^\circ - 234^\circ$)	=	1,0113	»
Калій, KCl (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($14^\circ - 99^\circ$)	. =	0,1730	»
Кальцій, CaCl_2 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($23^\circ - 99^\circ$)	. =	0,1642	»
Титанъ, TiCl_4 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($13^\circ - 99^\circ$)	. =	0,1881	»
TiCl_4 (газь) Sm для 1 кгр. ($163^\circ - 271^\circ$)	=	0,1290	»
Хромъ, CrCl_2 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. . . . .	. =	0,1430	» (Kopp)
Марганецъ, MnCl_2 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. . . . .	. =	0,1425	» (Regnault)
Скрытая теплота испаренія	. =	49,37	» (Ogier)
Мѣдь, CuCl (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($17^\circ - 98^\circ$)	. =	0,1383	» (Regnault)
Цинкъ, ZnCl_2 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($21^\circ - 99^\circ$)	. =	0,1362	»
Мышьякъ, AsCl_3 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($14^\circ - 98^\circ.3$)	. =	0,0896	»
(газь) Sm для 1 кгр. ($159^\circ - 208^\circ$)	. =	0,1122	»
Скрытая теплота испаренія	. =	69,74	»
Стронцій, SrCl_2 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($13^\circ - 98^\circ$)	. =	0,1199	»
Серебрó, AgCl (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($15^\circ - 98^\circ$)	. =	0,0911	»
($160^\circ - 380^\circ$)	=	0,0978	» (Ehrhardt)
Олово, SnCl_2 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($20^\circ - 99^\circ$)	. =	0,1016	» (Regnault)
Олово, SnCl_4 (жидк.):			
Sm для 1 кгр. ($14^\circ - 98^\circ$)	. =	0,1476	Cal. (Regnault)
(газь) Sm для 1 кгр. ($149^\circ - 273^\circ$)	=	0,0939	»
Скрытая теплота испаренія при 112°	=	46,84	»
Барій, BaCl_2 (твѣрд. т.):			
Sm для 1 кгр. ($14^\circ - 98^\circ$)	. =	0,0896	»

Ртуть, HgCl (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (7°—99°).	.	= 0,0521 Cal. (Regnault)
Ртуть, HgCl ² (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (13°—98°)	.	= 0,0689 » »
Свинецъ, PbCl ² (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (20°—100°)	.	= 0,0651 » (Luginin)
» (160°—380°)	.	= 0,0707 Cal. (Ehrhardt)
(жидк.) Sm для 1 кгр. свыше 485°	.	= 0,1035 » »
Скрытая теплота плавленія при 485°		= 20,90 » »

Соединенія съ Бромомъ.

Водородъ, HBr (газъ):		
Sm для 1 кгр. (11°—100°)	.	= 0,0820 Cal. (Strecker)
Sm для 1 куб. м (11°—100°)	.	= 0,2989 » »
Натрій NaBr:		
Sm для 1 кгр.	.	= 0,1384 » (Regnault)
Калій, KBr (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (16°—98°)	.	= 0,1132 » »
Серебро, AgBr (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (15°—98°)	.	= 0,0739 » »
Свинецъ, PbBr ² (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (16°—98°)	.	= 0,0532 » »
(190°—430°)	.	= 0,0532 Cal. (Ehrhardt)
Скрытая теплота плавленія при 490°		= 12,34 » »

Соединенія съ іодомъ.

Водородъ, HI (газъ):		
Sm для 1 кгр. (21°—100°)	.	= 0,0550 Cal. (Strecker)
Sm для 1 куб. м. (21°—100°)	.	= 0,3168 » »
Натрій, NaI (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (16°—99°)	.	= 0,0868 Cal. (Regnault)
Калій, KI (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (20°—99°)	.	= 0,0819 » »
Мѣдь, CuI (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (18°—99°)	.	= 0,0687 » »
Серебро, AgI (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (15°—264°)	.	= 0,0577 Cal. (Bellati & Romanese)
Ртуть, HgI (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (17°—99°)	.	= 0,0395 Cal. (Regnault)
Ртуть, HgI ² (твѣрд. т.):		
Sm для 1 кгр. (18°—99°)	.	= 0,0420 » »

Свинецъ, PbI^2 (твѣрд. т.):

Sm для 1 кгр. ($14^\circ—98^\circ$)	. = 0,0427 Cal. (Regnault)
($160^\circ—315^\circ$) .	. = 0,0430 Cal. (Ehrhardt)
(жидк.) свыше 375°	= 0,0645 » »
Скрытая теплота плавленія при 375°	= 11,50 » »

Соединенія съ фторомъ.

Натрій-Алюминій, $3NaF, AlF^3$:

Sm для 1 кгр. ($16^\circ—99^\circ$) .	. 0,2522 (Oeberg)
(Криолитъ).	

Кальцій, CaF^2 :

Sm для 1 кгр. ($15^\circ—99^\circ$) .	. = 0,2154 (Regnault)
---	-----------------------

Сѣрнокислыя соединенія.

Водородъ, H^2SO^4 :

Sm для 1 кгр. ($5^\circ—22^\circ$).	= 0,332 (Cattanes)
Скрытая теплота испаренія при 326°	= 122,1 Cal. (Person)

Натрій, Na^2SO^4 :

Sm для 1 кгр. ($17^\circ—98^\circ$) .	. = 0,2312 (Regnault)
---	-----------------------

Магній, $MgSO^4$:

Sm для 1 кгр. ($25^\circ—100^\circ$) .	. = 0,2250 (Pape)
--	-------------------

Калій, K^2SO^4 :

Sm для 1 кгр. ($15^\circ—98^\circ$) .	. = 0,1901 (Regnault)
---	-----------------------

$KHSO^4$:

Sm для 1 кгр. ($19^\circ—51^\circ$) .	. = 0,2440 (Kopp)
---	-------------------

Кальцій, $CaSO^4$:

Sm для 1 кгр. ($13^\circ—90^\circ$) .	. = 0,1965 (Regnault)
---	-----------------------

Марганецъ, $MnSO^4$:

Sm для 1 кгр. ($21^\circ—100^\circ$) .	. = 0,1820 (Pape)
--	-------------------

Никкель, $NiSO^4$:

Sm для 1 кгр. ($15^\circ—100^\circ$) .	. = 0,2160 »
--	--------------

Мѣдь, $CuSO^4$:

Sm для 1 кгр. ($23^\circ—100^\circ$) . .	. = 0,1840 »
--	--------------

Цинкъ, $ZnSO^4$:

Sm для 1 кгр. ($22^\circ—100^\circ$) .	. = 0,1740 »
--	--------------

Стронцій, $SrSO$:

Sm для 1 кгр. ($22^\circ—99^\circ$) .	. = 0,1428 (Regnault)
---	-----------------------

Барій, $BaSO^4$:

Sm для 1 кгр. ($10^\circ—98^\circ$) .	. = 0,1128 »
---	--------------

Свинецъ, $PbSO^4$:

Sm для 1 кгр. ($20^\circ—99^\circ$) .	. = 0,0827 »
---	--------------

Азотнокислыя соединенія.

Водородъ, HNO^3 :

Скрытая теплота испаренія при $326^\circ = 115,1$ Cal. (Person)

Аммоній, NH^4NO^3 :

Sm для 1 кгр. ($14^\circ - 31^\circ$) . . . = 0,4550 (Kopp)

Натрій, NaNO^3 :

Sm для 1 кгр. ($14^\circ - 98^\circ$) . . . = 0,2782 (Regnault)

NaNO^3 (жидк.) Sm для 1 кгр. ($320^\circ - 430^\circ$) = 0,4130 (Person)

NaNO^3 скрытая теплота плавленія при $305,5^\circ = 64,87$ Cal. (Person)

Калій, KNO^3 :

Sm для 1 кгр. ($13^\circ - 98^\circ$) . . . = 0,2387 (Regnault)

KNO^3 (жидк.) Sm для 1 кгр. ($350^\circ - 435^\circ$) = 0,3319 (Person)

Скрытая теплота плавленія при $333,5^\circ = 48,90$ Cal. (Person)

Натрій-Калій, $(\text{K,Na})\text{NO}^3$:

Sm для 1 кгр. ($15^\circ - 100^\circ$) . . . = 0,2350 (Person)

Стронцій, $\text{Sr}(\text{NO}^3)^2$:

Sm для 1 кгр. ($17^\circ - 47^\circ$) . . . = 0,1810 (Kopp)

Серебро, AgNO^3 :

Sm для 1 кгр. ($16^\circ - 99^\circ$) . . . = 0,1435 (Regnault)

Барій, $\text{Ba}(\text{NO}^3)^2$:

Sm для 1 кгр. ($13^\circ - 98^\circ$) . . . = 0,1523 »

Свинець, $\text{Pb}(\text{NO}^3)^2$:

Sm для 1 кгр. ($17^\circ - 100^\circ$) . . . = 0,1173 (Neumann)

Углекислыя соединенія.

Натрій, Na^2CO^3 :

Sm для 1 кгр. ($16^\circ - 98^\circ$) . . . = 0,2728 (Regnault)

Калій, K^2CO^3 .

Sm для 1 кгр. ($23^\circ - 99^\circ$) . . . = 0,2162 »

Кальцій (кальцитъ), CaCO^3 :

Sm для 1 кгр. ($20^\circ - 100^\circ$) . . . = 0,2086 »

Кальцій (арагонитъ), CaCO^3 :

Sm для 1 кгр. ($18^\circ - 99^\circ$) . . . = 0,2085 »

Кальцій (мраморъ), CaCO^3 :

Sm для 1 кгр. ($23^\circ - 98^\circ$) . . . = 0,2099 »

Кальцій-магній, $\text{CaMg}(\text{CO}^3)^2$:

Sm для 1 кгр. ($20^\circ - 100^\circ$) . . . = 0,2179 »

Магній-желѣзо, $\text{Mg}^7\text{Fe}^2(\text{CO}^3)^9$:

Sm для 1 кгр. ($17^\circ - 100^\circ$) . . . = 0,2270 (Neumann)

Желѣзо (сидеритъ), FeCO^3 :

Sm для 1 кгр. ($9^\circ - 98^\circ$) . . . = 0,1935 (Regnault)

Стронцій, SrCO^3 :

Sm для 1 кгр. ($8^\circ - 98^\circ$) . . . = 0,1475 »

Барій, BaCO³:Sm для 1 кгр. (11⁰—99⁰) . = 0,1104 »Свинець, PbCO³:Sm для 1 кгр. (16⁰—47⁰) . = 0,0791 (Корр)

Хромовыя соединенія.

Калій, K²CrO⁴:Sm для 1 кгр. (19⁰—98⁰) . = 0,1851 (Regnault)Калій, K²Cr²O⁷:Sm для 1 кгр. (16⁰—98⁰) . = 0,1894 »Свинець, PbCrO⁴:Sm для 1 кгр. (19⁰—50⁰) . = 0,0900 (Корр)Хромитъ, FeCrO⁴:Sm для 1 кгр. (19⁰—50⁰) . = 0,1590 »

Борныя соединенія.

Натрій, Na²B²O⁴:Sm для 1 кгр. (17⁰—97⁰) . = 0,2571 (Regnault)Na²B⁴O⁷:Sm для 1 кгр. (16⁰—98⁰) . = 0,2382 »Калій, K²B²O⁴:Sm для 1 кгр. (16⁰—98⁰) . . . = 0,2048 »K²B⁴O⁷ Sm для 1 кгр. (18⁰—99⁰) . = 0,2198 »Свинець, PbB²O⁴:Sm для 1 кгр. (15⁰—98⁰) . . . = 0,0905 »PbB⁴O⁷ Sm для 1 кгр. (16⁰—98⁰) . = 0,1141 »

Фосфорнокислыя соединенія.

Натрій, Na⁴P²O⁷:Sm для 1 кгр. (17⁰—98⁰) . . = 0,2283 »Калій, K⁴P²O⁷:Sm для 1 кгр. (17⁰—98⁰) . = 0,1901 »Кальцій, CaP²O⁶:Sm для 1 кгр. (15⁰—98⁰) . = 0,1992 »Апатитъ, 3Ca³P²O⁸. CaF²:Sm для 1 кгр. (15⁰—99⁰) . = 0,1903 (Oeberg)Серебро, Ag³PO⁴:Sm для 1 кгр. (19⁰—50⁰) . = 0,0898 (Корр)Свинець, Pb²P²O⁷:Sm для 1 кгр. (11⁰—98⁰) . = 0,0821 (Regnault)Свинець, Pb³P²O⁸:Sm для 1 кгр. (11⁰—98⁰) . = 0,0798 »

Алюминаты и другія соединенія.

Спинель, $MgAl^2O^4$:		
Sm для 1 кгр. ($15^\circ-47^\circ$)	.	=0,1940 (Kopp)
Хризобериль, $BeAl^2O^4$:		
Sm для 1 кгр. ($0^\circ-100^\circ$)	.	=0,2004 (Nilson & Pettersson)
Ильменитъ, $FeTiO^3$:		
Sm для 1 кгр. ($15^\circ-50^\circ$)	.	=0,177 (Kopp)
Вульфенитъ, $PbMoO^4$:		
Sm для 1 кгр. ($15^\circ-50^\circ$)	.	=0,083 »
Шилитъ, $CaWO^4$:		
Sm для 1 кгр. ($15^\circ-50^\circ$)	.	=0,097 »
Вольфрамитъ, $Fe(Mn)WO^4$:		
Sm для 1 кгр. ($15^\circ-50^\circ$)	.	=0,098 »
$KMnO^4$ Sm для 1 кгр. ($15^\circ-50^\circ$)	.	=0,179 »
$KClO^3$ Sm для 1 кгр. ($10^\circ-100^\circ$)	.	=0,210 (Regnault)

Разныя соединенія.

Стекло, Са, К Силикатъ:		
Sm для 1 кгр. ($14^\circ-99^\circ$)	.	=0,1977 (Regnault)
Sm для 1 кгр. ($0^\circ-300^\circ$)	.	=0,190 (Dulong & Petit)
Флинтъ-глассъ:		
Sm для 1 кгр. ($10^\circ-50^\circ$)	.	=0,117 (H. Meyer)
Крунъ-глассъ:		
Sm для 1 кгр. ($10^\circ-50^\circ$)	.	=0,161 »
Парафинъ (тверд. т.):		
Sm для 1 кгр. ($10^\circ-15^\circ$)	.	=0,562 (Battelli)
Sm для 1 кгр. ($35^\circ-40^\circ$)	.	=0,622 »
(жидк.) Sm для 1 кгр. ($52^\circ-63^\circ$)	.	=0,706 »
Пчелинный воскъ (тверд. т.):		
Sm для 1 кгр. ($26^\circ-42^\circ$)	.	=0,820 (Person)
Sm для 1 кгр. ($42^\circ-58^\circ$)	.	=0,720 »
(жидк.) Sm для 1 кгр. ($65^\circ-100^\circ$)	.	=0,499 »
Вулканитъ:		
Sm для 1 кгр. ($20^\circ-100^\circ$)	.	=0,331 (A. M. Mayer)
Мягкая резина—пара:		
Sm для 1 кгр. ($0^\circ-100^\circ$)	.	=0,481 (H. Gee & Terry)
Амміакъ—(газъ), NH^3 :		
Sm (o—t) 1 куб. м.	.	=0,38 —0,00016t (Le Chate- lier)
Метанъ, CH^4 :		
Sm (o—t) 1 куб. м.	.	=0,38 —0,00022t »
Этиленъ, C^2H^4 :		
Sm (o—t) 1 куб. м.	.	=0,46 —0,0003t »

Сѣрнистыя соединенія.

Водородъ, H^2S (газъ):

Sm для 1 кгр. (20° — 206°)	= 0,2451 (Regnault)
Sm для 1 куб. м. (20° — 206°).	= 0,3750 Cal. (Regnault)
(0—t) 1 куб. м. = 0,34 + 0,00015 t	

Углеродъ, CS^2 (жидк.):

Sm для 1 кгр. (14° — 29°)	= 0,2468 (Person)
(газъ) Sm для 1 кгр. (86° — 190°)	= 0,1596 (Regnault)
Sm для 1 куб. м. (86° — 190°).	= 0,5458 »
Скрытая теплота испаренія при 46° = 83,8 Cal. (Wirtz)	

Марганецъ, MnS :

Sm для 1 кгр. (10° — 100°)	= 0,1392 (Sella)
--	------------------

Желѣзо, FeS :

Sm для 1 кгр. (17° — 98°)	= 0,1357 (Regnault)
---	---------------------

 Fe^7S^8 :

Sm для 1 кгр. (20° — 100°).	= 0,1602 »
---	------------

Пиритъ, FeS^2 :

Sm для 1 кгр. (19° — 98°)	= 0,1301 »
---	------------

Никкель, NiS :

Sm для 1 кгр. (15° — 98°)	= 0,1281 »
---	------------

Кобальтъ, CoS :

Sm для 1 кгр. (15° — 98°)	= 0,1251 »
---	------------

Мѣдь, Cu^2S :

Sm для 1 кгр. (9° — 97°).	= 0,1212 »
Sm для 1 кгр. (0° — t°)	= 0,1126 + 0,00009 t (Bellati & Lussana)

Цинкъ, ZnS :

Sm для 1 кгр. (15° — 98°)	= 0,1230 (Regnault)
---	---------------------

Мышьякъ, AsS :

Sm для 1 кгр. (20° — 100°)	= 0,1111 (Neumann)
As^2S^3 Sm для 1 кгр. (20° — 100°).	= 0,1132 »
(0—t) 1 куб. м. = 0,34 + 0,00015 t	

Молибденъ, MoS^2 :

Sm для 1 кгр. (20° — 100°)	= 0,1233 (Regnault)
--	---------------------

Серебро, Ag^2S :

Sm для 1 кгр. (7° — 98°).	= 0,0746 (Regnault & Sella)
Sm для 1 кгр. (0° — t°)	= 0,0685 + 0,00005 t (Bellati & Lussana)

Олово, SnS :

Sm для 1 кгр. (13° — 98°)	= 0,0837 (Regnault)
SnS^2 Sm для 1 кгр. (12° — 95°)	= 0,1193 »

Сурьма, Sb^2S^3 :

Sm для 1 кгр. (23° — 99°)	= 0,0840 »
---	------------

Ртуть, HgS:

Sm для 1 кгр. (14°—98°) . . . = 0,0512 (Regnault)

Свинецъ, PbS:

Sm для 1 кгр. (16°—98°) . . . = 0,0509 »

Q (расплавленный при 1050°) . . . = 104 Cal.

Висмутъ, Bi²S³:

Sm для 1 кгр. (11°—99°) . . . = 0,0600 (Regnault)

Сложныя сѣрнистыя соединенія.

Борнитъ, Cu³FeS³:

Sm для 1 кгр. (10°—100°) . . . = 0,1177 (Sella)

Калькопиритъ, CuFeS²:

Sm для 1 кгр. (14°—98°) . . . = 0,1310 (Kopp)

Тетраэдритъ, Cu⁴Sb²S⁷:

Sm для 1 кгр. (10°—100°) . . . = 0,0987 (Sella)

Бурнонитъ, PbCuSbS³:

Sm для 1 кгр. (10°—100°) . . . = 0,0730 »

Миспикель, FeAsS:

Sm для 1 кгр. (10°—100°) . . . = 0,1030 »

Кобальтитъ, CoAsS:

Sm для 1 кгр. (15°—99°) . . . = 0,0991 »

Пруститъ, Ag³AsS³:

Sm для 1 кгр. (10°—100°) . . . = 0,0807 »

Пираржиритъ, Ag³SbS³:

Sm для 1 кгр. (10°—100°) . . . = 0,0757 »

Соединенія съ мышьякомъ и сурьмой.

Лоллингитъ, FeAs²:

Sm для 1 кгр. (10⁰—100⁰) . . . = 0,864 (Sella)

Смальтитъ, CoAs²:

Sm для 1 кгр. (10°—100°) . . . = 0,0830 »

Домейкитъ, Cu³As:

Sm для 1 кгр. (10°—100°) . . . = 0,0949 »

Дискразитъ, Ag³Sb:

Sm для 1 кгр. (10°—100°) . . . = 0,0558 »

С и л и к а т ы.

Магній (Оливинъ), Mg²SiO⁴:

Sm (0°—100°) = 0,2200 (Vogt)

Температура плавленія = 1400° »

Скрытая теплота плавленія = 130 Cal. (Vogt)

Q (твѣрд. т.) (0°—1400°) = 520 » »

Магній (Энстатитъ), MgSiO^3 (съ небольшимъ количеств. Са, замѣщ. Mg)

S_m (0° — 100°) = 0,206 (Vogt)

S_m (0° — 1200°) = 0,301 »

Температура плавленія = 1300° »

Q (твѣрд. т.) (0° — 1300°) = 403 Cal. (Vogt)

Скрытая теплота плавленія = 125 » »

Алюминій (Топазъ), $\text{Al}^2\text{Si}(\text{F})\text{O}^5$:

S_m (12° — 100°) = 0,1997 (Joly)

Алюминій-Берилій (Берилъ), $\text{BeAl}^2\text{Si}^2\text{O}^8$:

S_m (12° — 100°) = 0,2066 »

Калій-Алюминій (Микроклинъ), KAlSi^3O^8 Триклин. сист.

S_m (20° — 100°) = 0,197 (Богоявленскій)

Температура плавленія = 1170° (Vogt)

Скрытая теплота плавленія = 83 Cal. (Vogt)

Калій-Алюминій (Ортоклазъ) KAlSi^2O^8 —Моноклин. сист.

S_m (20° — 100°) = 0,1877 (Oeberg)

Температура плавленія = 1200° (Vogt)

Скрытая теплота плавленія = 100 Cal. (Vogt)

Кальцій-Алюминій (Анортитъ), $\text{CaAl}^2\text{Si}^2\text{O}^8$:

S_m (0° — 100°) = 0,189 (Vogt)

S_m (0° — 1200°) = 0,294 »

Температура плавленія = 1220° »

Q (твѣрд. т.) (0° — 1220°) = 358 Cal. (Vogt)

Скрытая теплота плавленія = 100 » »

Кальцій (Волластонитъ), CaSiO^3 :

S_m (0° — 100°) = 0,179 (Vogt)

S_m (0° — 1200°) = 0,288 »

Температура плавленія = 1250° »

Q (твѣрд. т.) (0° — 1250°) = 360 Cal. (Vogt)

Скрытая теплота плавленія = 100 » »

Кальцій-Магній (Малаколитъ), $\text{Ca}^3\text{MgSi}^4\text{O}^{12}$:

S_m (0° — 100°) = 0,186 (Vogt)

S_m (0° — 1200°) = 0,264 »

Температура плавленія = 1200° »

Q (твѣрд. т.) (0° — 1200°) = 319 Cal. (Vogt)

Скрытая теплота плавленія = 94 » »

Кальцій-Магній (Диопсидъ), $\text{CaMgSi}^2\text{O}^6$:

S_m (0° — 100°) = 0,194 (Vogt)

S_m (0° — 1200°) = 0,281 »

Температура плавленія = 1225° »

Q (твѣрд. т.) (0° — 1225°) = 344 Cal. (Vogt)

Скрытая теплота плавленія = 100 » »

Желѣзо (Файалитъ), Fe^2SiO^4 :

Sm (0^0-100^0)	= 0,1700	»
Q (тверд. т.) (0^0-1040^0)	= 310 Cal. (Vogt)	
Скрытая теплота плавленія	= 85	» »

Желѣзо-Алюминій (Гарнетъ), $Fe^3Al^2Si^3O^{12}$:

Sm (16^0-100^0)	= 0,1758 (Oeberg)
Температура плавленія	= 1145^0 (Joly)

Цирконій (Цирконъ), $ZrSiO^4$:

Sm (15^0-100^0)	= 0,1456 (Regnault)
Температура плавленія	= 1760^0 (Joly)

Пемза Sm (10^0-100^0) = 0,240 (Dunn)

Лава изъ Этны, 1669:

Sm (0^0-500^0)	= 0,182 + 0,000155 t (Bartoli)
Sm (500^0-800^0)	= 0,270 (Bartoli)

Кристаллическій шлакъ:

Sm (14^0-99^0)	= 0,1888 (Oeberg)
------------------------------	-------------------

Эмалевидный шлакъ:

Sm (15^0-99^0)	= 0,1865	»
------------------------------	----------	---

Бессемеровскій шлакъ:

Sm (14^0-99^0)	= 0,1691	»
------------------------------	----------	---

Базальтъ Sm (20^0-470^0) = 0,1990 (Roberts Austen)

Гранитъ Sm (20^0-524^0) = 0,2290 (Bartoli)

Удѣльная теплота силикатовъ можетъ быть приблизительно вычислена на основаніи ихъ анализа, относя къ каждой изъ составныхъ частей соотвѣтствующую ей удѣльную теплоту. Намъ извѣстны удѣльныя теплоты слѣдующихъ окисловъ (при 0^0):

SiO^2	= 0,1833
Al^2O^3	= 0,2081
Fe^2O^3	= 0,1456
MgO	= 0,2420
CaO	= 0,1717 (прибл.)

Кромѣ того можно принять еще слѣдующія значенія, дающія результаты согласныя съ практикой:

FeO	= 0,1460
MnO	= 0,1511
K^2O	= 0,1390
Na^2O	= 0,2250
Li^2O	= 0,4430

Для полученія S при температурѣ t^0 можно принять что удѣльная теплота увеличивается на 0,078% на каждый градусъ, а Sm на 0,039%, такимъ образомъ:

$$S = S_0 \times (1 + 0,00078 t)$$

$$Sm = S_0 \times (1 + 0,00039 t)$$

$$Q (0^0-t^0) = Sm \times t$$

Кромѣ того Vogt показалъ что если вычислено количество тепла въ силикатѣ отъ -273° до температуры плавленія, то скрытая теплота плавленія составляетъ отъ 20 до 25% этого количества.

Askermann опредѣлилъ для многихъ силикатовъ, встрѣчающихся въ металлургии, количество тепла, содержащееся въ 1 кгр., между 0° и температурой плавленія. Эти количества измѣняются у него въ предѣлахъ 347—530 Cal., главнымъ образомъ въ зависимости отъ температуры плавленія шлака. Помѣщаемъ ниже сокращенную таблицу полученныхъ имъ результатовъ.

Cal.	% SiO ₂ .	% CaO.	% Al ₂ O ₃ .
347	| 59	36	5
	| 39	42	19
350 .	| 63	35	2
	| 58	35	7
	| 58	37	5
	| 53	37	10
	| 41	42	17
	| 38	47	15
	| 39	43	19
360 . . . .	| 37	40	23
	| 66	32	2
	| 59	38	3
	| 48	42	10
	| 40	48	12
	| 34	48	18
	| 31	37	32
	| 46	37	17
380 .	| 58	32	10
	| 58	27	15
	| 62	37	1
	| 38	52	10
	| 25	34	41
400	| 44	33	23
	| 60	20	20
	| 65	35	0
	| 41	52	7
	| 37	53	10
	| 21	32	47
	| 43	30	27

ГЛАВА VI.

Генераторный газъ.

Существуетъ много системъ газогенераторовъ, но, съ точки зрѣнія расчетовъ, ихъ можно раздѣлить на четыре класса:

1) Простые газогенераторы съ любымъ горючимъ (уголь, антрацитъ, торфъ, дерево и т. д.) въ которые вводится лишь воздухъ для горѣнія.

2) Смѣшанные газогенераторы, въ которые кромѣ воздуха вводятся пары воды въ количествѣ не превышающемъ то, которое можетъ быть диссоціировано во время прохода ихъ черезъ слой горючаго.

3) Генераторы системы Mond, въ которые вводится избытокъ пара.

4) Генераторы водяного газа, въ которые попеременно вводится то воздухъ, то парь.

И такъ въ этой классификаціи существеннѣйшую роль играетъ количество вводимыхъ паровъ воды. Цѣль расчетовъ выяснить относительную экономію газогенераторовъ передъ непосредственнымъ сжиганіемъ горючаго, опредѣлить объемъ выдѣляющихся газовъ въ соотвѣтствіи съ количествомъ горючаго, ихъ теплопроизводительную способность, неизбѣжныя потери, а также роль вводимого пара и допустимый предѣлъ пользованія имъ, выгоды отъ просушиванія газовъ и т. д.

1. Простые газогенераторы.

Въ нихъ воздухъ пропускается черезъ толстый слой горючаго, расположеннаго надъ колосниками. Горючее сначала теряетъ влагу, затѣмъ начинается дистилляція и наконецъ частичное горѣніе. Въ выгребаемой золѣ содержится нѣкоторое количество не-газифицированнаго кокса, отчего происходятъ, подчасъ, значительныя потери въ производительности. Температура выдѣляющихся газовъ 300—1000°, такъ что они содержатъ значительный запасъ теплоты, который желательно использовать. Расчетъ объема газа, соотвѣтствующаго 1 вѣсовой части горючаго, производится на основаніи анализа газа, горючаго и золы, а именно по количеству углерода, содержащагося,

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

съ одной стороны, въ единицѣ объема газа, а съ другой — въ единицѣ вѣса горячаго, за исключеніемъ С, соотвѣтствующей ему, золы. Очевидно, что искомый объемъ газа будетъ частное отъ дѣленія второго количества на первое.

Примѣръ. Въ простомъ газогенераторѣ, газифицируется уголь, содержащій 72% С. и 12% негорючихъ веществъ, при чемъ образуется зола съ 20% С. По анализу газы содержатъ 0,162 кгр. углерода въ 1 кб. м. (при нормальныхъ условіяхъ). Определить объемъ газа, соотвѣтствующій 1 тоннѣ угля.

Рѣшеніе:

На 1 тонну угля приходится: $1000 \times 0,12 = 120$ кгр. негорючихъ веществъ, составляющихъ 80% всего количества золы, такъ-что вѣсъ золы будетъ: $\frac{120}{0,80} = 150$ кгр., а количество углерода въ золѣ: $150 \times 0,20 = 30$ кгр.

Такимъ образомъ на 1 тонну угля газифицируется слѣдующее количество углерода:

$$1000 \times 0,72 - 30 = 690 \text{ кгр. С.}$$

А такъ какъ 1 кб. м. газа содержитъ, по анализу, — 0,162 кгр. С, то, очевидно, объемъ газа, соотвѣтствующій 1 тоннѣ угля будетъ:

$$\frac{690}{0,162} = 4250 \text{ кб. м.}$$

Расчетъ теплопроизводительной способности газа можетъ быть легко произведенъ на основаніи его анализа и слѣдовательно легко вычислить потерю тепла въ газогенераторы, взявъ разницу между дѣйствительной теплопроизводительной способностью угля и вычисленной теплопроизводительной способностью газа, соотвѣтствующаго единицѣ вѣса этого угля. Потеря тепла распределится такъ:

Потеря отъ несожженного углерода въ золѣ.

Теплота уносимая газами.

Теплота теряемая излученіемъ, конвекціей и теплопроводностью.

Къ этимъ потерямъ можно не относить потерю отъ выдѣленія влаги изъ угля, т. к. ее уже приняли въ расчетъ при опредѣленіи дѣйствительной теплопроизводительной способности угля, что-же касается до теплоты, поглощаемой диссоціаціей влаги воздуха, то, въ дѣйствительности, эта потеря полностью возмѣщается увеличившейся, ровно на столько-же, теплопроизводительной способностью газа (отъ перешедшаго туда водорода).

Задача № 6.

Juptner & Toldt приводятъ въ «Generatoren und Martinöfen» примѣръ, относящійся къ газогенератору, работавшему на лигнитѣ слѣдующаго состава:

С	69,83%	N	0,50%
Н	4,33 »	Влаги	7,25 »
О	12,38 »	Не-сгор. част.	5,71 »

Этого угля было сожжено въ теченіи 8 час. 50 мин.—3214 кгр.
Средній составъ высушеннаго газа былъ:

CO ²	5,21%	H ²	10,64 %
CO	23,99 »	O ²	0,63 »
CH ⁴	0,25 »	N ²	59,28 »

Полученная зола составляла 22,23% по вѣсу угля и содержала 68,76% не-сгорѣвшаго углерода. Теплопроизводительная способность угля, опредѣленная въ калориметрической бомбѣ (со сжатымъ кислородомъ и конденсаціей воды) была 6949.

Температура газовъ при выходѣ изъ генератора: 282°; температура входящаго воздуха: 9°; Влажность воздуха: 76%, барометръ: 712 м. м.

Требуется:

- 1) Опредѣлить объемъ сухого газа (при нормальныхъ условіяхъ) соотвѣтствующій 1 тоннѣ угля.
- 2) Вычислить теплопроизводительную способность угля безъ конденсаціи воды.
- 3) Отношеніе между количествомъ тепла, которое выдѣлилось-бы при полномъ горѣннн газа и, соотвѣтствующимъ количествомъ, для угля.
- 4) Общая потеря тепла при газификаціи.
- 5) Потеря отъ несгорѣвшаго С въ золѣ.
- 6) Потеря отъ тепла, уносимаго газами.
- 7) Остальныя потери (излученіе и проч.).
 - a) Отнесенныя къ 1 кгр. угля.
 - b) Въ теченіи 1 минуты.
- 8) Опредѣлить объемъ воздуха, при условіяхъ заданія, соотвѣтствующій 1 кгр. угля.

Рѣшеніе:

Содержаніе углерода въ 1 куб. м. газа (при нормальныхъ условіяхъ) будетъ:

С въ CO ²	0,0521 × 0,54
» » CO	0,2399 × 0,54
» » CH ⁴	0,0025 × 0,54

С въ 1 куб. м. газа $0,2945 \times 0,54 = 0,1590$ кгр.

Газифицировано углерода при сгораннн 1000 кгр. угля:

С въ углѣ = 698,3 кгр.

Не сгор. С въ золѣ:

222,3 0,6876 = 152,8 кгр.

Газифицировано $\bar{C} = 545,5$ кгр.

Слѣдовательно объемъ сухого газа, соотвѣтствующій 1 тоннѣ угля, будетъ:

$$\frac{545,5}{0,1590} = 3430 \text{ кб. м.}$$

2) Опреѣленная въ калориметрической бомбѣ теплопроизводительная способность угля должна быть уменьшена на все то количество тепла, которое соотвѣтствуетъ скрытой теплотѣ испаренія образовавшейся воды.

Вода соотвѣтств. влагѣ = 0,0725 кгр.

» » водороду:

$$0,0433 \times 9 = 0,3897 \text{ кгр.}$$

Вода отъ сгорания 1 кгр. угля = 0,4622 кгр.

Слѣдовательно скрытая теплота испаренія (теоретически при 0°) этого количества воды будетъ:

$$0,4622 \times 606,5 = 280 \text{ Cal.}$$

И искомая теплопроизводительная способность 1 кгр. угля будетъ:

$$6949 - 280 = 6669 \text{ Cal.}$$

3) Теплопроизводительная способность 1 кб. м. сухого газа (при норм. усл.) будетъ:

$$\text{CO} 0,2399 \times 3062 = 734,6 \text{ Cal.}$$

$$\text{CH}^4 0,0025 \times 8598 = 21,5 \text{ »}$$

$$\text{H}^2 0,1064 \times 2613 = 278,0 \text{ »}$$

$$\text{Всего} 1034,1 \text{ Cal.}$$

А такъ какъ 1 кгр. угля соотвѣтствуетъ 3,43 кб. м. газа, то на это количество приходится:

$$1034,1 \quad 3,43 = 3547 \text{ Cal.}$$

Искомое % отношеніе будетъ:

$$\frac{3547 \times 100}{6669} = 53,2\%$$

Это будетъ коэффицентъ полезнаго дѣйствія генератора.

4) Общая потеря тепла при газификаціи 1 кгр. угля будетъ:

$$6669 - 3547 = 3122 \text{ Cal.}$$

что составляетъ:

$$100 - 53,2 = 46,8\%$$

5) Потеря отъ несгорѣвшаго С въ золѣ будетъ:

$$0,1528 \times 8100 = 1237,7 \text{ Cal.} = 18,6\%$$

6) Количество тепла, уносимаго газами въ сухомъ видѣ, опредѣлится слѣдующимъ образомъ:

Снача опредѣлимъ теплоемкость: 1 кб. м. газа (0 — 282°) для 1°:

$$\begin{array}{r} \text{CO}^2 0,0521 \times 0,432 = 0,0225 \\ \text{CH}^4 0,0025 \times 0,428 = 0,0011 \\ \text{CO, O}^2, \text{H}^2, \text{N}^2 0,9454 \times 0,311 = 0,2940 \\ \hline \text{Всего} 0,3176 \end{array}$$

Это для 1° и 1 куб. м., а для 282° и 3,43 куб. м.:

$$0,3176 \quad 282 \quad 3,43 = 307 \text{ Cal.} = 4,6\%$$

Въ дѣйствительности однако потеря будетъ нѣсколько значительнѣе ввиду присутствія паровъ воды, образовавшихся отъ влаги, находившейся въ углѣ и въ воздухѣ, а также образовавшейся отъ горѣнія Н въ углѣ; изъ этой суммы надо однако вычесть тотъ объемъ воды, который соотвѣтствовалъ-бы горѣнію Н² и СН⁴, содержащихся въ сухомъ газѣ.

Нами было уже вычислено, что 1 кгр. угля образуетъ 0,4622 кгр. Н²О т. е.:

$$\frac{0,4622}{0,81} = 0,5706 \text{ куб. м.}$$

подсчитаемъ теперь какой объемъ паровъ воды сопровождаетъ, употребленный для горѣнія, воздухъ.

Изъ таблицы находимъ, что давленіе, насыщающихъ пространство, паровъ воды, при 9°, будетъ 7 мм. ртутнаго столба, при влажности = 76% это давленіе будетъ:

$$7 \times 0,76 = 5,3 \text{ мм.},$$

а такъ какъ барометрическое давленіе сырого воздуха = 712 мм., то на долю сухого воздуха приходится всего 706,7 мм.

Объемъ паровъ воды будетъ составлять, слѣдовательно:

$$\frac{5,3 \times 100}{706,7} = 0,75\% \text{ объема воздуха.}$$

Но объемъ сухого воздуха нами пока не опредѣленъ, отнесемъ, поэтому, искомый объемъ паровъ воды къ объему азота, который, за исключеніемъ лишь небольшого количества попалъ въ газы изъ воздуха.

Очевидно, что объемъ водяныхъ паровъ будетъ составлять:

$$\frac{0,75}{0,792} = 0,95\% \text{ объема азота,}$$

а такъ какъ въ 1 куб. м. газа, по анализу 0,5928 N², то 3,43 куб. м. газа соотвѣтствуетъ:

$$0,5928 \times 0,0095 \times 3,43 = 0,0192 \text{ куб. м.}$$

паровъ воды, заключающихся въ воздухѣ.

Вмѣстѣ съ 0,5706 куб. м. это составляетъ 0,5898 куб. м. паровъ воды, изъ которыхъ остается исключить то количество, которое соотвѣтствовало бы горѣнію Н² и СН⁴ въ газѣ.

$$\text{H}^2 \text{ соотв.: } 0,1064 \times 1 = 0,1064 \text{ куб. м. Н}^2\text{O}$$

$$\text{CH}^4 \quad \text{»} \quad 0,0025 \times 2 = 0,0050 \quad \text{»}$$

$$\text{Всего 1 куб. м. газа соотв.: } 0,1114 \text{ куб. м.}$$

С	37,0%	N	0,5 %
H	4,4 »	H ² O	27,0 »
O	30,6 »	Зола	0,5 »

Анализъ сухого газа слѣдующій:

CO ²	6,0 %	Метанъ CH ⁴	6,9 %
CO	29,8 »	Этиленъ C ² H ⁴	0,3 »
H ²	6,5 »	N ²	50,5 »

Вдуваемый воздухъ предположенъ сухимъ. Газъ пропускается черезъ конденсаторъ съ поверхностнымъ охлажденіемъ водою, имѣющею температуру 29°. Требуется:

- 1) Определить пропорцію конденсирующейся влаги.
- 2) Определить температуру горѣнія влажного газа, до конденсации, если его и, потребный для горѣнія, воздухъ предварительно нагрѣть до 800°.
- 3) Определить температуру горѣнія газа послѣ конденсации при прочихъ равныхъ условіяхъ.

Рѣшеніе:

С въ 1 кгр. древесныхъ опилокъ = 0,370 кгр.

С въ 1 куб. м. газа:

$$[0,060 + 0,298 + 0,069 + 2 \times (0,003)] \times 0,54 = 0,2338 \text{ »}$$

Слѣдовательно объемъ сухого газа, соотвѣтствующій 1 кгр. опилокъ, будетъ:

$$\frac{0,370}{0,2338} = 1,5825 \text{ куб. м.}$$

При горѣніи 1 кгр. опилокъ образуется слѣдующее количество воды:

Отъ влаги.	0,270 кгр.
» водорода: $9 \times 0,044$	0,396 »
Всего	0,666 кгр.

Объемъ паровъ воды:

$$\frac{0,666}{0,81} = 0,8222 \text{ куб. м.}$$

Отсюда надо исключить объемъ паровъ воды, образующихся при горѣніи 1,5825 куб. м. сухого газа:

H ² O отъ этилена	$= 0,003 \times 2 \times 1,5825$
H ² O отъ метана	$= 0,069 \times 2 \times 1,5825$
H ² O отъ водорода.	$= 0,065 \times 1 \times 1,5825$
<u>0,209</u>	$\times 1,5825 = 0,3307 \text{ куб. м.}$

Такимъ образомъ 1,5825 куб. м. газа соотвѣтствуетъ:

$$0,8222 - 0,3307 = 0,4915 \text{ куб. м. паровъ воды,}$$

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

а слѣдовательно на 1 куб. м. сухихъ газовъ приходится:

$$\frac{0,4915}{1,5825} = 0,3106 \text{ куб. м. паровъ воды.}$$

При 29° давленія, насыщающихъ пространство, паровъ воды = 30 мм., а слѣдовательно на долю сухого воздуха, или газа, приходится 730 мм. (если допустимъ, что общее барометрическое давленіе = 760 мм.).

Такимъ образомъ на 1 куб. м. сухого газа (взятаго при 0° приходится при 29°: $\frac{30}{730} = 0,0411$ куб. м. паровъ воды (очевидно тоже измѣренныхъ при 0°).

Это тотъ объемъ паровъ воды, который приходится на 1 куб. м. сухого газа послѣ конденсаціи.

Всего сконденсировалось:

$$0,3106 - 0,0411 = 0,2695 \text{ куб. м.} = 86,8\%.$$

2) Опредѣлимъ теплопроизводительность 1 куб. м. сухого газа:

CO . . .	0,298 × 3062 =	912,5 Cal.
C ² H ⁴ .	0,003 × 14480 =	43,4 »
CH ⁴ .	0,069 × 8598 =	593,3 »
H ²	0,065 × 2613 =	169,8 »
	Всего	<u>1719,0 Cal.</u>

Количество тепла въ 1 куб. м. газа будетъ:

CO, H ² , N ²	0,868 × 0,3246 =	0,2817 Cal. на 1°
CO ²	0,060 × 0,5460 =	0,0328 » »
CH ⁴ .	0,069 × 0,4485 =	0,0309 » »
C ² H ⁴ .	0,003 × 0,50 =	0,0015 » »
H ² O . . .	0,3106 × 0,46 =	0,1429 » »
	Всего	<u>0,4898 Cal. на 1°</u>

а при 800°:

$$0,4898 \times 800 = 392 \text{ Cal.}$$

Опредѣлимъ теперь объемъ потребнаго воздуха:

для CO	0,298 × 0,5 =	0,1490 куб. м. O ²
» C ² H ⁴	0,003 × 3 =	0,0090 » »
» CH ⁴ .	0,069 × 2 =	0,1380 » »
» H ²	0,065 × 0,5 =	0,0325 » »
	Всего	<u>0,3285 куб. м. O</u>

что составляетъ:

$$\frac{0,3285}{0,208} = 1,58 \text{ куб. м. воздуха.}$$

Количество тепла въ немъ при 800°:

$$1,58 \times 0,3246 \times 800 = 410 \text{ Cal.}$$

И такъ общее количество тепла при горѣніи газа будетъ:

Отъ горѣнія	1719 Cal.
Теплота въ газѣ	392 »
Теплота въ воздухѣ	410 «
Всего	2521 Cal.

Продукты горѣнія состоятъ изъ:

$CO^2 = 0,060 + 0,298 + 0,006 + 0,069 = 0,433$	кб. м.
$H^2O = 0,311 + 0,006 + 0,138 + 0,065 = 0,520$	»
$N^2 = 0,505 + (1,58 - 0,33) = 1,755$	»
Всего	2,708 кб. м.

Ихъ теплоемкость будетъ:

CO ²	0,433 (0,37 + 0,00022 t)
H ² O	0,520 (0,34 + 0,00015 t)
N ²	1,755 (0,303 + 0,000027 t)
Всего	0,8688 + 0,00022065 t

Температура опредѣлится изъ уравненія:

$$t = \frac{2521}{0,8688 + 0,00022065 t}$$

откуда:

$$t = 1940^0$$

3) Если влага газа конденсируется, то съ одной стороны уменьшается количество тепла въ газѣ на то количество Cal., которое содержалось въ 0,2695 кб. м. конденсированныхъ паровъ воды, т. е. на:

$$0,2695 \times 0,46 \times 800 = 99 \text{ Cal.}$$

и станетъ:

$$2521 - 99 = 2422 \text{ Cal.},$$

а съ другой, уменьшается теплоемкость продуктовъ горѣнія на:

$$0,2695 (0,34 + 0,00015 t)$$

и станетъ:

$$0,7772 + 0,00018023 t.$$

Температура опредѣлится изъ уравненія:

$$t = \frac{2422}{0,7772 + 0,00018023 t}$$

откуда:

$$t = 2100^0$$

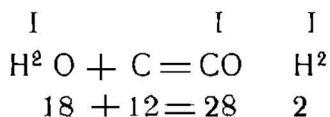
И такъ отъ конденсаціи 86,8% влаги въ данномъ случаѣ температура пламени повысилась на 160⁰.

Смѣшанные газогенераторы.

Это самый распространенный классъ генераторовъ. Въ нихъ, вмѣстѣ съ воздухомъ, вводится нѣкоторое количество водяныхъ

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

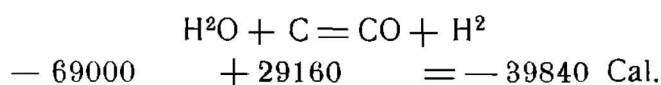
паровъ (не въ избыткѣ), разлагаемыхъ раскаленнымъ углемъ, согласно реакціи:



Существуетъ нѣсколько способовъ вводить водяные пары въ генераторъ, наилучшимъ можно считать употребленіе паро-воздушныхъ инжекторовъ, допускающихъ точную регулировку и независимыхъ отъ тяги трубы.

Съ одной стороны, при разложеніи пара, получается охлажденіе газа, а съ другой, теплопроизводительная способность газа увеличивается.

При разложеніи холодной воды углеродомъ поглощается:



Если-же вводить паръ при 100° , приносящій по 637 Cal. скрытой теплоты на 1 кгр., или всего:

$$18 \times 637 = 11466 \text{ Cal.}$$

то потеря тепла выразится въ 28374 Cal., что составитъ:

$$\begin{array}{l} 1576 \text{ Cal. на 1 кгр. разложенныхъ водяныхъ паровъ.} \\ 2364 \text{ Cal. на 1 кгр. углерода.} \end{array}$$

Вообще-же на разложеніе 1 кгр. пара, при 100° , потребуется:

$$\frac{69000 - 11466}{18} = 3196 \text{ Cal.}$$

а такъ какъ при сгораніи 1 кгр. С въ СО выдѣляется:

$$\frac{29160}{12} = 2430 \text{ Cal.}$$

то при этихъ условіяхъ (отсутствіе потерь тепла и отсутствіе CO^2). 1 кгр. С можетъ разложить:

$$\frac{2430}{3196} = 0,761 \text{ кгр. водяныхъ паровъ,}$$

а такъ какъ на 1 кгр. С приходится $\frac{16}{12} = 1,337$ кгр. О или 5,778 кгр. воздуха, то слѣдовательно, въ этихъ условіяхъ на 1 кгр. воздуха приходится:

$$\frac{0,761}{5,778} = 0,132 \text{ кгр. водяныхъ паровъ,}$$

а на 1 куб. м. воздуха:

$$0,132 \quad 1,293 = 0,170 \text{ кгр. водяныхъ паровъ.}$$

Въ дѣйствительности-же, съ одной стороны происходятъ необходимыя потери тепла на поддержаніе температуры генератора, а съ другой образуется нѣкоторое количество CO^2 .

Если известно отношеніе между объемами CO и CO^2 , то такое же отношеніе существуетъ между вѣсами углерода, сгорающими соответственно, въ CO и CO^2 , а слѣдовательно легко опредѣлить количество выдѣленной при горѣніи 1 кгр. C теплоты. Исключивъ отсюда известныи процентъ на неизбѣжныя потери (теплота въ удаляющихся газахъ, излученіе и проч.) весь остатокъ можетъ быть съ пользою употребленъ на разложеніе паровъ воды, т. к. отъ этого увеличивается теплопроизводительная способность газа и уменьшаются потери отъ излишняго нагрѣванія. Количество паровъ воды, которое можетъ быть съ пользою введено въ генераторъ вмѣстѣ съ воздухомъ для горѣнія, опредѣляется легко, т. к. известно количество тепла потребнаго для разложенія 1 кгр. водяныхъ паровъ, оно при 100° , — $= 3196 \text{ Cal}$.

Примѣръ:

Въ газогенераторѣ Сименса, съ тягой въ трубу, газъ содержитъ $4,3\%$, по объему, CO^2 и $25,6\%$ CO . Неизбѣжныя потери тепла предполагаются $= 50\%$, опредѣлить количество водяныхъ паровъ, которое можно съ пользою ввести въ генераторъ.

Рѣшеніе:

процентъ углерода, сгорающаго въ CO^2 :

$$\frac{4,3}{4,3 + 25,6} = 14,4\%$$

Теплота, выдѣляющаяся при образованіи CO^2 :

$$0,144 \times 8100 \quad . \quad . \quad = 1166 \text{ Cal.}$$

При образованіи CO :

$$0,856 \times 2430 \quad . \quad . \quad = 2080 \quad \text{»}$$

При сгораніи 1 кгр. C 3246

Неизбѣжныя потери (50%) = 1623 »

Остается тепла для разложенія воды 1623 Cal.

Слѣдовательно:

$$\text{Слѣдуетъ ввести } \text{H}^2\text{O} = \frac{1623}{3196} = 0,508 \text{ кгр.}$$

Опредѣлимъ сколько это составитъ, отнесенное къ 1 кгр. воздуха:

$$\text{O для образованія } \text{CO}^2 \quad . \quad . \quad . \quad 0,144 \times \frac{32}{12} = 0,384 \text{ кгр.}$$

$$\text{O } \text{»} \quad \text{»} \quad \text{CO} \quad . \quad . \quad . \quad 0,856 \times \frac{16}{12} = 1,141 \quad \text{»}$$

$$\text{Всего} \quad . \quad . \quad . \quad \text{O} = 1,525 \text{ кгр.}$$

Соотвѣтствующій воздухъ:

$$\frac{1,525 \times 13}{3} = 6,608 \text{ кгр.}$$

Слѣдовательно:

паровъ на 1 кгр. воздуха: $\frac{0,508}{6,608} = 0,077$ кгр.

воздуха на 1 кгр. паровъ: $\frac{6,608}{0,508} = 13$ кгр.

А такъ какъ объемъ воздуха:

$$\frac{6,608}{1,293} = 5,1 \text{ кб. м.}$$

то на 1 кб. м. воздуха приходится:

$$\frac{0,508}{5,1} = 0,1 \text{ кгр. паровъ,}$$

или на 1 кгр. паровъ—около 10 кб. м. воздуха.

Задача № 8.

Въ газогенераторѣ Моргана, постояннаго дѣйствія, производилось испытаніе съ углемъ слѣдующаго состава:

Твердаго углерода	50,87%
Летучихъ веществъ	37,32 »
Влаги	5,08 »
Золы	6,73 »
Итого	100,00%

Элементарный анализъ того же угля былъ:

Общаго углерода	69,72%
Водорода	5,60 »
Азота	2,00 »
Общей сѣры	0,94 »
Кислороды	10,00 »
Воды	5,08 »
Несгораемый остатокъ (безъ S)	6,66 »
Итого	100,00%

Зола (во время анализа) содержала 1,12% сѣры (подъ видомъ FeS), а зола газогенератора, содержала 4,66% несгорѣвшаго углерода.

Теплопроизводительная способность 1 кгр. этого угля (съ конденсаціей паровъ воды) была 7747 Cal.

Анализъ сухого газа далъ:

CO	24,5 %
CO ²	3,7 »
CH ⁴	3,6 »
C ² H ⁴	3,2 »
H ²	17,8 »
O ²	0,4 »
N ²	46,8 »
Итого	100,0 %

Требуется:

- 1) Определить объемъ газа, соответствующій 1 кгр. угля.
- 2) Определить вѣсъ пара, который вводится съ 1 куб. м. сухого воздуха.
- 3) Какая часть всей выдѣлившейся теплоты ложится на разложение пара.
- 4) Определить относительный процентъ, получаемой экономіи, отъ разложенія пара.
- 5) Определить потерю отъ несгорѣвшаго углерода въ золѣ, отъ излученія и проч.
- 6) Сравнить теплопроизводительную способность холодного газа съ углемъ.

Рѣшеніе. Предварительно сдѣлаемъ замѣчаніе относительно сѣры, заключенной въ углѣ.

Въ золу попадетъ, при сгораніи 100 кгр. угля:

$$6,73 \times 0,0112 = 0,08\% \text{ S (образуя FeS)}$$

Слѣдовательно 0,86% изъ общаго количества (0,94%) сѣры перейдетъ въ газы, допустимъ подъ видомъ H_2S . Такимъ образомъ образуется:

$$0,86 \times \frac{34}{32} = 0,91 \text{ кгр. } \text{H}_2\text{S} \quad \text{или:}$$

$$\frac{0,91 \times 22,22}{34} = 0,595 \text{ куб. м. } \text{H}_2\text{S}.$$

Какъ мы увидимъ немного далѣе, объемъ генераторнаго газа, соответствующій 1 кгр. угля, будетъ 3,36 куб. м., слѣдовательно H_2S составляетъ:

$$\frac{0,595}{3,36} = 0,177\%$$

и слѣдовательно, выше приведенный анализъ генераторнаго газа можетъ быть слегка измѣненъ, а именно вмѣсто 17,8% водорода точнѣе написать:

$$\text{H}_2 = 17,6\%$$

$$\text{H}_2\text{S} = 0,2\%$$

Вычислимъ теперь объемъ газа, соответствующій 1 кгр. угля. Углеродъ попадающій въ золу будетъ очевидно:

$$0,0673 \times \frac{4,66}{95,34} = 0,0033 \text{ кгр.},$$

а слѣдовательно газифицируется:

$$0,6972 - 0,0033 = 0,6939 \text{ кгр. C.}$$

Въ 1 куб. м. газа содержится углерода:

С въ CO	$0,245 \times 0,54$
» CO_2	$0,037 \times 0,54$
» CH_4	$0,036 \times 0,54$
» C_2H_4	$2 \times 0,032 \times 0,54$
Всего	$0,382 \times 0,54 = 0,20628 \text{ кгр.}$

Искомый объемъ газа будетъ:

$$\frac{0,6939}{0,20628} = 3,36 \text{ куб. м.}$$

2) Допустимъ что влага изъ угля поступаетъ, какъ таковая, не разлагаясь, въ газъ; т. к. воздухъ предположенъ сухимъ, то слѣдовательно водородъ въ газѣ будетъ сумма водорода, получившагося отъ разложенія пара, и водорода угля, отсюда не трудно опредѣлить и количество употребленнаго пара.

Въ одномъ куб. м. газа содержится водорода:

въ Н ²	0,176	0,09	кгр.
» Н ² S	0,002	× 0,09	»
» СН ⁴	2	× 0,036	× 0,09
» С ² Н ⁴	2	× 0,032	× 0,09

$$\text{Итого . . .} \quad 0,314 \times 0,09 = 0,02826 \text{ кгр.}$$

А въ 3,36 куб. м. газа, соотвѣтствующихъ 1 кгр. угля:

$$0,02826 \times 3,36 = 0,095 \text{ кгр. Н.}$$

Съ другой стороны въ 1 кгр. угля содержится 0,056 кгр. Н,—слѣдовательно на долю паровъ приходится водорода:

$$0,095 - 0,056 = 0,039 \text{ кгр.}$$

Вѣсъ введенныхъ паровъ будетъ:

$$0,039 \times 9 = 0,351 \text{ кгр.}$$

Опредѣлимъ теперь количество, введеннаго вмѣстѣ съ парами, воздуха.

Въ 1 куб. м. газа содержится азота:

$$0,468 \times 1,26 = 0,59 \text{ кгр.}$$

Въ 3,36 куб. м. газа:

$$0,59 \times 3,36 = 1,9824 \text{ кгр.}$$

Въ 1 кгр. угля.

$$. = 0,0200 \text{ »}$$

Азотъ принесенный воздухомъ 1,9624 кгр.

Соотвѣтствующій вѣсъ воздуха:

$$1,9624 \times \frac{13}{10} = 2,5511 \text{ кгр.}$$

Объемъ воздуха — $\frac{2,5511}{1,293}$ = 1,975 куб. м.

Вѣсъ пара, отнесенный къ 1 куб. м. воздуха:

$$\frac{0,351}{1,975} = 0,178 \text{ кгр.}$$

3) На разложеніе пара расходуется:

$$0,351 \times 3196 = 1122 \text{ Cal.};$$

опредѣлимъ теперь общее количество выдѣлившейся теплоты; для этого существуетъ два способа изъ которыхъ первый менѣе точенъ, чѣмъ второй.

а. Можно рассчитать теплоту образования CO и CO^2 въ генераторномъ газѣ и принять ее за общее количество выдѣлившейся теплоты.

б. Если вычесть изъ дѣйствительной теплопроизводительной способности 1 кгр. угля, потерю тепла отъ несгорѣвшаго углерода въ золѣ (0,0033 кгр. С), а также теплопроизводительную способность соответствующаго количества газа (3,36 куб. м.) и къ этой разности, представляющей изъ себя потерю тепла при газификаціи, прибавить теплоту, израсходованную на разложеніе пара (1122 Cal.), то мы получимъ общее количество тепла, выдѣлившаеся въ генераторѣ.

Произведемъ расчетъ по способу (а)

$$\begin{array}{r} \text{CO} \quad \quad 0,245 \times 0,54 \times 3,36 \times 2430 = 1080 \text{ Cal.} \\ \text{CO}^2 \quad \quad 0,037 \times 0,54 \times 3,36 \times 8100 = 540 \text{ »} \\ \text{Всего} \quad . . . \quad \underline{1620 \text{ Cal.}} \end{array}$$

Это есть приближенное выраженіе для выдѣлившейся теплоты.

Перейдемъ къ способу (б).

Предварительно опредѣлимъ дѣйствительную теплопроизводительную способность 1 кгр. угля.

По заданію тепл. спос. угля, съ конденсаціей воды: 7747 Cal.

Отсюда слѣдуетъ вычесть скрытую теплоту испаренія этой воды, т. е.:

$$606,5 \times [(0,056 \times 9) + 0,0508] = 337 \text{ Cal.}$$

такъ что искомая, дѣйствительная, теплопроизводительная способность 1 кгр. угля будетъ:

$$7747 - 337 = 7410 \text{ Cal.}$$

Теплопроизводительная способность 1 куб. м. газа будетъ:

$$\begin{array}{r} \text{CO} \quad \quad . . . \quad 0,245 \times 3062 = 750,2 \text{ Cal.} \\ \text{CH}^4 \quad \quad . . . \quad 0,036 \times 8598 = 309,5 \text{ »} \\ \text{C}^2\text{H}^4 \quad \quad . . . \quad 0,032 \times 14480 = 463,4 \text{ »} \\ \text{H}^2 \quad . . . \quad . . . \quad 0,176 \times 2613 = 459,9 \text{ »} \\ \text{H}^2\text{S} \quad . . \quad . . . \quad 0,002 \times 5513 = 11,0 \text{ »} \\ \text{Итого} \quad . . . \quad \underline{1994,0 \text{ Cal.}} \end{array}$$

А для 3,36 куб. м. (соответствующихъ 1 кгр. угля):

$$1994 \times 3,36 = 6700 \text{ Cal.}$$

Неиспользованная теплопроизводительная способность углерода въ золѣ:

$$0,0033 \times 8100 = 28 \text{ Cal.}$$

Слѣдовательно общее количество выдѣлившейся въ генераторѣ теплоты будетъ:

$$7410 - 28 - 6700 - 1122 = 1804 \text{ Cal.}$$

Изъ этого количества на долю разложенія паровъ приходится:

$$\frac{1122 \times 100}{1804} = 62,3\%.$$

4) Относительный процентъ получаемой экономіи отъ разложенія пара будетъ:

$$\frac{1122 \times 100}{7410} = 15,15\%$$

тогда какъ по сравненію съ углемъ теплопроизводительная способность газа составляетъ:

$$\frac{6700 \times 100}{7410} = 90,40\%$$

Общее количество, выдѣлившейся въ генераторѣ теплоты, составляетъ:

$$\frac{1804 \times 100}{7410} = 24,35\%$$

5) Потеря отъ несгорѣвшаго углерода золы составляетъ:

$$\frac{28 \times 100}{7410} = 0,38\%$$

а отъ излученія и проч.:

$$\frac{682 \times 100}{7410} = 9,2\%$$

Мы уже опредѣлили отношеніе между теплопроизводительными способностями холоднаго газа и угля, а именно:

$$\frac{6700}{7410} = 0,904;$$

однако коэффициентъ полезнаго дѣйствія генератора нѣсколько меньше 90,4%, ввиду существующаго расхода горючаго на образованіе пара, вводимаго въ генераторъ, и способствующаго, своимъ разложеніемъ, поднятію теплопроизводительной способности газа.

Мы видѣли что расходъ пара = 0,351 кгр. Для испаренія 1 кгр. воды въ обыкновенныхъ котлахъ требуется около $\frac{1}{8}$ кгр. угля, слѣдовательно въ данномъ случаѣ, добавочный расходъ угля будетъ:

$$\frac{0,351 \times 100}{8} = 4,4\%$$

и коэффициентъ полезнаго дѣйствія генератора обратится въ:

$$\frac{90,4}{104,4} = 86,5\%$$

Добавочная экономія, вызванная разложеніемъ воды, будетъ также, не полностью — 15,15%, а на 4,4% меньше, т. е. 10,75%.

Газогенераторъ системы Mond.

Отличительной чертой этой системы служитъ введеніе большого избытка пара одновременно съ воздухомъ. Температура въ генераторѣ много ниже той, которая встрѣчалась въ двухъ разобранныхъ нами системахъ, а составъ газа отличается тѣмъ, что много угле-

кислоты (10—20%) и водорода (20—30%), а мало окиси углерода (10—15%) и азота (40—50%), кромѣ того имѣется значительное количество неразложившейся воды. Какъ горючимъ пользуются угольнымъ муссоромъ невысокаго качества, цѣль введенія избытка пара — поддерживать настолько низкую температуру въ генераторѣ, чтобы азотъ, заключенный въ углѣ, давалъ аммиакъ, поглощаемый разбавленной сѣрной кислотой. Дальнѣйшее охлажденіе газа, до внѣшней температуры, производится впрыскиваніемъ воды, при чемъ избытокъ влаги конденсируется.

Благодаря значительному количеству водорода, теплопроизводительная способность газа довольно высока, несмотря на невысокій процентъ окиси углерода, выдѣлившееся-же при образованіи CO_2 , значительное количество тепла, главнымъ образомъ пошло на разложение воды и слѣдовательно на повышение процента водорода.

Задача № 9.

Анализъ угольнаго муссора для генератора Монда далъ слѣдующій результатъ:

C	62,69%	N	1,40%
H	4,57 »	влаги	8,60 »
O	1089 »	зола	10,42 »

Теплопроизводительная способность (съ конденсаціей воды) 6786 Cal. для 1 кгр. высушеннаго угольнаго муссора. При сгораніи 1 тонны влажнаго муссора образуется 120 кгр. зола съ 12% С.

Воздухъ, подогрѣтый, теплотой уносимой газомъ, до 300°, приноситъ съ собою 2,5 тонны водяныхъ паровъ на каждую тонну сожженнаго муссора. Паръ производится въ водотрубномъ котлѣ подогрѣваемомъ до 100° перегорѣвшимъ газомъ (послѣ работы въ газовой машинѣ), а далѣе, отъ 100—300°, паръ нагрѣвается теплотой, уносимой газомъ, выдѣляющимся изъ генератора при 350°.

Объемный составъ газа, по выходѣ изъ конденсатора при 15°, слѣдующій:

CO_2	16,5%	H_2	27,5%
CO	11,0 »	N_2	41,3 »
CH_4	2,0 »	H_2O .	1,7 »

Допустимъ, что весь азотъ угля образуетъ аммиакъ и удаляется разбавленной сѣрной кислотой.

Требуется:

- 1) Опредѣлить теплопроизводительную способность газа.
- 2) Объемъ газа, соотвѣтствующій 1 тоннѣ угля.
- 3) Коэффициентъ полезнаго дѣйствія генератора.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

- 4) Определить вѣсъ пара, разложеннаго въ генераторѣ.
- 5) Отношеніе между теплотой, служившей для разложенія пара и теплопроизводительной способностью угля.
- 6) Отношеніе между той-же теплотой и количествомъ, выдѣливающимся въ генераторѣ, тепла.
- 7) Определить процентъ потери тепла отъ излученія и проч.

Рѣшеніе:

- 1) Теплопроизводительная способность 1 куб. м. газа при 0° будетъ:

CO	. . .	0,110	×	3062	= 336,8 Cal.
H ²	. . .	0,275		2613	= 718,6 »
CH ⁴	. . .	0,020		8598	= 172,0 »
				Итого . . .	1227,4 Cal.

А для 1 куб. м. при 15°:

$$1227,4 \times \frac{273}{273 + 15} = 1163 \text{ Cal.}$$

- 2) Въ 1 куб. м. газа при 0° имѣется С:

въ CO ²	. . . . .	0,165	×	0,54	кгр.
» CO	. . . . .	0,110		0,54	»
» CH ⁴	. . . . .	0,020		0,54	»

Итого . . .	0,295	0,54	= 0,1593	кгр.
-------------	-------	------	----------	------

Въ 1 кгр. угля содержится: 0,6269 кгр. С а въ 12% золы (съ 12% С): $0,12 \times 0,12 = 0,0144$ кгр.

Газифицируется С: 0,6125 кгр.

Слѣдовательно на 1 кгр. угля приходится газа:

$$\frac{0,6125}{0,1593} = 3,84 \text{ куб. м.}$$

На 1 тонну при 0°, это составитъ:

$$3840 \text{ куб. м. газа,}$$

а при 15°:

$$3840 \times \frac{273 + 15}{273} = 4050 \text{ куб. м.}$$

- 3) Теплопроизводительная способность 1 кгр. высушеннаго мусора = 6786 Cal., т. к. влаги содержится 8,60%, то для 1 кгр. влажнаго мусора (съ конденсаціей воды) мы получимъ:

$$6786 \times 0,914 = 6202 \text{ Cal.}$$

Количество образовавшейся воды:

$$0,0860 + 9(0,0457) = 0,4973 \text{ кгр.,}$$

которые при 15° поглощаютъ:

$$0,4973(611 - 15) = 296 \text{ Cal.}$$

Слѣдовательно дѣйствительная теплопроизводительная способность 1 кгр. угля будетъ:

$$6202 - 296 = 5906 \text{ Cal.}$$

Съ другой стороны теплопроизводительная способность 3,84 кб. м. газа:

$$3,84 \times 1163 = 4466 \text{ Cal.},$$

слѣдовательно искомый коэффициентъ полезнаго дѣйствія генератора:

$$\frac{4466 \times 100}{5906} = 75,6\%$$

Само собою разумѣется, что если-бы для поднятія пара мы должны были самостоятельно израсходовать добавочное количество угля, то коэффициентъ полезнаго дѣйствія значительно-бы понизился.

4) Вѣсь пара, разложеннаго въ генераторѣ, опредѣлится слѣдующимъ образомъ:

Въ 1 кб. м. газа содержится водорода по вѣсу:

Какъ Н ²	0,275 × 0,09 = 0,02475
» СН ⁴	<u>2 × 0,020 × 0,09 = 0,00360</u>
Итого . . .	0,02835

Н, соответствующій 1 кгр. газифицированнаго угля:

$$0,02835 \times 3,84 = 0,109 \text{ кгр.}$$

Н въ амміакѣ:

$$0,014 \times \frac{3}{14} = 0,003 \text{ »}$$

$$\text{Всего . . . Н — 0,112 кгр.}$$

Водорода въ 1 кгр. угля 0,0457 кгр.

Водорода изъ разложеннаго пара:

$$0,1120 - 0,0457 = 0,0663 \text{ кгр.}$$

Вѣсь разложенныхъ паровъ:

$$0,0663 \times 9 = 0,5967 \text{ кгр.}$$

А такъ какъ на 1 кгр. угля приходится 2,5 кгр. паровъ, то почти 1,9 кгр. остаются неразложенными и производятъ сильное охлаждающее дѣйствіе.

Разложенные пары составляютъ:

$$\frac{0,5967 \times 100}{2,5} = 23,9\%$$

отъ всего введеннаго количества, а 76,1% остаются неразложенными.

5) На разложеніе 0,5967 кгр. паровъ расходуется:

$$0,5967 \times 3196 = 1907 \text{ Cal.}$$

или въ отношеніи къ теплопроизводительной способности угля:

$$\frac{1907 \times 100}{5906} = 32,3\%$$

6) Общее количество, выдѣливагося въ генераторѣ, тепла равно: Теплопроизводительной способности 1 кгр. угля за исключеніемъ потери отъ несгорѣвшаго углерода въ золѣ, минусъ теплопроизводительная способность газа, плюсъ теплота поглощенная при разложеніи пара.

Неопредѣленной пока, является лишь потеря отъ С въ золѣ:

$$0,12 \times 0,12 \times 8100 = 117 \text{ Cal.}$$

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Слѣдовательно, общее количество, выдѣлившагося въ генераторѣ, тепла будетъ:

$$5906 - 117 - 4466 - 1907 = 3230 \text{ Cal.}$$

Въ отношеніи къ теплопроизводительной способности угля это составитъ:

$$\frac{3230 \times 100}{5906} = 54,7\%$$

А отношеніе полезно затраченнаго тепла къ выдѣлившемуся въ генераторѣ теплу:

$$\frac{1907 \times 100}{3230} = 59\%$$

7) Потери отъ тепла уносимаго газами, отъ излученія и проч. будутъ:

3230 — 1907 + теплота
въ вводимыхъ подогрѣтыми воздухѣ и парѣ.

Вычислимъ сначала количество воздуха, соотвѣтствующее 1 кгр. угля.

Въ 1 куб. м. газа содержится азота: . . . 0,413 куб. м.

» 3,84 куб. м.: $0,413 \times 3,84 = 1,59$ » »

Соотвѣтствующій объемъ воздуха:

$$\frac{1,59}{0,792} = 2,01 \text{ куб. м.}$$

Объемъ употребленнаго пара (при 0°):

$$\frac{2,50}{0,81} = 3,09 \text{ куб. м.}$$

Теплота, принесенная воздухомъ и паромъ (15°—300°):

Воздухомъ $2,01 \times 0,3116 \times 285 = 178 \text{ Cal.}$

Паромъ $3,09 \times 0,3872 \times 285 = 341$ »

Итого . . 519 Cal.

Такъ что, потери отъ тепла уносимаго газами, отъ излученія и проч., будутъ:

$$3230 - 1907 - 519 = 1842 \text{ Cal.}$$

Потери отъ тепла уносимаго газами, рассчитываются слѣдующимъ образомъ:

Въ 1 куб. м. газа содержится (15°—350°):

CO, H², N² . . $0,798 \times 0,313 \times 335 = 83,7 \text{ Cal.}$

CO² . . $0,165 \times 0,450 \times 335 = 24,9$ »

CH⁴ . . $0,020 \times 0,460 \times 335 = 3,1$ »

Итого . . 111,7 Cal.

Въ 3,84 куб. м.:

$$111,7 \times 3,84 = 430 \text{ Cal.}$$

Сюда надо еще присчитать теплоту въ неразложившихся парахъ:

Влаги въ 1 кгр. угля	0,086 кгр.
Неразложившихся паровъ	1,900 »
Итого	1,986 »

Объемъ занимаемый этими парами:

$$\frac{1,986}{0,81} = 2,45 \text{ кб. м.}$$

Теплота уносимая ими (15°—350°):

$$2,45 \times 0,395 \times 335 = 325 \text{ Cal.}$$

Количество тепла уносимое газомъ: . . . 430 + 325 = 755 Cal.

Слѣдовательно на потерю отъ излученія и проч. приходится:

$$1842 - 755 = 1087 \text{ Cal.,}$$

что составляетъ въ отношеніи къ теплопроизводительной способности угля.

$$\frac{1087 \times 100}{5906} = 18,4\%.$$

Измѣненіе въ составъ генераторнаго газа Монда отъ нагрѣванія въ регенераторѣ.

J. H. Darby сообщилъ интересныя анализы для газа Монда до и послѣ прокаливанія его въ регенераторѣ мартеновской печи.

Оба образца были высушены передъ анализомъ:

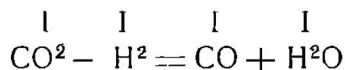
	Передъ прокали- ваніемъ.	Послѣ прокали- ванія.
CO ²	17,8%	10,5%
CO	10,5 »	21,6 »
CH ⁴	2,6 »	2,0 »
C ² H ⁴	0,7 »	0,4 »
H ²	24,8 »	17,7 »
N ²	43,6 »	47,8 »
	100,0 »	100,0 »

Изслѣдуемъ:

- 1) Какого рода химическія измѣненія происходятъ съ газомъ.
- 2) Опредѣлить относительный объемъ газа до и послѣ прокаливанія (за исключеніемъ воды).
- 3) Опредѣлить разницу въ теплопроизводительной способности вызванную прокаливаніемъ.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

1) Изъ обозрѣванія анализовъ слѣдуетъ, что главное измѣненіе получилось отъ возстановленія части углекислоты водородомъ, согласно реакціи:



И произведя расчетъ, мы дѣйствительно убѣдимся, что уменьшенію объемовъ CO^2 и H^2 соотвѣтствуетъ увеличеніе объемовъ CO и паровъ воды, при чемъ данныя выведенныя изъ вышеприведеннаго уравненія вполнѣ соотвѣтствуютъ наблюденнымъ измѣненіямъ объемовъ, если, само собою разумѣется, пренебречь небольшими погрѣшностями.

Очевидно, что объемъ азота до и послѣ прокаливанія остался безъ измѣненія, а потому для сравненія объемовъ другихъ газовъ отнесемъ все къ одному и тому-же количеству азота.

Мы, такимъ образомъ, составимъ слѣдующую таблицу:

	До прокаливанія.	Послѣ прокаливанія.	Уменьшеніе или увеличеніе.
CO^2	. . 17,8	9,6	— 8,2
CO	. 10,5	19,7	9,2
H^2	. 24,8	16,1	— 8,7
N^2	. . . . 43,6	43,6	0,0

И такъ результатъ почти совпадаетъ съ теоріей т. к. согласно реакціи: уменьшеніе объема CO^2 равно уменьшенію объема H^2 , а также увеличенію объема CO и (какъ мы это подтвердимъ далѣе) увеличенію объема паровъ воды, т. е. общей потери въ объемѣ высушеннаго газа.

2) Объемы высушеннаго газа до и послѣ прокаливанія очевидно находятся въ отношеніи обратно пропорціональномъ процентнымъ содержаніямъ азота (оставшагося безъ измѣненія), т. е.:

$$\frac{\text{Объемъ до прокал.}}{\text{Объему послѣ прокал.}} = \frac{47,8}{43,6} = \frac{100}{91,2}$$

и такъ потеря отъ прокаливанія (равная объему высушенной воды, безъ чего никакой потери въ объемѣ не наблюдалось-бы) будетъ:

$$100 - 91,2 = 8,8 \text{ частей,}$$

что и слѣдовало ожидать по теоріи.

Теплопроизводительная способность 1 куб. м. газа до прокаливанія была:

CO	$0,105 \times 3062 = 321,5$	Cal.
CH^4	$0,026 \times 8598 = 223,5$	»
C^2H^4	$0,007 \times 14480 = 101,4$	»
H^2	$0,248 \times 2613 = 648,0$	»
Итого . . .	1294,4 Cal.	

А послѣ прокаливанія, теплопроизводительная способность 1 кв. м. газа станетъ:

CO	0,216 ×	3062 =	661,4 Cal.
CH ⁴	0,020 ×	8598 =	172,0 »
C ² H ⁴	0,004 ×	14480 =	57,9 »
H ²	0,177 ×	2613 =	462,5 »
Итого			1353,8 Cal.

Но несмотря на то, что теплопроизводительная способность 1 кв. м. газа послѣ прокаливанія увеличилась почти на 60 Cal. или около 4,5⁰/₀, общая теплопроизводительность немного уменьшилась, такъ какъ объемъ газа уменьшился на 8,8⁰/₀.

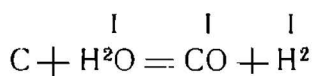
Дѣйствительная теплопроизводительность станетъ:

$$0,912 \times 1353,8 = 1234,7 \text{ Cal.}$$

т. е., въ этотъ разъ почти на 60 Cal. или на 4,5⁰/₀ меньше.

Водяной газъ.

Этотъ газъ производится перемежающимъ образомъ, такъ какъ сначала черезъ генераторъ пропускается одинъ воздухъ, сильно повышающій температуру, а затѣмъ въ теченіи нѣкотораго времени, пропускается одинъ паръ, разлагающійся согласно реакціи:



Теоретически слѣдовательно водяной газъ составляетъ удвоенный объемъ введенныхъ паровъ и состоитъ изъ 50⁰/₀ CO и 50⁰/₀ H², практически однако получаютъ отступленія ввиду слѣдующихъ причинъ:

Часть паровъ остается неразложенной, въ газъ попадаетъ немного CO² и N² отъ предшествовавшего, нагрѣвательнаго, періода, а также продукты разложенія угля въ небольшихъ количествахъ.

W. E. Case даетъ для водяного газа слѣдующій типичный анализъ:

H ²	48,0 ⁰ / ₀	CO ²	6,0 ⁰ / ₀
CO	38,0 »	N ²	5,5 »
CH ⁴	2,0 »	O ²	0,5 »

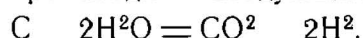
Ввиду высокаго содержанія горючихъ веществъ (до 90⁰/₀), водяной газъ отличается большой теплопроизводительною способностью, однако его производство обходится значительно дороже обыкновеннаго генераторнаго газа ввиду большого количества употребляемаго пара, значительныхъ потерь тепла во время подготовительнаго, нагрѣвательнаго, періода, а также ввиду перемежающаго характера операціи.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Для перваго періода существуютъ двѣ системы: согласно первой воздухъ вводится подъ незначительнымъ давленіемъ и получаемый газъ, представляющій изъ себя обыкновенный генераторный газъ, утилизируется на сторонѣ: согласно-же второй системы,—воздухъ вводится подъ значительнымъ давленіемъ чѣмъ достигается болѣе быстрое и болѣе полное сгораніе угля. Удаляющіеся газы оставляютъ часть уносимой теплоты пару, но главное преимущество—это сокращеніе времени, потребнаго для достиженія необходимой температуры (градусовъ 1500), а также нѣкоторая экономія горячаго.

Расчеты связанные съ подготовительнымъ, подогревательнымъ періодомъ мы отложимъ на нѣсколько позже, а теперь займемся вторымъ періодомъ, въ которомъ происходитъ образованіе водяного газа.

Охлажденіе доводятъ градусовъ до 800, такъ какъ между 800° и 600° по преимуществу происходитъ слѣдующая реакція:



Часть тепла доставляется образованіемъ CO, а другая берется изъ запаса тепла въ раскаленномъ углѣ коего средняя теплоемкость при 1200°, напримѣръ:

$$S_m = 0,5 - \frac{120}{1200} = 0,4.$$

Задача № 10.

Въ генераторѣ для водяного газа системы Dellwick-Fleischer имѣется 3 тонны кокса (90% C) нагрѣтаго до 1500°. Въ теченіи 8 минутъ пропускается паръ предварительно подогревѣтый до 300°. Процессъ останавливаютъ, когда температура, удаляющихся газовъ, достигаетъ 700°, при чемъ за среднюю температуру угля въ это время можно принять 800°. За средній составъ газа мы примемъ:

H ₂ .	50,0%
CO	40,0 »
CO ₂	5,0 «
O .	1,0 »
N	4,0 »
	100,0%

На потерю отъ излученія и конвекціи мы положимъ 9000 Cal. въ минуту.

Требуется опредѣлить:

- 1) Вѣсъ паровъ, употребленныхъ въ теченіи 8 минутъ.
- 2) Объемъ газа, выдѣливагося за этотъ промежутокъ времени.

Рѣшеніе:

Вѣсъ паровъ, могущихъ быть разложенными, зависитъ отъ свободного количества тепла.

водяной газъ.

Источниками прихода тепла служатъ:

- a. Окисленіе С въ СО.
- b. Окисленіе С въ СО².
- c. Теплота въ раскаленномъ углѣ.
- d. Теплота приносимая паромъ.

Источниками расхода служатъ:

- e. Разложеніе пара.
- f. Теплота уносимая газами.
- g. Излученіе и конвекція.

Назовемъ черезъ X вѣсь употребленныхъ и разложенныхъ паровъ и сдѣлаемъ слѣдующія допущенія:

Пусть паденіе температуры угля будетъ въ среднемъ отъ 1500° до 1000°, а средняя температура газа 1100°.

Для теплоемкости углерода возьмемъ 0,4, а для теплоемкости золы 0,25.

Приравнивая выраженія для прихода и расхода тепла опредѣлимъ X.

a. Судя по анализу газа объемъ СО въ 8 разъ больше объема СО², средняя реакція разложенія паровъ будетъ слѣдовательно:



при чемъ замѣтимъ что отношеніе между объемами H² и СО, дѣйствительно какъ 50 къ 40.

$8 \times 12 = 96$ частей С даютъ СО,
разлагая одновременно:

$$10 \times 18 = 180 \text{ частей пара,}$$

слѣдовательно на 1 часть пара приходится: $\frac{96}{180} = 0,533$ частей такого С. При образованіи X кгр. пара выдѣляется слѣдовательно отъ этого источника:

$$0,533 \times X \times 2430 = 1296 X \text{ Cal.}$$

b. При сгораніи С въ СО² очевидно выдѣляется:

$$\frac{0,533}{8} \times X \times 8100 = 540 X \text{ Cal.}$$

c. На 3000 кгр. угля приходится 2700 кгр. С и 300 кгр. золы, при паденіи температуры отъ 1500° до 1000° выдѣляется слѣдовательно:

$$2700 \times 0,40 \times 500 = 540000 \text{ Cal.}$$

$$300 \times 0,25 \times 500 = 37500 \text{ »}$$

$$\text{Итого . . . } 577500 \text{ Cal.}$$

d. Теоретическій объемъ пара = $\frac{X}{0,81}$ кб. м., слѣдовательно количество принесеннаго имъ тепла при 300° будетъ:

$$\frac{X}{0,81} \times 0,385 \times 300 = 143 X.$$

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Общій итогъ прихода тепла по статьямъ (a), (b), (c) и (d) будетъ:
 $1979 X + 577500 \text{ Cal.}$

e. На разложение X кгр. пара, теоретически до пара при 0° , требуется:

$$\frac{X}{9} \times 29030 = 3226 X \text{ Cal.}$$

f. Объемъ газа (съ $50^{\circ}/_{0} \text{ H}^2$) будетъ равенъ удвоенному объему паровъ т. е. всего: $\frac{2X}{0,81}$ куб. м., при средней температурѣ въ 1100° онъ будетъ содержать:

$$\frac{2X}{0,81} \times 0,333 \times 1100 = 905 X \text{ Cal.}$$

g. За 8 минутъ потеря отъ излученія достигнетъ:

$$9000 \times 8 = 72000 \text{ Cal.}$$

Общій итогъ расхода тепла по статьямъ (e), (f) и (g) будетъ:
 $4131 X + 72000 \text{ Cal.}$

Для опредѣленія X мы слѣдовательно будемъ имѣть уравненіе:
 $1979 X + 577500 = 4131 X + 72000.$

Откуда:

$$X = 235 \text{ кгр.}$$

2) Теоретическій объемъ пара будетъ:

$$\frac{235}{0,81} = 290 \text{ куб. м.}$$

а слѣдовательно теоретическій объемъ газа (съ $50^{\circ}/_{0} \text{ H}^2$):

$$290 \times 2 = 580 \text{ куб. м.}$$

Задача № 11.

Въ генераторъ для водяного газа системы Dellwick-Fleischer нагрѣвательный періодъ продолжается, допустимъ, 2 минуты. Воздухъ температурою въ 15° доставляется вентиляторомъ Рута черезъ трубу въ 24 сант. діаметромъ, при давленіи водяного столба въ 48 сант. — Анализъ, удаляющагося изъ генератора, газа слѣдующій:

CO^2	17,9%
CO	1,8 »
N^2	78,6 »
O^2 . . .	1,7 »
	100,0%

Ихъ температура — 900° . Потеря отъ излученія допустимъ 9000 Cal. въ минуту. Количество кокса (съ $90^{\circ}/_{0} \text{ C}$) — 3 тонны.

Требуется:

- 1) Опредѣлить среднее повышеніе температуры горючаго.
- 2) Какая часть всей выдѣлившейся теплоты бережена для послѣдующаго періода.

3) Допустимъ, что періодъ полученія водяного газа, будетъ продолжаться 8 минутъ, при чемъ для разложенія 1 кгр. пара пусть требуется по 4100 Cal., опредѣлить потребное въ минуту количество пара.

4) Опредѣлить отношеніе между объемомъ воздуха въ первомъ періодѣ и вѣсомъ пара во второмъ.

Рѣшеніе:

1) Сначала требуется опредѣлить объемъ доставленнаго вентиляторомъ воздуха.

Воспользуемся формулой для опредѣленія скорости истеченія жидкостей (и газовъ):

$$V = \sqrt{2gh}$$

Опредѣлимъ давленіе воздуха въ трубѣ въ метрахъ воздушнаго столба при 15°.

Такъ-какъ давленіе воздуха дано въ сантиметрахъ водяного столба, то воздухъ, (вѣсящій при 0°—773 раза меньше воды), замѣняющій его своимъ давленіемъ, будетъ представлять при 0°, столбъ въ:

$$0,48 \times 773 = 371 \text{ м.},$$

а при 15°:

$$371 \times \frac{273 + 15}{273} = 392 \text{ м.}$$

Скорость движенія воздуха въ трубѣ будетъ (при 15°)

$$V = \sqrt{19,62 \times 392} = 87,7 \text{ м. въ секунду}$$

чему въ 1 минуту соотвѣтствуетъ объемъ (при 15°):

$$87,7 \times 60 \times 0,7854 \times 0,24 \times 0,24 = 238 \text{ кб. м.}$$

а при 0°:

$$238 \times \frac{273}{288} = 226 \text{ кб. м.}$$

Отъ этого объема не трудно перейти къ объему, удаляющагося изъ генератора, газа, на томъ основаніи, что эти объемы обратно пропорціональны содержащемуся въ нихъ, по анализу, азота.—Въ теченіи двухъ минутъ объемъ, выдѣливающагося газа (сведеннаго къ 0°), будетъ слѣдовательно:

$$226 \times 2 \times \frac{79,2}{78,6} = 456 \text{ кб. м.}$$

Его составъ будетъ, согласно анализа:

CO ² . . .	81,5 кб. м.
CO	8,2 »
N ²	358,5 »
O ²	7,8 »
Итого	456,0 кб. м.

Вѣсъ углерода, соотвѣтственно сгорающаго въ CO^2 и CO будетъ:

$$\begin{array}{r} \text{С въ } \text{CO}^2 81,5 \times 0,54 = 44,0 \text{ кгр.} \\ \text{С } \gg \text{ CO } 8,2 \times 0,54 = 4,4 \text{ } \gg \\ \hline \text{Всего } 48,4 \text{ кгр.} \end{array}$$

При этомъ выдѣлилось тепла:

$$\begin{array}{r} \text{С въ } \text{CO}^2 44,0 \times 8100 = 356400 \text{ Cal.} \\ \text{С } \gg \text{ CO } 4,4 \times 2430 = 10700 \text{ } \gg \\ \hline \text{Итого } 367100 \text{ Cal.} \end{array}$$

Потеря тепла происходитъ отъ излученія, въ теченіи двухъ минутъ, при чемъ теряется по предположенію заданія:

$$2 \times 9000 = 18000 \text{ Cal.}$$

и отъ теплоты въ удаляющихся при 900^0 газахъ. Эта послѣдняя будетъ:

$$\begin{array}{r} \text{CO, O}^2, \text{N}^2 374,5 \times 0,327 (900 - 15) = 108380 \text{ Cal.} \\ \text{CO}^2 81,5 \times 0,568 (900 - 15) = 40970 \text{ } \gg \\ \hline \end{array}$$

$$\text{Итого } 149350 \text{ Cal.}$$

Общая потеря тепла будетъ:

$$18000 \times 149350 = 167350 \text{ Cal.}$$

Остатокъ тепла въ коксѣ, производящій его нагрѣваніе:

$$367100 - 167350 = 199750 \text{ Cal.}$$

Теплоемкость этого кокса будетъ на 1^0 повышенія температуры:

$$2700 \times 0,4 = 1080 \text{ Cal.}$$

$$300 \times 0,25 = 75 \text{ } \gg$$

$$\text{Итого } 1155 \text{ Cal.}$$

Среднее повышеніе температуры:

$$\frac{199750}{1155} = 173^0$$

2) Сбереженная теплота составляетъ:

$$\frac{199750 \times 100}{367100} = 54,5\%$$

3) Вѣсъ пара, который можетъ быть разложенъ во второмъ періодѣ:

$$\frac{199750}{4100} = 48,8 \text{ кгр.}$$

что составляетъ въ теченіи 1 минуты:

$$\frac{48,8}{8} = 6,1 \text{ кгр.}$$

4) Въ теченіи 2 минутъ вводится

$$2 \times 226 = 452 \text{ кб. м. воздуха}$$

слѣдовательно на 1 кб. м. воздуха приходится пара:

$$\frac{48,8}{452} = 0,108 \text{ кгр.}$$

ГЛАВА VII.

Естественная тяга и форсированное дутье.

Воздухъ для поддержанія горѣнія можетъ быть доставленъ либо естественной тягой, либо форсированнымъ дутьемъ.

Наиболѣе распространеннымъ способомъ вызвать тягу является пользованіе трубой, хотя примѣненіе форсированнаго дутья позволяетъ сберечь значительное количество тепловой энергіи, которая иначе пропала-бы даромъ. Въ трубѣ горячіе газы поднимаются, ввиду большей своей легкости относительно наружнаго, холоднаго воздуха, если же ихъ предварительно нѣсколько охладить, утилизируя часть тепла на сторонѣ, напримѣръ для поднятія пара въ котлѣ, то подъемная сила можетъ оказаться недостаточною для естественной тяги и придется устроить форсированное дутье, отнимающее лишь незначительную часть той энергіи, которую, такимъ образомъ, удалось сберечь.

Тяга черезъ трубу.

Источникомъ тяги служитъ разница между вѣсомъ холоднаго, наружнаго воздуха, которымъ мы предположили-бы всю трубу заполненной и вѣсомъ горячаго газа, который дѣйствительно заполняетъ ее.

Примѣръ: Труба въ 30 метровъ вышиною имѣетъ квадратное сѣченіе (равномѣрное): 2×2 кв. м.

Средняя температура газовъ 260° , а удѣльный вѣсъ, по отношенію къ воздуху: 1,06. Температура наружнаго воздуха 27° . Чему равна подъемная сила горячихъ газовъ, выраженная: въ кгр.; въ кгр. на квадр. сант.; въ сант. водянаго столба и наконецъ въ метрахъ воздушнаго столба при 0° ?

Рѣшеніе:

Внутренній объемъ трубы будетъ:

$$2 \times 2 \times 30 = 120 \text{ куб. м.}$$

Вѣсъ такого объема воздуха при 0° :

$$120 \times 1,293 = 155 \text{ кгр.}$$

А его вѣсъ при 27° :

$$155 \frac{273}{273 + 27} = 141 \text{ кгр.}$$

Вѣсъ-же газа, наполняющаго трубу при 260° :

$$155 \times 1,06 \frac{273}{273 + 260} = 84 \text{ кгр.}$$

Подъемная сила газа будетъ:

$$141 - 84 = 57 \text{ кгр.}$$

Эта тяга соотвѣтствуетъ давленію 57 кгр. снизу вверхъ на всю площадь сѣченія трубы т. е. на 4 кв. м.

Тяга выраженная въ кгр. на кв. сант. будетъ:

$$\frac{57}{4 \times 10000} = 0,001425$$

Чтобы перейти къ давленію выраженному въ сант. водяного столба, замѣтимъ, что 1 сант. вод. столба представляетъ изъ себя давленіе 1 гр. на 1 кв. сант.

Данная тяга будетъ слѣдовательно соотвѣтствовать:

$$\frac{0,001425}{0,001} = 1,425 \text{ сант. водяного столба.}$$

Для того, чтобы выразить эту тягу въ метрахъ воздушнаго столба, при 0° замѣтимъ что воздухъ въ 773 раза легче воды, а поэтому равносильный столбъ воздуха будетъ въ 773 раза выше столба воды т. е.:

$$1,425 \times 773 \times 0,01 = 11,02 \text{ м. воздушнаго столба.}$$

Къ этому-же результату проще подойти инымъ путемъ, а именно:

Общая тяга въ 57 кгр., дѣйствуя на 4 кв. м. сѣченія, представляетъ изъ себя давленіе въ: $\frac{57}{4} = 14,25$ кгр. на 1 кв. м., а такъ какъ вѣсъ 1 кв. м. воздуха = 1,293 кгр., то слѣдовательно высота столба воздуха (при основаніи въ 1 кв. м.), производящаго это давленіе, будетъ:

$$\frac{14,25}{1,293} = 11,02 \text{ м.}$$

Можно легко вывести общую формулу для тяги трубы, выраженную въ метрахъ воздушнаго столба при 0° — h_0 . Если не принимать въ соображеніе скорости газовъ и слѣдовательно также и тренія о стѣнки, то h_0 очевидно будетъ независимо отъ площади сѣченія трубы, онъ соотвѣтствуетъ максимальной, теоретической тягѣ, которую слѣдуетъ уменьшить на сумму величинъ, выражающихъ потери тяги (отъ скорости— h_0^v и отъ тренія— h_0^f), полученный результатъ будетъ свободная тяга— h_0^d , такъ что:

$$h_0^d = h_0 - h_0^v - h_0^f$$

Кромѣ вышеприведенныхъ, введемъ еще слѣдующія обозначенія:

H = высота трубы въ метрахъ

S = площадь сѣченія трубы въ кв. м.

F = общая максимальная тяга въ кгр.

f = тоже, но въ кгр. на 1 кв. м. = $1,293 h_0 = \frac{1000 h_0}{773}$

t = средняя температура газовъ въ трубѣ

t' = температура наружнаго воздуха

α = коэффициентъ расширенія газовъ = $\frac{1}{273} = 0,00366$

D_0 = удѣльный вѣсъ газовъ по отношенію къ воздуху.

Примѣняя къ общему случаю разсужденія, приложенныя нами къ частному, мы получимъ:

$$F = Sf = S \times 1,293 h_0 = \frac{HS \times 1,293}{(1 + \alpha t')} - \frac{D_0 HS \times 1,293}{(1 + \alpha t)}$$

откуда:

$$h_0 = H \left(\frac{1}{1 + \alpha t'} - \frac{D_0}{1 + \alpha t} \right) \text{ или:}$$

$$h_0 = 273 H \left(\frac{1}{273 + t'} - \frac{D_0}{273 + t} \right) \text{ или еще:}$$

$$h_0 = 273 H \left[\frac{(t - D_0 t') - 273 (D_0 - 1)}{(273 + t)(273 + t')} \right]$$

Послѣднюю формулу можно удобно разложить на рядъ простѣйшихъ формулъ, введя нѣсколько новыхъ, вполне логичныхъ, обозначеній:

Положимъ:

$$t = t - t'$$

$$T = 273 - t$$

$$T' = 273 - t'$$

$$\delta = D_0 - 1$$

и пусть кромѣ того:

$$\alpha = 1 - \left(\frac{t'}{T'} + \frac{273\delta}{t} \right)$$

$$K = \alpha \frac{t}{T}$$

тогда:

$$h_0 = KH$$

гдѣ K можно назвать коэффициентомъ теоретической тяги.

Примѣнимъ эти формулы къ разобранному выше случаю когда:

$$t = 260^{\circ}$$

$$t' = 27^{\circ}$$

$$D_0 = 1,06$$

$$H = 30 \text{ м.}$$

тогда:

$$t = 260 - 27 = 233$$

$$T = 273 + 260 = 533$$

$$T' = 273 + 27 = 300$$

$$\delta = 1,06 - 1 = 0,06$$

и слѣдовательно:

$$\mu = 1 - \left(\frac{27}{300} - \frac{273 \times 0,06}{233} \right) = 1 - (0,09 + 0,07) = 0,84$$

$$K = 0,84 \frac{233}{533} = 0,367$$

$$h_0 = 0,367 \times 30 = 11,02 \text{ м.}$$

Теорія естественной тяги однако настолько проста, что лучше избѣгать употребленія формулъ и въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ примѣнять логическія разсужденія.

Потеря тяги отъ скорости выходящихъ газовъ.

Мы ее обозначимъ черезъ h_0^v въ томъ слѣучаѣ, когда она будетъ выражена въ метрахъ воздушнаго столба при 0^0 .

Сначала однако, эта потеря, обыкновенно, выражается въ метрахъ столба горячаго газа, поднимающагося по трубѣ со скоростью V метровъ въ секунду и опредѣляется по формулѣ:

$$h_t^v = \frac{V^2}{2g}.$$

Выражая эту потерю въ метрахъ воздушнаго столба при 0^0 мы должны помножить предыдущую величину на: $\frac{D_0}{1 + \alpha t}$, такимъ образомъ:

$$h_t^v = h_t^v \frac{D_0}{1 + \alpha t} = \frac{V^2}{2g} \times \frac{D_0}{1 + \alpha t}$$

$$\text{гдѣ } g = 9,81, \quad \alpha - \alpha = \frac{1}{273} = 0,00366$$

такъ что:

$$h_t^v = \frac{V^2}{19,62} \times \frac{273 D_0}{273 + t}.$$

Для V и t мы имѣемъ, въ зависимости отъ рода трубы, слѣдующіе предѣлы:

	t^0	V метр.-сек.
Для дымовыхъ трубъ	100 — 200	около 1 м.
» котельныхъ трубъ	100 — 300	2 — 4
» металлургическихъ цѣлей	300 — 1000	4 — 6

Примѣръ:

Пусть скорость газовъ при выходѣ изъ трубы будетъ 5 метровъ въ секунду, температура 260^0 , а плотность $D_0 = 1,06$. Опредѣлить потерю тяги отъ скорости, выражая ее въ метрахъ воздушнаго столба при 0^0 .

Рѣшеніе:

Потеря выраженная въ метрахъ столба горячаго газа будетъ:

$$h_t^v = \frac{v^2}{2g} = \frac{5^2}{19,62} = 1,27 \text{ м.}$$

Слѣдовательно:

$$h_0^v = 1,27 \times 1,06 \times \frac{273}{273 + 260} = 0,69 \text{ м.}$$

Въ отношеніи къ максимальной теоретической тягѣ—11,02 м. это составитъ:

$$\frac{0,69 \times 100}{11,02} = 6,26\% \text{ потери.}$$

Потеря тяги отъ тренія о стѣнки трубы.

Если предварительно вычислена потеря тягѣ отъ скорости газовъ въ трубѣ— h_0^v . то новая искомая потеря будетъ согласно Grashof'a:

$$h_0^f = h_0^v \times \frac{H}{d} \times k$$

гдѣ $\frac{H}{d}$ = отношенію высоты трубы къ ея внутреннему діаметру или къ сторонѣ квадрата, а k —коэффициентъ, зависящій отъ большей или меньшей шероховатости стѣнокъ, и измѣняющійся, обыкновенно, въ предѣлахъ между 0,05 и 0,12, такъ что его можно, въ среднемъ, принять за 0,08.

Примѣръ. Определить потерю отъ тренія для предыдущей трубы:

$$\frac{H}{d} = \frac{30}{2} = 15 \text{ слѣдовательно:}$$

$$h_0^f = 0,69 \times 15 \times 0,08 = 0,83 \text{ м.}$$

что составляетъ:

$$\frac{0,83 \times 100}{11,02} = 7,54\% \text{ потери.}$$

Свободная тяга трубы.

Свободная тяга есть разность между максимальной теоретическою тягою и суммою потерь (отъ скорости газовъ и отъ тренія ихъ о стѣнки). Обозначая ея выраженіе въ метрахъ воздушнаго столба при 0° черезъ h_0^d мы получимъ:

$$h_0^d = h_0 - (h_0^v + h_0^f).$$

Для разсматриваемаго нами случая

$$h_0^d = 11,02 - (0,69 + 0,83) = 9,50 \text{ м.}$$

или въ процентахъ теоретической тяги

$$h_0^d\% = 100 - (6,26 + 7,54) = 86,20\%.$$

Для двухъ крайнихъ случаевъ можно составить слѣдующую табличку:

	Случай I.	Случай II.
Температура газовъ при выходѣ .	100 ⁰	1000 ⁰
Скорость газовъ въ секунду	1 м.	7 м.
Отношеніе Н къ d	10	50
Коэффициентъ Grashof'a k .	0,05	0,12
Удѣльный вѣсъ газовъ D ₀	1,00	1,06
Потеря отъ скорости h ₀ ^v	0,04	0,56
» » тренія h ₀ ^f	0,02	3,36
Общая потеря h ₀ ^v — h ₀ ^f	0,06	3,92
Она-же выраженная въ мм. столба воды	0,1	5,0

Задача № 12.

Требуется спроектировать трубу для пудлинговой печи съ колосниковой рѣшеткой размѣровъ 1,2 × 1,8 кв. м., при чемъ въ теченіи часа на 1 кв. м. рѣшетки сгораетъ 150 кгр. угля (напримѣръ отвѣчающаго анализу, приведенному въ задачѣ № 1). Температура газовъ при входѣ въ трубу 1200⁰, при выходѣ, положимъ, 1000⁰ (т. е. въ среднемъ 1100⁰). Удѣльный вѣсъ газовъ D₀ = 1,03. Требуется тяга въ 1,5 сант. водяного столба. Температура наружнаго воздуха 30⁰.

Рѣшеніе. Положимъ что потери тяги въ самой трубѣ достигнутъ 0,25 сант. водяного столба, такъ что общая необходимая тяга будетъ 1,75 сант. водяного столба, а выражая ее въ метрахъ воздушнаго столба (при 0⁰) получимъ:

$$h_0 = \frac{1,75 \times 773}{100} = 13,53 \text{ м.}$$

что составить въ кгр. на 1 кв. м. сѣченія:

$$13,53 \times 1,293 = 17,5 \text{ кгр.}$$

результатъ, который очевидно могъ быть полученъ и другимъ образомъ, т. к.:

$$\frac{1,75 \times 10000}{1000} = 17,5 \text{ кгр.}$$

Общее давленіе на площадь внутренняго сѣченія трубы—S, будетъ слѣдовательно:

$$S \times 17,5 \text{ кгр.}$$

Это-же общее давленіе можетъ быть выведено и другимъ путемъ, вводя неизвѣстную вышину трубы — Н, приравнивая оба выраженія, опредѣлимъ Н.

Вѣсъ 1 куб. м. наружнаго воздуха при 30⁰ будетъ:

$$1,293 \times \frac{273}{273 + 30} = 1,165 \text{ кгр.}$$

Вѣсъ 1 куб. м. газа, внутри трубы, при 1100⁰ будетъ:

$$1,293 \times 1,03 \times \frac{273}{273 + 1100} = 0,265 \text{ кгр.}$$

Подъемная сила газа, занимающего объем $H \times S$ куб. м., будетъ слѣдовательно:

$$1,165 \times H \times S - 0,265 \times H \times S = 0,900 \times H \times S \text{ кгр.}$$

Приравнивая подъемную силу газа съ общимъ давленіемъ получимъ уравненіе:

$$0,900 \times H \times S = 17,5 \times S.$$

Откуда:

$$H = \frac{17,5}{0,90} = 19,45 \text{ м.}$$

Для опредѣленія внутренняго сѣченія трубы зададимъ себѣ предѣльную скорость для газовъ, на примѣръ 6 м. въ секунду.

Вѣсь сожженнаго въ теченіи 1 часа угля будетъ:

$$1,2 \times 1,8 \times 150 = 324 \text{ кгр.}$$

Согласно расчетамъ, приведеннымъ подробно, въ задачѣ № 1, на 1 кгр. угля приходится 7,69 куб. м. воздуха (при 0^0) и соотвѣтствующій объемъ продуктовъ горѣнія (при 0^0) — 8,05 куб. м.

Всего слѣдовательно будетъ употреблено воздуха (при 0^0):

$$7,69 \times 324 = 2492 \text{ куб. м.}$$

а продуктовъ горѣнія (при 0^0), получено:

$$8,05 \times 324 = 2608 \text{ куб. м.}$$

Объемъ этихъ продуктовъ горѣнія при 1100^0 будетъ:

$$2608 \frac{1100 \times 273}{273} = 13144 \text{ куб. м.}$$

а въ теченіи 1 секунды:

$$\frac{13144}{60 \times 60} = 3,65 \text{ куб. м.}$$

При наибольшей допустимой скорости газовъ въ 6 м. въ сек. площадь сѣченія будетъ слѣдовательно:

$$\frac{3,65}{6} = 0,608 \text{ кв. м.}$$

и соотвѣтствующій внутренній діаметръ трубы:

$$100 \sqrt{\frac{0,608}{0,7854}} = 88 \text{ сант.}$$

Для большей увѣренности и для лучшей работы увеличимъ внутренній діаметръ трубы на 25%, т. е. сдѣлаемъ его = 1,1 м., тогда площадь сѣченія увеличится на 56,25% и станетъ 0,95 кв. м., скорость-же газовъ падетъ до 3,84 м. въ секунду.

Задача № 13.

Допустимъ въ предыдущей задачѣ, что газы по выходѣ изъ пудлинговой печи, не поступаютъ сразу въ трубу, а предварительно ути-

лизируются для поднятія пара въ котлѣ, помѣщенномъ надъ печью, такъ что попадая наконецъ въ трубу, имѣющую 19,45 м. вышины и 1,1 м. внутренняго діаметра, имъ остается тамъ пройти путь въ 14,9 м. При входѣ въ трубу температура газовъ 350° , а при выходѣ — 250° . Сопротивленіе, встрѣчаемое при проходѣ газовъ подъ паровымъ котломъ, пусть будетъ 0,25 сант. водяного столба.

Положимъ для теплого коэффиціента полезнаго дѣйствія парового котла — 45% , для паровой машины — 20% и наконецъ для вентилятора — 25% .

Требуется отвѣтить на слѣдующіе вопросы:

1) Допустимъ вновь, какъ въ задачѣ № 12, что газы ($D_0 = 1,03$) поступаютъ непосредственно изъ пудлинговой печи въ трубу, имѣя въ среднемъ температуру 1100° , вычислить максимальную теоретическую тягу.

2) Вычислить потерю тяги отъ скорости, при температурѣ выходящихъ газовъ въ 1000° .

3) Вычислить потерю отъ тренія, для газовъ при 1100° .

4) Опредѣлить свободную тягу.

5) Вычислить максимальную теоретическую тягу для газовъ ($D_0 = 1,03$), среднюю температуру въ 300° , въ трубѣ съ оставшеюся вышиною въ 14,9 м.

6) Вычислить потерю тяги отъ скорости при температурѣ выходящихъ газовъ въ 250° .

7) Вычислить потерю отъ тренія для газовъ при 300° .

8) Опредѣлить свободную тягу въ этомъ случаѣ.

9) Опредѣлить насколько нужно увеличить только что выведенную свободную тягу, примѣняя форсированное дутье, чтобы пополнить дефицитъ въ тягѣ и достигнуть такого-же дѣйствія, какъ и при естественной тягѣ въ случаѣ разобраннымъ выше.

10) Вычислить количество лошадиныхъ силъ, потребныхъ для приведенія въ дѣйствіе вентилятора, доставляющаго дутье.

11) Вычислить количество лошадиныхъ силъ, доставляемыхъ паровою машиною, работающей паромъ, полученнымъ вышеописаннымъ способомъ.

12) Опредѣлить избытокъ съэкономичанной энергіи отъ введенія форсированнаго дутья.

Рѣшеніе:

Внутренній объемъ трубы:

$$19,45 \times 1,1^2 \times 0,7854 = 18,5 \text{ куб. м.}$$

Вѣсъ газовъ, занимающихъ этотъ объемъ при 0° :

$$18,5 \times 1,293 \times 1,03 = 24,64 \text{ кг.}$$

Вѣсъ ихъ при 1100^0 :

$$24,64 \times \frac{273}{273 + 1100} = 4,9 \text{ кгр.}$$

Вѣсъ такого-же объема наружнаго воздуха при 30^0 :

$$18,5 \times 1,293 \times \frac{273}{273 + 30} = 21,6 \text{ кгр.}$$

Разница въ вѣсѣ, т. е. подъемная сила газовъ.

$$21,6 - 4,9 = 16,7 \text{ кгр.}$$

Давленіе на 1 кв. м. сѣченія:

$$\frac{16,7}{0,95} = 17,6 \text{ кгр.}$$

Теоретическая тяга, выраженная воздушнымъ столбомъ при 0^0 .

$$\frac{17,6}{1,293} = 13,6 \text{ м.}$$

Та-же теоретическая тяга въ сант. водяного столба:

$$\frac{13,6 \times 100}{773} = 1,76 \text{ сант.}$$

2) Объемъ газовъ (при 0^0) за 1 часъ, согласно задачѣ № 12: 2608 куб. м.

Объемъ ихъ при 1000^0 :

$$2608 \times \frac{273 + 1000}{273} = 12150 \text{ куб. м.}$$

Скорость газовъ въ 1 секунду:

$$\frac{12150}{0,95 \times 3600} = 3,55 \text{ м.}$$

Вышина столба горячаго газа, сообщающаго такую скорость:

$$\frac{(3,55)^2}{19,62} = 0,642 \text{ м.}$$

Соотвѣтствующій столбъ воздуха при 0^0 :

$$0,642 \times \frac{273}{273 + 1000} \times 1,03 = 0,142 \text{ м.}$$

Соотвѣтствующій столбъ воды:

$$\frac{0,142 \times 100}{773} = 0,0184 \text{ сант.}$$

3) Для вычисленія потери тяги отъ тренія о стѣнки, примѣняемъ формулу:

$$h_o^f = \frac{V^2}{2g} \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{H}{d} \times K \times D_o,$$

въ которой значеніе членовъ намъ извѣстно, для K возьмемъ 0,08.

Сначала вычислимъ скорость V въ секунду при 1100^0 :

$$V = \frac{2608}{0,95 \times 3600} \times \frac{273 \times 1100}{273} = 3,84 \text{ м.}$$

тогда h_o^f , въ метрахъ воздушнаго столба при 0^0 , будетъ:

$$\frac{(3,84)^2}{19,62} \times \frac{273}{273 + 1100} \times 1,03 \times \frac{19,45}{1,1} \times 0,08 = 0,218 \text{ м.}$$

Соответствующий столбъ воды:

$$\frac{0,218 \times 100}{773} = 0,0282 \text{ сант.}$$

4) Теперь не трудно опредѣлить, остающуюся свободною, тягу— h_0^d :

$$h_0^d = h_0 - (h_0^v + h_0^f)$$

ея величина въ метрахъ воздушнаго столба, при 0° , будетъ:

$$h_0^d = 13,6 - (0,142 + 0,218) = 13,240 \text{ м.}$$

а въ сант. водянаго столба:

$$1,76 - (0,0184 + 0,0282) = 1,7134 \text{ сант.}$$

5) Теперь переходимъ къ условіямъ, связаннымъ съ форсированной тягой.

Остающийся объемъ трубы:

$$14,9 \times 0,95 = 14,16 \text{ куб. м.}$$

Вѣсъ газовъ, наполняющихъ этотъ объемъ при 300° :

$$14,16 \times 1,293 \times 1,03 \times \frac{273}{273 + 300} = 8,98 \text{ кгр.}$$

Вѣсъ такого-же объема наружнаго воздуха при 30° :

$$14,16 \times 1,293 \times \frac{273}{273 + 30} = 16,50 \text{ кгр.}$$

Подъемная сила, отнесенная къ 1 кв. м.:

$$\frac{16,50 - 8,98}{0,95} = 7,92 \text{ кгр.}$$

Соответствующий столбъ воды:

$$\frac{7,92 \times 1000}{10000} = 0,792 \text{ сант.}$$

Теоретическая тяга въ метрахъ воздушнаго столба при 0° :

$$\frac{7,92}{1,293} = \frac{0,792 \times 773}{100} = 6,12 \text{ м.}$$

6) Скорость, выходящихъ при 250° , газовъ:

$$\frac{2608}{0,95 \times 3600} \times \frac{273 + 250}{273} = 1,47 \text{ м. въ секунду.}$$

Потеря тяги въ метрахъ воздушнаго столба при 0° :

$$\frac{(1,47)^2}{19,62} \times \frac{273}{273 + 250} \times 1,03 = 0,059 \text{ м.}$$

Соответствующий столбъ воды:

$$\frac{0,059 \times 100}{773} = 0,0076 \text{ сант.}$$

7) Средняя скорость газовъ въ трубѣ при 300° :

$$\frac{2608}{0,95 \times 3600} \times \frac{273 + 300}{273} = 1,60 \text{ м. въ секунду.}$$

Соответствующая потеря тяги, треніемъ о стѣнки, въ метрахъ воздушнаго столба при 0° :

$$\frac{(1,6)^2}{19,62} \times \frac{273}{273 + 300} \times 1,03 \times \frac{14,9}{1,1} \times 0,08 = 0,069 \text{ м.}$$

Соотвѣтствующій столбъ воды:

$$\frac{0,069 \times 100}{773} = 0,0089 \text{ сант.}$$

8) Свободная тяга— h_0^d , въ этомъ случаѣ, будетъ въ метрахъ воздушнаго столба при 0^0 :

$$h_0^d = 6,120 - (0,059 - 0,069) = 5,992 \text{ м.}$$

а въ сант. водяного столба:

$$0,7920 - (0,0076 - 0,0089) = 0,7755 \text{ сант.}$$

9) При введеніи форсированной тяги требуется еще принять въ расчетъ сопротивленіе, встрѣчаемое при проходѣ газовъ подъ паровымъ котломъ; оно предположено равнымъ 0,25 сант. водяного столба, а въ метрахъ воздушнаго столба при 0^0 оно очевидно будетъ:

$$\frac{0,25 \times 773}{100} = \frac{0,25 \times 1000}{100 \times 1,293} = 1,93 \text{ м.}$$

Въ первой части этой задачи нами была вычислена свободная естественная тяга, даваемая трубою, составляющая 13,24 м. воздуха при 0^0 или 1,7134 сант. водяного столба. Чтобы достигнуть, съ форсированной тягой такихъ-же результатовъ, какъ и съ естественной, надо слѣдовательно обладать свободною тягою въ:

$$13,24 + 1,93 = 15,17 \text{ м. воздушнаго столба}$$

или что одно и то-же въ:

$$1,7134 + 0,25 = 1,9634 \text{ сант. водяного столба}$$

нами-же только что опредѣлено, что при условіи использованія части теплоты, содержащейся въ газахъ, труба въ состояніи, самостоятельно, произвести лишь свободную тягу, измѣряемую черезъ:

$$5,992 \text{ м. воздушнаго столба,}$$

или:

$$0,7755 \text{ сант. водяного столба;}$$

такимъ образомъ получается деффицитъ тяги равный:

$$15,170 - 5,992 = 9,178 \text{ м. воздушнаго столба при } 0^0$$

или:

$$1,9634 - 0,7755 = 1,1879 \text{ сант. водяного столба.}$$

Этотъ деффицитъ и долженъ быть пополненъ работою вентилятора.

10) Давленіе воздуха, вдуваемаго вентиляторомъ, должно составлять, на 1 кв. м.:

$$\frac{1,1879 \times 1000}{100} = 11,879 \text{ кгр.}$$

Объемъ потребнаго воздуха въ теченіи 1 часа при 0^0 составляетъ по задачѣ № 12 — 2492 куб. м., слѣдовательно при 30^0 , вентиляторъ долженъ доставить:

$$2492 \times \frac{273 + 30}{273} = 2766 \text{ куб. м.}$$

Работа вентилятора за 1 часъ будетъ :

$$2766 \times 11,879 = 32857 \text{ кгр.-метровъ,}$$

а при коэффициентѣ полезнаго дѣйствія въ 25%, поглощенная имъ работа, въ теченіи 1 секунды будетъ, въ лошадиныхъ силахъ.

$$\frac{32857}{0,25 \times 3600 \times 75} = 0,49 \text{ лошади. силъ.}$$

11) Газы поступаютъ подъ котель при 1200°, а уходятъ при 350°, объемъ ихъ, за 1 часъ, составляетъ 2608 куб. м. Для вычисленія количества тепла, приносимаго ими, нужно знать ихъ теплоемкость, для этого зададимъ себѣ ихъ примѣрный анализъ:

CO ²	15%
H ² O	10%
CO, N ² и O ²	75%
	100%

Теплоемкость 1 куб. м. на 1° повышенія температуры (между 350° и 1200°) вычислится слѣдующимъ образомъ:

$$\text{CO}^2 \quad 0,15 \times [0,37 + 0,00022 (350 + 1200)] = 0,10665 \text{ Cal.}$$

$$\text{H}^2\text{O} \quad 0,10 \times [0,34 + 0,00015 (350 + 1200)] = 0,05725 \text{ »}$$

$$\text{CO, N}^2 \text{ и O}^2 \quad . . 0,75 \times [0,303 + 0,000027 (350 + 1200)] = 0,25864 \text{ »}$$

$$\text{Итого} \quad . . . \quad 0,42254 \text{ Cal.}$$

Такъ что 1 куб. м. будетъ содержать всего:

$$0,42254 (1200 - 350) = 359 \text{ Cal.}$$

Въ теченіи 1 часа 2608 куб. м. газа передадутъ котлу:

$$2608 \times 359 = 936272 \text{ Cal.}$$

При тепловомъ коэффициентѣ котла = 0,45, пары унесутъ съ собою въ теченіи 1 часа:

$$936272 \times 0,45 = 421322 \text{ Cal.}$$

При тепловомъ коэффициентѣ паровой машины = 0,20, она превратитъ въ механическую энергію въ теченіи 1 часа:

$$421322 \times 0,20 = 84265 \text{ Cal.}$$

Съ другой стороны намъ извѣстно, что 1 лошадиная сила—часъ соотвѣтствуетъ:

$$\frac{75 \times 60 \times 60}{425} = 635 \text{ Cal.}$$

Слѣдовательно сила паровой машины выразится въ:

$$\frac{84265}{635} = 132,70 \text{ лошади. силъ.}$$

12) Изъ этихъ 132,70 лошадиныхъ силъ на приведеніе въ дѣйствіе вентилятора требуется всего лишь 0,49 лошадиныхъ силъ; примѣненіе форсированной тяги даетъ слѣдовательно излишекъ въ 132,21 лошадиныхъ силъ, являющихся искомою экономіей.

ГЛАВА VIII.

Теплопроводность и излученіе.

Принципы теплопроводности.

Давно замѣчено, что способность металловъ проводить тепло представляетъ большое сходство съ ихъ способностью проводить электричество. Законъ Ома въ электричествѣ соотвѣтствуетъ аналогичному закону въ ученіи о теплопроводности.

За единицу теплопроводности (удѣльной теплопроводности) въ системѣ С. Г. С. считаютъ теплопроводность тѣла размѣрами въ 1 кв. сант., причемъ разница температуръ двухъ противоположныхъ стѣнокъ въ 1⁰ Цельсія вызываетъ въ теченіи 1 секунды передачу 1 малой калоріи (gr. Cal.) тепла (при обыкновенныхъ, комнатныхъ температурахъ).

Обратная величина будетъ служить единицею сопротивляемости (удѣльнаго сопротивленія).

Обозначимъ, такъ называемую, удѣльную теплопроводность (или теплопроводность) какого-нибудь тѣла черезъ c , тогда его удѣльное сопротивленіе (или сопротивляемость) r , будетъ: $r = \frac{1}{c}$.

Если разница температуръ обоихъ стѣнокъ будетъ: $t_1 - t_2 = t$, поверхность ихъ (въ кв. сант. — s , а разстояніе между ними (въ сант.) — l , то для тѣла съ удѣльной теплопроводностью (теплопроводностью) — c , или, что то-же, съ сопротивляемостью — r , — количество тепла — q (выраженное въ малыхъ калоріяхъ), которое въ теченіи a секундъ перенесется отъ одной стѣнки къ другой, будетъ:

$$q = c \cdot \frac{1}{l} \cdot s \cdot t \cdot a = \frac{1}{r} \cdot \frac{1}{l} \cdot s \cdot t \cdot a$$

Отсюда:

и
$$c = \frac{ql}{s \cdot t \cdot a}$$
$$r = \frac{s \cdot t \cdot a}{ql}$$

Примѣръ. Пусть теплопроводность листового желѣза = 0,14 (сопротивляемость = 7,14). Опредѣлить количество тепла, которое

въ теченіи 1 часа перенесется отъ одной стороны къ другой для листа въ 1 кв. м. поверхности, толщиною въ 1 мм. и при разницѣ температуръ обѣихъ сторонъ въ 1° .

$$\begin{aligned} \text{Мы имѣемъ: } & \dots \dots \dots a = 60 & 60 = 3600 \\ & c = 0,14 & \dots t = 1^{\circ} \\ & l = 0,1 & \dots s = 10000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Тогда: } \quad q &= 0,14 \frac{1}{0,1} \times 10000 \times 1 \times 3600 \\ &= 50400000 \quad \text{мал. Cal.} \\ &= 50400 \quad \text{больш. Cal.} \end{aligned}$$

Таблица удѣльной теплопроводности и удѣльнаго сопротивленія:

Названіе матеріала.	Теплопрово- димость:—с.	Сопроти- вляемость:—г.
Серебро (0°) .	. 1,10	0,91
Мѣдь (30°) 0,92	1,09
Мѣдь обыкновенная . . .	. 0,82	1,22
Мѣдь фосфорная . . . .	. 0,72	1,39
Магній . . . . .	. 0,38	2,63
Аллюминій (0°) .	. 0,34	2,94
Аллюминій (100°)	. 0,36	2,75
Цинкъ (15°) 0,30	3,33
Латунь желтая (0°)	. 0,20	5,00
Латунь желтая (100°) .	. 0,25	4,00
Латунь красная (0°)	. 0,25	4,00
Латунь желтая (100°) .	. 0,28	3,57
Кадмій (0°) 0,20	5,00
Олово (15°) 0,15	6,67
Желѣзо кованное (0°) .	. 0,21	4,76
» » (100°) .	. 0,16	6,25
» » (200°) .	. 0,14	7,14
Сталь мягкая . . . . .	. 0,11	9,01
Сталь твердая . . . . .	. 0,06	16,67
Мельхіоръ (0°) 0,07	14,28
» (100°) 0,09	11,11
Свинець (0°) 0,084	11,90
» (100°) 0,076	13,16
Сурьма (0°) 0,044	22,73
Ртуть (0°) 0,015	66,67
» (50°) 0,019	52,63
» (100°) 0,024	41,67
Висмутъ (0°) 0,018	55,55
Сплавъ Wood'a (7°) 0,032	31,25
Сплавъ Sn 1 $\%$, Bi 99 $\%$.	. 0,008	125,00

Къ сожалѣнію законъ измѣненія s и g съ температурою не извѣстенъ.

1) Примѣръ. Внутри желѣзной трубы ($s = 0,14$). внутренняго діаметра 5 сант., а наружнаго 6 сант., находится вода. Снаружи труба обогрѣвается газами. Калориметрическимъ наблюденіемъ опредѣлено, что на 1 кв. сант. поверхности передается въ теченіи 1 секунды 0,084 малыхъ калорій. Опредѣлить какая разница температуръ существуетъ между обѣими поверхностями.

Рѣшеніе. Толщина стѣнокъ = 0,5 сант. такъ какъ $s = 0,14$ то въ теченіи 1 секунды передалось-бы при разницѣ температуръ стѣнокъ въ 1° :

$$q = 0,14 \cdot \frac{1}{0,5} = 0,28 \text{ мал. Cal.}$$

Слѣдовательно искомая разница температуръ будетъ:

$$t = \frac{0,084}{0,28} = 0,3^{\circ}$$

2) Примѣръ. Допустимъ, въ предыдущемъ примѣрѣ, что температура газовъ 198° , ввиду незначительности разницы температуръ между наружной и внутренней поверхностью, допустимъ, что стѣнки трубы имѣютъ одинаковую температуру съ водою, находящейся въ трубѣ, т. е. 10° . Опредѣлить поверхностную сопротивляемость при передачѣ тепла отъ газа къ металлу.

Рѣшеніе. Существующая разница температуръ:

$$198 - 10 = 188^{\circ}.$$

Изъ опыта извѣстно, что на 1 кв. сант. въ теченіи 1 секунды приходится 0,084 мал. Cal.

Поверхностная теплопроводимость, отъ газа къ металлу, будетъ слѣдовательно:

$$\frac{0,084}{188} = 0,00045$$

А слѣдовательно искомая поверхностная сопротивляемость:

$$\frac{1}{0,00045} = 2222$$

Для желѣзныхъ стѣнокъ (въ 0,5 сант.) сопротивляемость:

$$\frac{1}{0,28} = 3,57$$

Отношенію между обоими сопротивляемостями:

$$\frac{2222}{3,57} = 622$$

Отсюда мы выносимъ то практическое заключеніе, что на передачу тепла главнымъ образомъ вліяетъ поверхностная сопротивляемость отъ газа къ металлу, а не родъ металла или толщина стѣнокъ трубы. Нѣсколько большее значеніе можетъ играть образованіе накипи внутри трубы, коей теплопроводимость $s = 0,0013$.

При слоѣ въ 0,5 сант. сопротивленіе повысится на:

$$\frac{0,5}{0,0013} = 385 \text{ единицъ}$$

съ которыми ужъ приходится считаться.

Поверхностная передача тепла,—конвекція.

Нами было только что показано на частномъ примѣрѣ какое большое значеніе имѣетъ поверхностная передача тепла или, такъ называемая конвекція.

Ея величина главнымъ образомъ зависитъ отъ скорости движенія газа, или жидкости.

Опытнымъ путемъ были установлены слѣдующія формулы для c (въ системѣ С. G. S):—

Поверхностная теплопроводимость при передачѣ тепла отъ газа къ металлу, при скорости газа v сант. въ секунду:

$$C = 0,000028 (2 + \sqrt{v})$$

Аналогичная величина для передачи тепла отъ воды къ металлу:

$$C = 0,000028 (300 + 180 \sqrt{v})$$

Соотвѣтствующія поверхностныя сопротивляемости:

$$\text{Для газа: } r = \frac{36000}{2 + \sqrt{v}}$$

$$\text{Для воды: } r = \frac{36000}{300 + 180 \sqrt{v}}$$

При обратной передачѣ тепла отъ металла къ газу или къ водѣ, тѣ-же формулы примѣнимы.

3) Примѣръ: Допустимъ, что въ примѣрахъ I и II вода въ трубѣ не неподвижна, а имѣетъ скорость въ 4 сант. въ секунду. Определить разницу между внутренней температурой стѣнки и водою.

$$C = 0,000028 (300 + 180 \sqrt{4}) = 0,0185 \text{ мал. Cal.}$$

а т. к. въ теченіи 1 секунды, 1 кв. сант. передаетъ 0,084 Cal., то искомая разница температуръ будетъ:

$$\frac{0,084}{0,0185} = 4,5^{\circ}$$

Такимъ образомъ внутренняя поверхность трубы будетъ имѣть $14,5^{\circ}$, а наружная, согласно примѣру 1, еще на $0,3^{\circ}$ теплѣе.

4) Примѣръ: Въ комнатѣ установленъ радіаторъ для парового отопленія.

Температура стѣнокъ радіатора 100° и воздухъ подымается вдоль нихъ со скоростью 10 сант. въ секунду. Для повышенія температуры комнаты вблизи радіатора установили электрической вентилляторъ,

сообщившей воздуху скорость въ 300 сант. въ секунду. Опреѣлить во сколько разъ больше тепла отнимается воздухомъ отъ радіатора во второмъ случаѣ.

Отношеніе между конвекціями въ обоихъ случаяхъ будетъ:

$$\frac{2 + \sqrt{300}}{2 + \sqrt{10}} = \frac{19,3}{5,16} = 3,74$$

Задача № 14.

33000 куб. м. воздуха (измѣренныхъ при 0°) имѣютъ первоначальную температуру въ 1000°; ихъ пропускаютъ черезъ желѣзную трубу, толщиною стѣнокъ въ 1 сант. и внутренняго діаметра въ 1,5 метра, при чемъ труба обложена внутри огнеупорнымъ кирпичемъ толщиною въ 5 сант.; оставляя свободными 1,4 метра діаметра. Труба имѣетъ 30 метровъ длины, выставленныхъ на воздухъ, температура коего 3°, а скорость 10 километровъ въ часъ т. е.: 278 сант. въ 1 секунду. Для теплопроводимости желѣза возьмемъ 0,14, а огнеупорнаго кирпича — 0,0014, для конвекціи—же воспользуемся формулой— 0,000028 (2 + \sqrt{v}). Требуется определитъ температуру воздуха при выходѣ изъ трубы.

Рѣшеніе: Обозначимъ черезъ t среднюю температуру воздуха въ трубѣ, тогда объемъ воздуха, проходящій въ теченіи 1 секунды черезъ трубу, будетъ:

$$\frac{33000}{3600} \times \frac{273 + t}{273} \text{ куб. м.}$$

или:

$$9,167 \times \frac{273 + t}{273} \text{ куб. м.}$$

Внутреннее сѣченіе трубы: — (1,4)² 0,7854 = 1,54 кв. м.

Скорость воздуха:

$$\begin{aligned} \frac{9,167}{1,54} \frac{273 + t}{273} &= 5,95 \left(\frac{273 + t}{273} \right) \text{ м. въ 1 сек.} \\ &= 595 (1 + \alpha t) \text{ см. въ 1 сек.} \end{aligned}$$

Внутренняя конвекція:

$$0,000028 (2 + \sqrt{595 (1 + \alpha t)})$$

Теплопроводимость 5 сант. кирпича:

$$\frac{0,0014}{5} = 0,00028$$

Теплопроводимость 1 сант. желѣза:

$$\frac{0,14}{1} = 0,14$$

Наружная конвекція ($v = 278$ сант. въ 1 сек.):

$$0,000028 (2 + \sqrt{278}) = 0,000515$$

Общее падение температуры:

$$2 (1000 - t)$$

Конечная температура воздуха:

$$2t - 1000$$

Средняя теплоемкость 1 куб. м. воздуха между температурами 1000° и конечной:

$$0,303 + 0,000027 (2t)$$

Теплота отданная воздухомъ въ теченіи 1 часа (въ большихъ Cal.)

$$33000 \times 2 (1000 - t) [0,303 + 0,000027 (2t)] = 19998000 - 16434 t - 3,564 t^2.$$

Общая наружная поверхность трубы:

$$1,52 \times 3,1416 \times 30 \times 10000 = 1432000 \text{ кв. сант.}$$

Разница между температурами воздуха внутри трубы и снаружи:

$$t - 3$$

Для составленія уравненія между величинами, изображающими, съ одной стороны количество тепла отданное воздухомъ (въ теченіи 1 секунды, въ малыхъ Cal.), а съ другой перенесенное, по причинѣ конвекціи и теплопроводности, надо сначала получить выраженіе для этого общаго перенесеннаго количества тепла.

Если назвать: r_1 , r_2 , r_3 и r_4 соотвѣтственные сопротивляемости внутренняго воздуха, кирпича, желѣза и наружнаго воздуха, коихъ теплопроводности: c_1 , c_2 , c_3 и c_4 , нами опредѣлены выше, то общая сопротивляемость будетъ:

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_4}$$

а слѣдовательно, общая теплопроводность:

$$C = \frac{1}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_4}}$$

На основаніи вышеизложеннаго можно составить слѣдующее уравненіе:

$$\frac{1000}{3600} (19998000 - 16434 t - 3,564 t^2) = 1432000 \times (t - 3):$$

$$\left(\frac{1}{0,000028 (2 + \sqrt{595} (1 + 2t))} + \frac{1}{0,00028} + \frac{1}{0,14} + \frac{1}{0,000515} \right)$$

Это уравненіе рѣшается постепеннымъ приближеніемъ (ввиду существованія выраженія: $\sqrt{595} (1 + 2t)$), однако большой разницы не получится если удовольствоваться первымъ приближеніемъ, принявъ для t (очевидно только въ выраженіи $\sqrt{595} (1 + 2t)$), первоначальную температуру въ 1000° .

Рѣшивъ это уравненіе получимъ

$$t = 966^{\circ}.$$

Конечная температура воздуха будетъ $2t - 1000 = 932^{\circ}$.

Произведя вычисленіе, мы получимъ для общей теплопроводности 1 кв. сант. наружной поверхности трубы: 0,156 малыхъ Cal. въ 1 секунду; съ другой стороны намъ извѣстно, что конвекція = 0,000515, слѣдовательно температура наружной поверхности трубы будетъ на:

$$\frac{0,156}{0,000515} = 306^{\circ} \text{ теплѣе}$$

наружнаго воздуха, т. е., ея температура будетъ 309°.

При рѣшеніи этой задачи не была принята въ расчетъ потеря отъ излученія, въ данномъ случаѣ, однако, она не слишкомъ велика.

Дадимъ ниже таблицу удѣльной теплопроводности нѣкоторыхъ матеріаловъ, съ которыми приходится встрѣчаться въ практикѣ, къ сожалѣнію, какъ и для металловъ, законъ измѣненія съ температурою не извѣстенъ.

Матеріаль	Теплопроводность: — С
Ледъ	0,00500
Снѣгъ	0,00050
Вода	0,00120
Стекло (10—15°)	0,00150
Кварцевый песокъ (18—98°)	0,00060
Корборундъ въ пескѣ (18—98°)	0,00050
Силикатная эмаль (20—98°)	0,00040
Кирпичъ—толченый огнеупорный (20—98°)	0,00028
Графитъ—толченый (20—100°)	0,00040
Известь (20—98°)	0,00029
Магнезійевый кирпичъ, толченый (20—100°)	0,00050
Обожженная магнезія (20—100°) отъ: 0,00016	0,00045
Инфузорная земля (кизельгуръ (17—98°)	0,00013
Тоже » » (0—650°)	0,00038
Кирпичъ толченый обыкновенный (0—100°)	0,00039
Огнеупорный кирпичъ (0—500°)	0,00140
Тоже » (0—1300°)	0,00310
Магнезійевый кирпичъ (0—1300°)	0,00620
Глиненный кирпичъ (0—700°)	0,00204
Мѣлъ (0—100°)	0,00028
Древесная зола (0—100°)	0,00017
Камень въ постройкѣ отъ	0,00360—0,00580
Коксъ въ порошокѣ (0—100°)	0,00044
Древесный уголь въ порошокѣ (0—100°)	0,00022
Ретортный уголь (0—100°)	0,01477
Цементъ (0—700°)	0,00017
Мраморъ, бѣлый (0°)	0,00170
Пемза	0,00060

9*

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Материаль	Теплопрово- димость: — С.
Гипсъ .	0,00130
Войлокъ	0,000087
Бумага	0,00040
Хлопчатая бумага	0,000040
Шерсть	0,000035
Грифельный сланецъ .	0,000080
Пробка	0,00072
Сосновое дерево	0,00047
Орѣховое дерево	0,00060
Резина	0,00047

Излучение или Радиация.

Нагрѣтое тѣло, помѣщенное въ безвоздушное пространство, теряетъ свою теплоту излученіемъ. Согласно закона *Stefan'a* излученіе пропорціонально разности четвертыхъ степеней абсолютныхъ температуръ тѣла и среды. Такъ на примѣръ, если извѣстно количество потерянной излученіемъ теплоты (1 кв. сант., въ теченіи 1 секунды, въ малыхъ калоріяхъ) между 100° и 0° , т. е., по абсолютной шкалѣ температуръ между 373° и 273° , то для того-же тѣла при абсолютной температурѣ T_2 , а среды— T_2' , количество излученной энергіи будетъ въ:

$$\frac{(T_2)^4 - (T_2')^4}{(373)^4 - (273)^4} \text{ раза больше.}$$

Знаменатель этой дроби, приблизительно равенъ $1,38 \times 10^{10}$.

Ниже помѣщаемъ табличку потерь отъ излученія (въ системѣ С. G. S) для разныхъ тѣлъ, согласно опытамъ *Recler*, при чемъ тѣло имѣетъ температуру 100° , а среда 0° .

Серебро полированное	0,00054
Посеребренная бумага	0,00177
Латунь, полированная	0,00108
Мѣдь	0,00068
Цинкъ	0,00102
Олово	0,00090
Листовое желѣзо полированное	0,00189
» » обыкновенное	0,01164
» » лучшее (Уральское)	0,01410
Чугунъ свѣжій	0,01332
» ржавый	0,01410
Стекло	0,01222
Бумага	0,01583

Сажа	0,01684
Строевой камень	0,01500
Известка	0,01500
Дерево	0,01500

При температурѣ тѣла отличной отъ 100° , а среды, по прежнему при 0° , называя потерю отъ излученія, приведенную въ только-что помещенной таблицѣ, черезъ 1, получимъ слѣдующіе коэффициенты:

При 100°	1,0
» 150	2,0
» 200	3,3
» 300	7,0
» 400	12,0
» 500	18,3
» 600	26,0
» 700	35,0
» 800	45,3
» 900	57,0
» 1000	70,0

Вычисливъ потерю отъ излученія и прибавивъ къ ней потерю отъ теплопроводности (и конвекціи) получимъ общую потерю тепла.

—*—

Сканувала Онуфрієнко М.М.

НБ
УДУНТ
(АГБТ)