

669
P56

Ричардс Л. В. и Кошкин С. Ч.
Расчеты по металлургии

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

669

p-56

1971 г.
ПРОВЕРЕНО

РАЗЧЕТЫ ПО МЕТАЛЛУРГИИ

I. В. Ричардса,

Профессора металлургии въ «Lehigh University».

Перевелъ съ согласія автора и редактировалъ сочиненіе
„Mettallurgical calculations part the second
by Prof. Joseph W. Richards“

ИНЖЕНЕРЪ-МЕТАЛЛУРГЪ

С. И. Кошкинъ.

Часть специальная.

640401



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

ИЗДАНИЕ К. Л. РИККЕРА.

Невскій проспектъ, 14.

1909.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)



БІБЛІОТЕКА
Національної металургійної академії України
Інв № 104049

НБ
УДУНТ
(ІПБТ)

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	СТРАН.
Глава I. Балансъ матеріаловъ въ доменной печи	1
Входящіе матеріалы и выходящіе продукты	2
Горючее	—
Руда	4
Флюсы	7
Воздухъ	9
Глава II. Расчетъ шихты въ доменной печи	12
Расчетъ флюса и шлака	13
Сравненіе между собою различныхъ родовъ горючихъ флю- совъ и рудъ	20
Сравненіе горючихъ	—
Сравненіе флюсовъ	23
Сравненіе рудъ	24
Глава III. Утилизациа горючаго въ доменной печи	26
Минимальное количество углевода, необходимое въ доменной печи	33
Глава IV. Тепловой балансъ доменной печи	35
Теплота полученная и образовавшаяся	—
Теплота поглощенная и израсходованная	38
Глава V. Дутье горячее и сухое	50
Горячее дутье	52
Сухое дутье	54
Глава VI. Полученіе, нагрѣвъ и сушка воздуха для дутья	57
Полученіе дутья	57
Измѣреніе давленія воздуха	58
Индикаторныя діаграммы	59
Нагрѣвъ дутья	—
Сухое дутье	65
Глава VII. Бессемеровскій процессъ	70
Количество воздуха	71
Давленіе дутья	76
Флюсы и шлаки	81
Добавочный углеродъ	83

	СТРАН.
Глава VIII. Термохимія бессемеровскаго процесса	85
Тепловой баланс	86
Статьи расхода тепла	91
Глава IX. Повышеніе температуры въ бессемеровскомъ процессѣ.	98
Кремній	99
Марганецъ	102
Желѣзо	—
Титанъ	103
Алюминій	104
Никкель	—
Хромъ	—
Углеродъ	105
Фосфоръ	107
Глава X. Мартеновскій процессъ	108
Газогенераторы	—
Газопроводъ	109
Регенераторы	—
Газовыя и воздушныя заслонки и окна	112
Рабочее пространство печи	115
Боровки и труба	117
Глава XI. Тепловой баланс мартеновской печи	119
Статьи прихода тепла	—
Статьи расхода тепла	—
Тепловой баланс	133
Примѣчанія къ тепловому балансу	134
Статьи расхода тепла	135
Глава XII. Электрометаллургія желѣза и стали	140
Электротермическое возстановленіе желѣза изъ руды	141
Приходъ и расходъ тепла	144
Статьи расхода тепла	149
Приходъ тепла	150
Расходъ тепла. Полученіе стали въ электрическихъ печахъ	151
Приходъ тепла и расходъ тепла	156

ГЛАВА I.

Балансъ матеріаловъ въ доменной печи.

Начнемъ наши расчеты съ составленія баланса матеріаловъ участвующихъ въ доменной плавкѣ, затѣмъ перейдемъ къ тепловому балансу, къ разсмотрѣнію реакцій происходящихъ въ печи, къ изученію вліянія горячаго и сухого дутья, къ расчету шихты, температуръ, получаемыхъ у фурмъ, неиспользованной тепловой энергіи газовъ, коэффиціента полезнаго дѣйствія воздухонагрѣвательныхъ аппаратовъ и прочихъ факторовъ, представляющихъ практической интересъ въ доменномъ процессѣ.

Мы можемъ разсматривать доменную печь съ двухъ точекъ зрѣнія:—Во-первыхъ, домна представляетъ изъ себя газо-генераторъ огромныхъ размѣровъ, въ который вдувается горячій воздухъ подъ извѣстнымъ давленіемъ и въ которомъ несгораемая составная часть шихты (съ добавленіемъ небольшого количества углерода) расплавляются и въ видѣ металла и шлака собираются въ нижней части, а затѣмъ выпускаются, въ то время какъ образующіеся газы, пройдя черезъ колонну шихты въ 15—30 метровъ высоты, удаляются съ вершины. Доменные газы состоятъ изъ смѣси окиси углерода CO съ углекислотою CO^2 , полученной отъ окисленія CO — кислородомъ, выдѣлившимся изъ шихты, съ добавленіемъ CO^2 , происходящаго отъ разложенія известняка, кромѣ того, въ нихъ содержится весь азотъ воздуха, немного водорода отъ разложившейся воды, содержащейся въ воздухѣ, пары воды, происходящія отъ влаги — шихты и летучія вещества, выдѣленные дистилляціей горючаго.

Вторая точка зрѣнія состоитъ въ томъ, чтобы обратить главное вниманіе на восстановительную роль доменной плавки. Къ рудѣ требуется добавить достаточное количество углерода въ видѣ горючаго, чтобы, во-первыхъ, связать весь находящійся въ шихтѣ кислородъ, во-вторыхъ, дать достаточное количество теплоты и достаточно вы-

сокую температуру, чтобы расплавить чугуны и шлаки, которые при этомъ образуются.

Входящіе матеріалы и выходящіе продукты.

Входящіе матеріалы могутъ быть классифицированы подѣ четырьмя рубриками:

Горючее	}	Загруженные съ колошника.
Желѣзная руда		
Флюсы		
Воздухъ		Вдуваемый черезъ фурмы.

Выходящіе продукты могутъ тоже быть классифицированы подѣ четырьмя рубриками:

Чугунъ	}	Выпускаемые изъ горна.
Шлакъ		
Газы	}	Выходящіе сверху.
Пыль		

Мы рассмотримъ въ отдѣльности переходъ входящихъ матеріаловъ въ выходящіе.

Горючее.

Въ громадномъ большинствѣ случаевъ горючимъ является коксъ, но иногда пользуются также древеснымъ углемъ, антрацитомъ и даже каменнымъ углемъ. Въ составъ горючаго входятъ: твердый углеродъ, летучія вещества, влага, сѣра и зола, состоящая изъ кремнезема, глинозема, извести, щелочей и т. д.

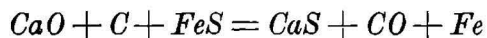
Влага удаляется близко къ вершинѣ домны и входитъ въ составъ газовъ тоже подѣ видомъ влаги. Летучія вещества тоже выдѣляются недалеко отъ вершины, почти полностью онѣ поступаютъ въ газы, но часть—разлагается и твердый углеродъ отлагается на желѣзныхъ окисляхъ. Глубже, однако, этотъ *C* соединяется съ *O* шихты и выдѣляется въ видѣ *CO* или *CO*².

Такимъ образомъ, въ концѣ концовъ, составныя части летучихъ веществъ, находившихся въ горючемъ, переходятъ полностью въ газы лишь измѣнивъ отчасти форму соединеній.

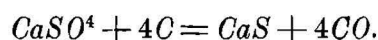
Твердый углеродъ, за исключеніемъ количества поглощеннаго чугуномъ, попадаетъ, въ концѣ концовъ, въ пыль или въ газы въ видѣ *CO*, *CO*², *CH*⁴ или ціанисто-щелочныхъ соединеній (соли кислоты *HCN*).

Сѣра проходитъ циклъ немного болѣе разнообразный. Если *S* отчасти находится подѣ видомъ желѣзныхъ пиритовъ — часть попа-

даетъ въ составъ газовъ подъ видомъ паровъ сѣры, а впоследствии, при сжиганіи газовъ обращается въ SO^2 ; другая часть S въ самой домнѣ обращается въ SO^2 и какъ таковой попадаетъ въ газы; остальное количество вмѣстѣ съ органической сѣрой, переходитъ въ шлакъ и небольшое количество въ чугуны. S попадаетъ въ шлакъ подъ видомъ CaS по одной изъ слѣдующихъ реакцій:



или если S содержалась въ шихтѣ какъ гипсъ:



Количество же S , попадающее въ чугуны, зависитъ отъ разныхъ причинъ. Въ томъ случаѣ, если температура домны у самихъ фурмъ очень высока, въ особенности же при шлакѣ съ невысокимъ содержаніемъ SiO^2 (такъ наз. основномъ), лишь очень немного S попадетъ въ чугуны, а она перейдетъ въ шлакъ въ количествѣ десяти, двадцати и болѣе—кратномъ; въ случаѣ же невысокой температуры у фурмъ и сильно кремнистомъ шлакѣ, очень значительное количество S останется въ чугуны. Такимъ образомъ, способомъ отдѣлаться отъ избытка S въ чугуны, служитъ поддержаніе высокой температуры у фурмъ и основной шлакъ, т.-е. содержащій сравнительно высокій процентъ CaO , MgO , а также Al^2O^3 .

При составленіи баланса матеріаловъ, судя по извѣстному анализу чугуна, распредѣляютъ: какое количество S перейдетъ въ чугуны, а все остальное количество переносятъ въ шлакъ. Такъ поступаютъ при употребленіи кокса или древеснаго угля какъ горючее, при употребленіи же сырого каменнаго угля, значительный процентъ S поступаетъ въ газы, и поэтому, для точности расчетовъ, необходимо знать либо анализъ газовъ, либо шлака.

Зола горючаго прибавляется къ другимъ негорючимъ частямъ шихты, причемъ можно прибавить все содержащееся въ ней количество желѣза къ желѣзу возстановленному изъ руды,

Если кромѣ того извѣстно, что часть погруженнаго горючаго уносится газами въ видѣ пыли, то слѣдуетъ предварительно вычестъ это количество, а затѣмъ распредѣлить остающееся, какъ сказано выше.

Примѣръ. Въ доменную печь погружаютъ на каждые 1000 кгг. чугуна — 925 кгг. кокса, содержащаго по анализу: твердаго углерода 86%; летучаго углерода 2%; водорода 1%; кислорода 0,5%; азота 0,5%; сѣры 1,0%; желѣза 2%; кремнезема 5%; Извести 1%; влаги 1%. Чугуны содержатъ 3,5% углерода и 0,1% сѣры. Пылью

уносится 15 kgr. сухого коксу на каждую тонну чугуна. Требуется сдѣлать распредѣленіе кокса въ печи.

		Въ чугунаѣ.	Въ шлакѣ.	Въ газѣ.	Въ пыли.
Пыли	15,0	—	—	—	Кокса 15,0
Тверд. <i>C</i>	782,5	<i>C</i> 35,0	—	<i>C</i> 747,5	—
Лег. <i>C</i>	18,2	—	—	<i>C</i> 18,2	—
<i>H</i>	9,1	—	—	<i>H</i> 9,1	—
<i>O</i>	4,5	—	—	<i>O</i> 4,5	—
<i>N</i>	4,5	—	—	<i>N</i> 4,5	—
<i>S</i>	0,1	<i>S</i> 1,0	<i>S</i> 8,1	—	—
<i>Fe</i>	18,2	<i>Fe</i> 18,2	—	—	—
<i>SiO</i> ²	45,5	—	<i>SiO</i> ² 45,5	—	—
<i>CaO</i>	9,1	—	<i>CaO</i> 9,1	—	—
<i>H</i> ² <i>O</i>	9,3	—	—	<i>H</i> ² <i>O</i> 9,3	—

Всего кокса 925,0 kgr.

Руда.

Какія бы руды не употреблялись, всегда возможно вычислить средній анализъ смѣси. Затѣмъ, зная количество руды, нужное для полученія одной вѣсовой единицы чугуна (напр. тонны), можно приступить къ его распредѣленію относительно чугуна, шлака газовъ и пыли.

Во-первыхъ, нужно принять въ расчетъ, что до 25% погруженной руды могутъ быть унесены газами въ видѣ пыли, каковое количество (подъ видомъ сухой руды) первымъ дѣломъ должно быть исключено изъ погруженного.

Затѣмъ, влага и какая содержится углекислота, должны быть отнесены къ газамъ. Сѣра, если содержится въ видѣ пиритовъ, отчасти тоже переходитъ въ газъ, но большею частью попадаетъ въ шлакъ подъ видомъ *CaS*.

Если, судя по анализу чугуна, въ послѣднемъ заключается больше *S*, чѣмъ имѣется въ наличности въ коксѣ, то само собою разумѣется, остающаяся часть *S* можетъ быть отнесена къ рудѣ.

Желѣзо заключенное въ рудѣ должно быть отнесено въ чугуна, а если, судя по анализу послѣдняго, имѣется избытокъ, то таковой относится въ шлакъ подъ видомъ *FeO*. Весь кислородъ поступаетъ въ газы.

Марганцевыя окислы частью отдають свой марганецъ чугуну, а частью шлаку подъ видомъ *MnO*, остающійся кислородъ поступаетъ въ газы. Пропорція *Mn*, попадающаго въ чугуна, увеличивается съ температурой у фурмъ и съ количествомъ основаній въ шлакѣ. Точно

возможно опредѣлить количество возстановленнаго Mn только послѣ анализа чугуна.

Цинкъ изъ руды переходитъ подъ видомъ ZnO въ шлакъ, а часть его въ видѣ бѣлыхъ хлопковъ окиси уносится газами. Относительное количество Zn попадающее въ шлакъ или газы можетъ быть контролировано только анализомъ.

Мѣдь, серебро, золото, никель, кобальтъ, фосфоръ, сурьма и мышьякъ почти полностью попадаютъ въ чугунъ. Свинець почти весь уносится газами и лишь немного переходитъ въ чугунъ, причемъ, если его порядочное количество, то онъ можетъ собраться въ видѣ металлической массы подъ чугуномъ и всосаться въ фундаментъ.

Глиноземъ почти всегда полностью переходитъ въ шлакъ, если же его очень много, и дутье очень горячее, то до 1% Al можетъ перейти въ чугунъ, а соответствующее количество O выдѣлится въ газы. Магnezія полностью поступаетъ въ шлакъ. Известь тоже, за исключеніемъ небольшого количества поступающаго не какъ CaO , а какъ CaS , съ выдѣленіемъ соответствующаго количества O . Слѣды возстановленнаго Ca могутъ попасть и въ чугунъ. Щелочные металлы отчасти переходятъ въ шлакъ, а отчасти въ видѣ цианистыхъ соединеній уносятся газами. Окислы Вольфрама, титана, хрома, молибдена, урана и ванадія при очень горячемъ дутьѣ и сильно основномъ шлакѣ въ небольшихъ количествахъ поступаютъ въ возстановленномъ видѣ въ чугунъ, главнымъ же образомъ идутъ въ шлакъ, давая низшіе окислы

Кремнеземъ поступаетъ главнымъ образомъ въ шлакъ въ видѣ SiO^2 , но нѣкоторая часть всегда возстановляется и въ видѣ Si попадаетъ въ чугунъ. Тѣмъ болѣе возстановленнаго Si въ чугунѣ чѣмъ ходъ печи горячее, чѣмъ плавка медленнѣе и чѣмъ кислѣе шлакъ (т.е., чѣмъ больше въ немъ SiO^2). Въ нѣкоторыхъ случаяхъ до 25% всего находящагося въ печи Si попадаетъ въ чугунъ. По всей вѣроятности возстановленіе происходитъ лишь въ нижней части печи посредствомъ раствореннаго въ чугунѣ C . Кислородъ возстановленнаго Si идетъ въ газы.

Примѣръ. 1956,8 kgr. руды соответствуютъ 1 тоннѣ чугуна. Анализъ руды слѣдующій: Fe^2O^3 —71,43%; SiO^2 —14,24%; CaO —2,05%; MgO —1,51%; MnO^2 —4,15%; SO^3 —1,40%; H^2O —5,00%; Cu^2O —0,22%.

Анализъ чугуна слѣдующій: Fe —93,03%; C —3,27%; Mn —1,20%; S —0,08; Cu —0,40; Si —2,02%.

Положимъ, что вѣсь сухой рудной пыли составляетъ 4% погруженной руды, что въ газахъ не содержится S , а также что вся S , находящаяся въ чугунѣ, попала туда изъ горячаго.

		Въ чугуны.	Въ шлакъ.	Въ газы.	Въ пыль.
Пыли	78,1	—	—	—	Руды 78,1
Fe^2O^3	1339,2	Fe 930,3	FeO 9,1	O 399,8	—
SiO^2	267,0	Si 20,2	SiO^2 223,6	O 23,2	—
MnO^2	77,8	Mn 12,0	MnO 48,0	O 17,8	—
Cu^2O	4,1	Cu 3,6	—	O 0,5	—
CaO	38,4	—	CaO 20,1 Ca 13,1	O 5,2	—
MgO	28,3	—	MgO 28,3	—	—
SO^3	26,3	—	S 10,5	O 15,8	—
H^2O	97,6	—	—	H^2O 97,6	—

Всего руды 1956,8 kgr.

Первымъ дѣломъ мы переносимъ 4% съ общаго количества руды, т.-е. 78,1 kgr. въ рубрику «Пыль». Такъ какъ пыль полагается сухой, то 5% ея вѣса или 3,9 kgr. испарится, а такимъ образомъ всего исчезнетъ изъ обращенія 82 kgr. руды и останется къ распредѣленію 1874,8 kgr.

Примѣняя химическія формулы, мы легко достигнемъ результата.

Въ отношеніи къ желѣзу сдѣлаемъ слѣдующее замѣчаніе. Судя по анализу чугуна, 1 тонна содержитъ 930,3 kgr. Fe , имѣется же въ наличности 937,3 kgr., такимъ образомъ, 7,0 kgr. Fe переходятъ въ шлакъ подъ видомъ FeO и количество послѣдняго, очевидно, будетъ

$$7,0 \times \frac{72}{56} = 9,1 \text{ kgr.}$$

Такъ какъ

$$Fe^2O^3 = 1339,2 \text{ kgr.},$$

то количество O идущаго въ газы будетъ:

$$1339,2 - (930,3 + 9,1) = 399,8 \text{ kgr.}$$

Въ 267,0 kgr. SiO^2 имѣется 124,6 kgr. Si , изъ нихъ 20,2 kgr. идутъ въ чугуны, а остальные 104,4 kgr. попадаютъ въ шлакъ подъ видомъ SiO^2 , коего вѣсъ, очевидно, будетъ:

$$104,4 \times \frac{60}{28} = 223,6 \text{ kgr.}$$

Кислорода же выдѣлится отъ возстановленія 20,2 kgr. Si

$$267 - (20,2 + 223,6) = 23,2 \text{ kgr.}$$

идущаго въ газы.

Тѣ 12,0, kgr. *Mn*, которые должны находиться въ чугуиѣ, были получены изъ

$$12,0 \times \frac{87}{55} = 19,0 \text{ kgr. } MnO^2,$$

при чемъ 7,0 kgr *O* выдѣляются. Изъ остающихся

$$77,8 - 19,0 = 58,8 \text{ kgr. } MnO^2$$

въ шлакъ переходить

$$58,8 \times \frac{71}{87} = 48,0 \text{ kgr. } MnO$$

и такимъ образомъ еще освобождается 10,8 kgr. *O*, всего же вмѣстѣ съ предъидущими 7,0 kgr. — 17, 8 kgr. *O*.

Изъ 4,1 kgr. *Cu^2O* — 3,6 *Cu* попадаютъ въ чугуиѣ, а 0,5 *O* выдѣляются.

Такъ какъ сѣры въ 26,3 *SO^3* имѣется

$$26,3 \times \frac{32}{80} = 10,5 \text{ kgr.},$$

то связать ихъ въ видѣ *CaS* требуется:

$$10,5 \times \frac{40}{32} = 13,1 \text{ kgr. } Ca,$$

соотвѣтствующаго въ свою очередь

$$13,1 \times \frac{56}{40} = 18,3 \text{ kgr. } CaO,$$

причемъ выдѣляется 5,2 kgr. *O*. Кромѣ того еще остаются:

$$38,4 - 18,3 = 20,1 \text{ kgr. } CaO,$$

которые безъ измѣненія поступаютъ въ шлакъ.

Весь *MgO* идетъ полностью въ шлакъ.

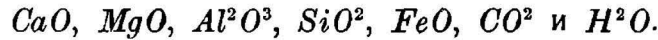
Изъ 26,3 *SO^3*: 26,3 — 10,5 = 15,8 kgr. *O* идутъ въ газъ и, наконецъ, туда же поступаютъ водяные пары въ количествѣ 5% съ общаго вѣса руды, т.-е. 97,6 kgr.

Флюсы.

Флюсами пользуются для полученія легкоплавкаго шлака съ имѣющимися шлакообразующими составными частями руды и горючаго. Изъ вышеприведеннаго распредѣленія составныхъ частей видно, что главнымъ матеріаломъ, который требуется сплавить, является кремнеземъ, а помимо него *CaO*, *CaS*, *MgO*, *MnO* и *FeO*, также *Al^2O^3* и друг. Наболѣе дешевымъ матеріаломъ для ошлакованія кремнезема является известнякъ, причемъ получаемый шлакъ составляетъ смѣсь силикатовъ *Ca*, *Al* и другихъ основаній, а также нѣкоторое количество *CaS*.

Пока мы воздержимся отъ вычисленія того количества флюса, которое необходимо для правильной работы домны, такъ какъ коснемся этого вопроса впоследствии. Замѣтимъ пока, что требуется достаточное количество флюса для полученія легкоплавкаго шлака съ достаточнымъ содержаніемъ CaO , MgO и Al^2O^3 для того, чтобы по возможности полнѣе очистить чугуны отъ сѣры.

Составными частями флюса служатъ:



Вода и углекислота удаляются изъ флюса еще въ верхней трети домны и полностью переходятъ въ газъ. FeO можетъ быть возстановлено, но такъ какъ и безъ того обыкновенно достаточно желѣза въ рудѣ и горючемъ, то все количество FeO относятъ въ шлакъ. SiO^2 , Al^2O^3 и MgO полностью переходятъ въ шлакъ, если мы предварительно удостовѣримся, что въ рудѣ и горючемъ достаточно SiO^2 для отдачи потребнаго чугуны количества Si . То же самое можно было бы сказать и о CaO , если бы подсчетъ показалъ, что вся находящаяся въ шихтѣ S уже обезпечена достаточнымъ количествомъ CaO для полученія CaS .

Примѣръ. На 1 тонну чугуна приходится 503 kgr. флюса подъ видомъ известняка слѣдующаго состава: CaO —29,68%; MgO —20,95%; SiO^2 —3,07%; Al^2O^3 —2,66%; FeO —0,48%; CO^2 —42,66%; H^2O —0,50%. Положимъ, что въ горючемъ осталось 8,1 kgr. S на который требуется соотвѣтствующее количество CaO . Распредѣлить составныя части флюса, допустивъ отсутствіе пыли.

		Въ шлакъ.	Въ газъ.
		Ca } 10,1	O 4,1
CaO	149,3	CaO } 135,1	—
MgO	105,4	MgO 105,4	—
SiO^2	15,4	SiO^2 15,4	—
Al^2O^3	13,2	Al^2O^3 13,4	—
FeO	2,4	FeO 2,4	—
CO^2	214,6	—	CO^2 214,6
H^2O	2,5	—	H^2O 2,5

Всего флюса 503,0 kgr.

Единственное маленькое вычисленіе — это опредѣленіе количества Ca , соотвѣтствующаго S , очевидно, оно будетъ:

$$8,1 \times \frac{40}{33} = 10,1 \text{ kgr. } Ca,$$

чему соотвѣтствуетъ

$$10,1 \times \frac{56}{40} = 14,2 \text{ CaO.}$$

Такимъ образомъ, 4,1 кгг. *O* поступаетъ въ газъ и 135,1 кгг. неизмѣнившагося *CaO*—въ шлакъ.

Воздухъ.

Остается еще воздухъ для заключенія баланса матеріаловъ. Количество вдуваемаго воздуха можетъ быть приближенно опредѣлено по объему, описываемому поршнями воздуходувныхъ машинъ, причемъ результатъ множителя на коэффициентъ полезнаго дѣйствія, могущій, однако, измѣняться въ очень широкихъ предѣлахъ между 0,50—0,95.

Другой приближенный способъ основывается на наблюденіи давленія дутья, его температуры обратнаго давленія въ печи и, зная сумму площадей фурмовыхъ отверстій, а также опредѣляя извѣстный коэффициентъ на потерю отъ сжиманія струи горячаго воздуха, при выходѣ изъ фурмъ, мы можемъ приближенно вычислить количество поступающаго въ печь воздуха. Этотъ коэффициентъ измѣняется въ предѣлахъ отъ 0,9—0,98.

Гораздо болѣе точный способъ исходить изъ анализа колошниковыхъ газовъ. Основываясь на количествѣ заключающагося въ газахъ углерода, легко вывести объемъ газа соотвѣтствующій 1 тоннѣ чугуна, а въ этомъ объемѣ опредѣлить количество *N* и *O*. Если вычесть отсюда количество *O* и пожалуй *N*, заключающихся въ шихтѣ, то на основаніи извѣстнаго состава воздуха (въ которомъ можно обратить вниманіе и на влажность), опредѣляется точный объемъ вдуваемаго воздуха.

Задача 1. Одна изъ доменныхъ печей въ Herrang (Швеція) работаетъ на брикеттированной рудѣ, древесномъ углѣ и известнякѣ слѣдующаго состава (см. Journal Iron and Steel Institute I. 1904).

	Брикетты.	Известнякъ.	Древ. уголь.	
Fe^2O^3	85,93	0,18		0,32
FeO	3,96	—	<i>C</i>	80,31
SiO^2	5,50	3,14		0,19
MnO	0,63	—	<i>N</i>	0,08
Al^2O^3	0,76	0,32	<i>O</i>	3,54
CaO	2,23	53,74		0,89
MgO	0,97	0,17		0,10
P^2O^5	0,006	0,006		0,0068
<i>S</i>	0,010	0,001		0,017
<i>Cu</i>	0,007	CO^2 42,42	H^2O	14,04
			K^2O	0,50

Анализъ чугуна слѣдующій: Fe — 96,656%; C — 2,70; Si — 0,60; Mn — 0,025%; S — 0,007%; P — 0,012%.

Составъ колоши слѣдующій:

Рудныхъ брикеттовъ	540	kg.
Известняка	40	»
Древеснаго угля	240	»

Расходъ горючаго выразился въ размѣрѣ 682 kg. на 1 тонну чугуна.

Анализъ сухихъ газовъ (по объему): N^2 — 57,3%; CO — 23,1%; CO^2 — 14,8%; H^2 — 4,3%; CH^4 — 0,5%. Влага и пыль въ газахъ пренебрегаются.

Требуется: 1) составить балансъ матеріаловъ, соотвѣтствующій 1 тоннѣ чугуна, и 2) опредѣлить, какой процентъ изъ содержащихся въ шихтѣ Fe , Mn , Si , S и P переходитъ въ чугунъ.

Балансъ матеріаловъ (соотв. 1 тоннѣ чугуна).

Шихта	Чугунъ	Шлакъ	Газы
Всего руды (1530,2)			
Fe^2O^3	1314,9	Fe 920,4	O 394,5
FeO	60,6	Fe 46,2	FeO 1,2
SiO^2	84,2	Si 6,0	SiO^2 69,6
MnO	9,6	Mn 0,25	MnO 9,3
Al^2O^3	11,6	.....	Al^2O^3 11,6
CaO	34,1	.....	CaO 34,1
MgO	14,8	.....	MgO 14,8
P^2O^5	0,092	P 0,04	O 0,05
S	0,153	S 0,07	CaS 0,19
Cu	0,11	Cu 0,11	O 0,01
Всего известняка (115,7)			
Fe^2O^3	0,2	.....	FeO 0,2
SiO^2	3,6	.....	SiO^2 3,6
Al^2O^3	0,4	.....	Al^2O^3 0,4
CaO	62,2	.....	CaO 62,2
MgO	0,2	.....	MgO 0,2
P^2O^5	0,007	P 0,003	O 0,00
S	0,001	.....	CaS 0,0
CO^2	49,1	.....	CO^2 49,1
Всего дров. угля (682,0)			
C	547,7	C 27,0	C 520,7
N	0,5	.....	N 0,5
O	24,1	.....	O 24,1
Fe^2O^3	2,2	.....	FeO 2,0
SiO^2	1,3	.....	SiO^2 1,3
CaO	6,1	.....	CaO 5,9

Шихта		Чугунъ		Шлакъ		Газы	
MgO	0,7	.....		MgO	0,7	.....
P^2O^5	0,046	P	0,02	.....		O	0,03
S	0,116	.....		CaS	0,25	.....
K^2O	3,4	.....		K^2O	3,4	.....
H^2O	95,8	.....		.....		H^2O	95,8
Всего воздуха (2416,8)							
O^2	557,1	.....		.....		O	557,7
N^2	1859,1	.....		.....		N^2	1859,1
Итого . .	4744,0		1000,0		220,8		3543,7

Приложенная таблица даетъ отвѣтъ на первый вопросъ, а посему переходимъ ко второму.

Всего Fe имѣется въ шихтѣ, соответствующей 1 тоннѣ чугуна, 969,2 kgr., по анализу же чугуна, его тамъ 966,6 kgr. Такимъ образомъ коэффициентъ возстановленія 99,7%.

Всего Mn $9,6 \times \frac{55}{71} = 7,4$ kgr., но лишь 0,25 kgr. попадаетъ въ чугунъ, что составитъ 3,4% всего количества.

Всего SiO^2 —89,1 kgr., содержащія 41,6 kgr. Si , изъ коихъ 6,0 kgr., т.-е. 14,4% переходятъ въ чугунъ.

Всего имѣется S —0,270 kgr., изъ этого количества 0,07, или 25,9% поглощается чугуномъ.

Всего, судя по таблицѣ, имѣется лишь 0,063 kgr. P , согласно же анализа въ чугунѣ его 0,12 kgr., это, вѣроятно, происходитъ отъ скопленія P большаго въ однихъ пунктахъ противъ другихъ (сегрегация).

Къ вышеприведенной таблицѣ, понятной самой по себѣ, мы сдѣлаемъ лишь примѣчаніе, относительно расчета, потребнаго количества воздуха.

$$C \text{ въ } CO^2 \text{ известняка} = 49,1 \times \frac{12}{44} = 13,39 \text{ kgr.}$$

$$C \text{ въ газахъ отъ горячаго} = 520,70 \text{ »}$$

$$\text{Всего } C \text{ въ газахъ} = 534,09 \text{ »}$$

C въ 1 куб. метрѣ газа:

$$(0,231 + 0,148 + 0,005) \times \frac{12}{22,22} = 0,20736 \text{ »}$$

Слѣдовательно:

Объемъ газа, соотв. 1 тоннѣ чугуна:

$$\frac{534,09}{0,20736} = 2575,6 \text{ куб. м.}$$

Азота въ этомъ объемѣ газа:

$2575,6 \times 0,573$	$= 1475,9$	»
Вѣсъ азота $1475,9 \times 1,26$	$= 1859,6$	kgg.
Азота изъ горячаго	<u>0,5</u>	»
Азота, доставляемаго воздухомъ	1859,1	»
Соотвѣтств. вѣсъ кислорода	<u>557,7</u>	»
Вѣсъ вдуваемаго воздуха	2416,8	»
Объемъ воздуха $\frac{2416,8}{1,293}$	$= 1869,1$	куб. м.

ГЛАВА II.

Расчетъ шихты въ доменной печи.

Въ предыдущей главѣ мы изслѣдовали балансъ матеріаловъ и продуктовъ въ доменной печи и произвели распредѣленіе составныхъ частей шихты и вдуваемаго воздуха; однако мы не коснулись вопроса объ опредѣленіи взаимоотношеній между этими частями, къ чему мы теперь и приступимъ.

Лишь ограниченное число составныхъ частей шихты могутъ быть произвольно измѣняемы. Такъ какъ почти все желѣзо, находящееся въ шихтѣ, возстановляется и переходитъ въ чугуны, то количество потребной руды для извѣстной выплавки чугуна заранѣе опредѣлено процентнымъ содержаніемъ желѣза въ рудѣ. Такъ, на примѣръ, при рудѣ въ 50% Fe и полученномъ чугуны въ 94% Fe , количество руды, соотвѣтствующее 1 тоннѣ чугуна будетъ:

$$\frac{0,94}{0,50} = 1,88 \text{ тоннъ.}$$

Количество горячаго, соотвѣтствующее единицѣ производительности, не представляетъ изъ себя заранѣе опредѣленной величины, но зависитъ отъ калорифической потребности домны и можетъ измѣняться въ теченіи процесса. Если, на примѣръ, чугуны и шлакъ слишкомъ «холодны», то повышеніе температуры у фурмъ можетъ быть достигнуто либо повышеніемъ температуры дутья (что не всегда возможно), либо относительнымъ увеличеніемъ количества горячаго (облегченіемъ колоши,—что всегда возможно). Другой, довольно постоянный факторъ, зависящій отъ производительности домны,—это количество вдуваемаго воздуха. При прочихъ равныхъ условіяхъ количество воздуха почти пропорціонально выплавленному чугуны. Что же касается до измѣненій температуры дутья, то перемѣны въ ходѣ плавки, отъ сего происходящія, будутъ разобраны отдѣльно.

Лишь въ опредѣленіи количества потребнаго флюса имѣется нѣ-который просторъ, оно зависитъ отъ многихъ причинъ, однако даже довольно крупныя измѣненія не слишкомъ отражаются на ходѣ плавки. Нѣкоторыя изъ соображеній, которыми руководствуются, слѣдующія: нужно, чтобы получаемый шлакъ хорошо плавился при господствующей въ домнѣ температурѣ, чтобы онъ былъ въ состояніи освободить шихту отъ большинства сѣры, чтобы онъ не слишкомъ разѣдалъ стѣнки домны и проч. На этихъ соображеніяхъ мы еще остановимся.

Расчетъ флюса и шлака.

Вернемся къ балансу матеріаловъ, приведенному выше.

На каждую тонну чугуна приходится: 1530,2 kgr. руды, 115,8 kgr. известняка, 682 kgr. др. угля и 2416,8 kgr. воздуха. Что касается до количества руды, то оно соотвѣтствуетъ, какъ мы видѣли, желѣзу, содержащемуся въ 1000 kgr. чугуна. Количество др. угля очевидно то, которое практика указала, какъ самое подходящее. Воздуха вдувалось столько, сколько въ состояніи были подать воздуходувки. И, наконецъ, количество известняка соотвѣтствовало наиболѣе желательному шлаку, который мы теперь и изучимъ.

Составныя части шлака слѣдующія:

	Изъ руды.	Изъ флюса.	Изъ горючаго.	Всего.
SiO^2 . .	69,6	3,6	1,3	74,5
Al^2O^3 . .	11,6	0,4	—	12,0
CaO . .	34,1	62,2	5,9	102,2
MgO . .	14,8	0,2	0,7	15,7
FeO . .	1,2	0,2	2,0	3,4
MnO . .	9,3	—	—	9,3
K^2O . .	—	—	3,4	3,4
CaS . .	0,2	—	0,25	0,45
Итого. .	140,8	66,6	13,55	220,85

Отсюда выводится процентный составъ шлака:

$SiO^2 = 33,73\%$	$FeO = 1,54\%$
$Al^2O^3 = 5,43\%$	$MnO = 4,21\%$
$CaO = 46,23\%$	$K^2O = 1,54\%$
$MgO = 7,11\%$	$CaS = 0,20\%$

Зададимъ себѣ теперь слѣдующій вопросъ: чѣмъ руководствовался доменный инженеръ, когда старался получить шлакъ вышеприведеннаго анализа?

Однимъ изъ главныхъ факторовъ тутъ, конечно, предварительный

опытъ, дающій цѣнныя указанія относительно того, какой анализъ шлака лучше всего соотвѣтствуетъ желаемому ходу домны. Изучая составъ разныхъ шлаковъ, мы первомъ дѣломъ замѣчаемъ, что главными составными частями его обыкновенно являются кремнеземъ и известь.

Изъ многочисленныхъ анализовъ шлаковъ можно установить слѣдующіе предѣлы:

SiO	отъ 25 до 65%	FeO	отъ 0 до 6%
Al^2O^3	» 3 » 30 »	MnO	» 0 » 14 »
TiO^2	» 0 » 10 »	K^2O } Na^2O }	» 0 » 3 »
CaO	» 12 » 50 »		
MgO	» 0 » 18 »	CaS	» 0 » 9 »

Само собою разумѣется что эти предѣлы не достигаются одновременно. Согласно Ледебура обыкновенно составы шлаковъ измѣняются въ слѣдующихъ предѣлахъ:

	SiO^2	Al^2O^3	$CaO + MgO$
Сѣрый чугуны на древ. углѣ . . .	45—65	10—5	45—25
Сѣрый чугуны на коксѣ	30—35	15—10	50—55
Бѣлый чугуны на древ. углѣ . . .	45—50	10—5	45
Бѣлый чугуны на коксѣ	30—40	10—5	60—55
Зеркальный чугуны на коксѣ	30	10	55—45

Въ послѣднемъ случаѣ имѣется еще отъ 5—15% MnO .

Обращая вниманіе только на главныя составныя части, наиболѣе легкоплавкимъ шлакомъ является такой, въ которомъ 35% CaO и въ которомъ, если присутствуетъ Al^2O^3 , на каждый процентъ Al^2O^3 имѣется, соотвѣтственно, по добавочному 0,5% CaO . По этому правилу можно получить хорошіе шлаки до 65% общаго состава $CaO + Al^2O^3$. Можно еще сдѣлать слѣдующее заключеніе: когда $SiO^2 + Al^2O^3$ между 60 и 70%, а CaO между 40 и 30%, то даже значительное измѣненіе взаимоотношенія этихъ веществъ мало вліяетъ на степень плавкости шлака. (Напримѣръ, переходъ отъ 50% $SiO^2 + 20%$ Al^2O^3 къ 35% $SiO^2 + 35%$ Al^2O^3). Съ другой стороны при невысокомъ процентномъ содержаніи SiO^2 (30—40%) возможно измѣнить въ значительныхъ предѣлахъ взаимоотношеніе $CaO + Al^2O^3$. (Напримѣръ, переходъ отъ 50% $CaO + 15%$ Al^2O^3 къ 35% $CaO + 35%$ Al^2O^3) тоже безъ ощутительной разницы въ температурѣ плавленія.

Приведемъ 3 способа для вырѣшенія типа желательнаго шлака и соотвѣтственнаго расчета количества потребнаго известняка.

1. Допустимъ, что имѣется мало Al^2O^3 въ шихтѣ и совсѣмъ

почти отсутствует MgO . Тогда выбирается какое-нибудь эмпирическое соотношеніе между количествами SiO^2 и CaO въ шлакѣ, и на этомъ основаніи дѣлается расчетъ. Въ домнахъ, работающихъ на древесномъ углѣ съ малымъ количествомъ сѣры, количество SiO^2 въ 1,5—2 раза можетъ быть больше CaO ; въ домнахъ, работающихъ на коксѣ, гдѣ сѣры значительно больше, это отношеніе обыкновенно 0,5 : 1,0 или 1 : 1.

Примѣръ. Положимъ, что на 1 тонну руды приходится 150 kgr. SiO^2 , сколько потребуется известняка (чистаго $CaCO^3$) для полученія подходящаго шлака, причемъ пренебрегается количествомъ известняка, требующимся на ошлакованіе золы горячаго?

Рѣшеніе. На 100 частей по вѣсу $CaCO^3$ приходится 56 CaO , идущаго въ шлакъ и 44 CO^2 , удаляющагося съ газами. При x kgr. известняка, въ шлакъ перейдутъ $0,56x$ kgr. CaO .

Допустимъ отношеніе SiO^2 къ CaO какъ 1 : 1 для домны на коксѣ или какъ 1,75 : 1 для домны на др. углѣ, тогда мы получимъ соотвѣтственно 2 уравненія для x

$$\frac{150}{0,56x} = 1 \quad , \text{ откуда } x = 268 \text{ kgr.}$$

$$\frac{150}{0,56x} = 1,75, \text{ откуда } x = 154 \text{ kgr.}$$

II. Если имѣется на-лицо значительное количество MgO , то либо просто присчитываютъ ее къ CaO , либо находятъ предварительно количество CaO —химически эквивалентное MgO , и уже это число присчитывается къ CaO , причемъ сумма получаетъ названіе «суммированной извести».

При сколько-нибудь значительномъ количествѣ MgO , а также MnO , FeO , K^2O и Na^2O всегда слѣдуетъ произвести это «химическое суммирование», а въ дальнѣйшемъ брать отношеніе SiO^2 къ этой «суммированной извести». Химическое суммирование основано на томъ предположеніи, что 2 молекулы разныхъ основаній, содержащихъ по одному атому O ,—эквивалентны въ степени плавкости. Такимъ образомъ, молекулярные вѣса слѣдующихъ основаній—эквивалентны: CaO , MgO , FeO , MnO , K^2O и Na^2O или 56 kgr. CaO соотвѣтствуютъ 40 kgr.— MgO , 72 kgr.— FeO , 71 kgr.— MnO , 94 kgr.— K^2O и 62 kgr.— Na^2O , и мы получимъ слѣдующую таблицу:

Известковый эквивалентъ 1 kgr. слѣдующихъ основаній будетъ:

$$\text{для } MgO = \frac{56}{40} \times \text{вѣсъ } MgO$$

$$\text{» } FeO = \frac{56}{72} \times \text{» } FeO$$

$$\begin{aligned} \text{для } MnO &= \frac{56}{71} \times \quad \gg \quad MnO \\ \gg \quad K^2O &= \frac{56}{94} \times \quad \gg \quad K^2O \\ \gg \quad Na^2O &= \frac{56}{62} \times \quad \gg \quad Na^2O. \end{aligned}$$

Примѣръ. Тонна нѣкоторой руды содержитъ шлакообразующихъ веществъ: SiO^2 —175 kgr.; FeO —6 kgr.; MnO —30 kgr. Какъ флюсъ употребляютъ известнякъ содержащій: CaO —38,1⁰/₀; MgO —13,6⁰/₀; SiO^2 —3,4⁰/₀ и CO^2 —44,9⁰/₀. Какое количество известняка потребуется для полученія шлака, въ которомъ отношеніе $\frac{SiO^2}{\text{сумм. } CaO} = 0,8$?

Рѣшеніе. Пусть x будетъ неизвѣстное количество kgr. известняка. Въ шлакѣ мы будемъ имѣть:

$$\begin{aligned} SiO^2 &= 175 + 0,034x \\ CaO &= \quad \quad 0,381x \\ MgO &= \quad \quad 0,136x \\ FeO &= \quad \quad 6 \\ MnO &= \quad \quad 30 \end{aligned}$$

Известковые эквиваленты MgO , FeO и MnO буоуть

$$\begin{aligned} \text{для } MgO &. 0,136x \times \frac{56}{40} = 0,1904x \\ \gg \quad FeO &. 6 \times \frac{56}{72} = 4,6650 \\ \gg \quad MnO &. 30 \times \frac{56}{71} = 23,6600 \\ \gg \quad CaO &. \quad \quad \quad 0,3810x \\ \hline \text{Суммированная известь} &= 0,5714x + 28,325 \end{aligned}$$

Слѣдовательно:

$$\frac{175 + 0,034x}{28,325 + 0,5714x} = 0,8,$$

откуда

$$x = 360 \text{ kgr.}$$

Только что приведенный методъ рѣшенія весьма общъ.

III. Если имѣется Al^2O^3 , то съ нимъ можно поступить различно. Его можно полностью прибавить либо къ SiO^2 , либо къ CaO , или же предварительно вычислить его эквивалентъ въ SiO^2 или CaO и затѣмъ ужъ получить такъ называемый суммированный кремнеземъ или суммированную известь.

Тутъ мы подошли къ вопросу, вызвавшему не мало толковъ какъ со стороны теоретиковъ, такъ и практиковъ: какъ смотрѣть

на глиноземъ, какъ на кислоту или какъ на основаніе? Прибавлять ли его соотвѣтствующій эквивалентъ къ SiO^2 или къ CaO ?

Вотъ, что можно сказать по этому вопросу: въ отношеніи къ сѣрѣ Al^2O^3 дѣйствуетъ какъ CaO , если шлакъ не слишкомъ кремнистый (30—35% SiO^2), но не въ пропорціи къ своему теоретическому известковому эквиваленту:

$$\left[\frac{3 \times 56}{102} \times \text{вѣсъ } Al^2O^3 \right],$$

но скорѣе въ пропорціи 1 : 1. Въ отношеніе же плавкости при сильно кремнистыхъ шлакахъ Al^2O^3 увеличиваетъ легкоплавкость до извѣстнаго предѣла, выше котораго дѣйствуетъ уже обратно. Въ этомъ случаѣ Al^2O^2 дѣйствуетъ, какъ CaO .

При не очень кремнистыхъ шлакахъ (ниже 45% SiO^2)—и если Al^2O^3 много, то онъ играетъ роль кислоты, если же Al^2O^3 не такъ много, то онъ можетъ замѣнить CaO .

Примѣръ. Желѣзная руда содержитъ 10% SiO^2 и 6% Al^2O^3 . Известнякъ:—37,3— CaO ; 13,3— MgO ; 3,3— SiO^2 ; 2,1— Al^2O^3 и 44% CO^2 .

Сколько требуется известняка на 1 тонну руды чтобы получить:

а) шлакъ съ 49% $SiO^2 + Al^2O^3$,

б) шлакъ съ 33% SiO^2 , и

с) шлакъ, въ которомъ «суммированный SiO^2 » былъ бы равенъ «суммированной CaO ».

Рѣшеніе.

104049

$$\begin{array}{l} \text{а) Вѣсъ } SiO^2 \text{ въ шлакъ} = 100 + 0,033x \\ \quad \text{» } Al^2O^3 \quad \text{»} = 60 + 0,021x \\ \quad \text{» } CaO \quad \text{»} = 0,373x \\ \quad \text{» } MgO \quad \text{»} = 0,133x \\ \hline \text{Общій вѣсъ шлака} = 160 + 0,560x \end{array}$$

Слѣдовательно:

$$160 + 0,054x = 0,49(160 + 0,560x),$$

откуда

$$x = 370 \text{ kgr.}$$

$$\text{б) } 100 + 0,033x = 0,33(160 + 0,560x),$$

откуда

$$x = 313 \text{ kgr.}$$

$$\begin{array}{l} \text{с) } SiO^2 = 100 + 0,033x \\ \text{Кремнистый эквивал. } Al^2O^3 = \frac{180}{204}(60 + 0,021x) = \\ = 53 + 0,0185x \end{array}$$

$$CaO = 0,373x$$

$$\text{Известковый эквивал. } MgO = \frac{56}{40}(0,133x) = 0,1862x.$$

Слѣдовательно:

$$\begin{aligned} \text{Суммированный } SiO^2 &= 153 + 0,0515x \\ \text{Суммированная } CaO &= 0,5592x \\ 153 + 0,0515x &= 0,5592x, \end{aligned}$$

откуда

$$x = 300 \text{ kgr.}$$

Вернемся теперь къ шлаку отъ доменной печи въ Herrang съ составомъ:

SiO^2 . . 33,74%	FeO . . 1,54%
Al^2O^3 . . 5,43 »	MnO . . 4,21 »
CaO . . 46,23 »	K^2O . . 1,54 »
MgO . . 7,11 »	CaS . . 0,20 »

Процентное содержаніе SiO^2 не велико, а потому такой шлакъ весьма подходящъ для полученія чугуна съ малымъ содержаніемъ S . Процентъ Al^2O^3 также не великъ, чѣмъ увеличивается легкоплавкость, которая безъ этого бы страдала, такъ какъ шлакъ сильно известковый. Въ такомъ шлакѣ самое правильное суммировать Al^2O^3 съ CaO и другими основаніями. Мы получимъ:

Известковый эквивалентъ для:

$$\begin{aligned} Al^2O^3 &= \frac{168}{102}(5,43) = 8,94 \\ MgO &= \frac{56}{40}(7,11) = 9,95 \\ FeO &= \frac{56}{72}(1,54) = 1,20 \\ MnO &= \frac{56}{71}(4,21) = 3,32 \\ K^2O &= \frac{56}{94}(1,54) = 0,92 \end{aligned}$$

и, кромѣ того,

$$CaO = 46,23$$

$$\text{Итого—суммир. } CaO = 70,56$$

Характеристики этого шлака будутъ:

$$\begin{aligned} \text{отношеніе } SiO^2 \text{ къ суммир. } CaO &= \frac{33,74}{70,56} = 0,478, \\ \text{отношеніе } SiO^2 \text{ къ основаніямъ} &= \frac{33,74}{66,06} = 0,516. \end{aligned}$$

Задача 2. Руда, соотвѣтствующая анализу, данному въ задачѣ 1, въ количествѣ 1530,2 кгг. и 682 кгг. древеснаго угля, тоже — намъ извѣстнаго состава, содержитъ, — согласно баланса матеріаловъ, слѣдующія количества шлакообразующихъ веществъ:

SiO^2 . .	70,9 kgr.	FeO . .	3,2 kgr.
Al^2O^3 . .	11,6 »	MnO . .	9,3 »
CaO . .	40,0 »	K^2O . .	3,4 »
MgO . .	15,5 »	CaS . .	0,4 »

Анализъ известняка тотъ же, что и въ задачѣ 1, т.-е.:

CaO . .	53,74%	Al^2O^3 . .	0,32%
MgO . .	0,17 »	Fe^2O^3 . .	0,18 »
SiO^2 . .	3,14 »	CO^2 . .	42,42 »

ТРЕБУЕТСЯ: Определить количество потребнаго известняка для того, чтобы образовался:

- 1) Шлакъ съ 33,74% SiO^2 .
- 2) Шлакъ, въ которомъ отношеніе SiO^2 къ основаніямъ было бы $\approx 0,516$.
- 3) Шлакъ, въ которомъ отношеніе SiO^2 къ суммированной извести было бы $\approx 0,478$.

Примѣчаніе. Очевидно, тутъ идетъ рѣчь объ одномъ и томъ же шлакѣ, только охарактеризованномъ съ разныхъ сторонъ, какъ то и покажетъ отвѣтъ, который приведетъ насъ къ знакомой уже цифрѣ — 115,7 кгг. во всѣхъ трехъ случаяхъ.

Заданіе и рѣшеніе задачи весьма общее и соотвѣтствуетъ условіямъ практики.

Составныя части шлака будутъ:

	Изъ руды и горючаго.	Изъ извест- няка.	Всего.
SiO^2 . .	70,9	0,0314x	70,9 + 0,0314x
Al^2O^3 . .	11,6	0,0032x	11,6 + 0,0032x
CaO . .	40,0	0,5374x	40,0 + 0,5374x
MgO . .	15,5	0,0017x	15,5 + 0,0017x
FeO . .	3,2	$\frac{144}{160}(0,0018x)$	3,2 + 0,0016x
MnO . .	9,3	—	9,3
K^2O . .	3,4	—	3,4
CaS . .	0,4	—	0,4
Всего . .	154,3	0,5753x	154,3 + 0,5753x

И мы получимъ слѣдующія уравненія:

1) Шлакъ съ 33,74% SiO^2

$$70,9 + 0,0314x = 0,3374(154,3 + 0,5753x),$$

откуда

$$x = 115,7 \text{ kgr.}$$

2) Шлакъ съ отношеніемъ $\frac{SiO^2}{\text{основа́ніямъ}} = 0,516$

$$70,9 + 0,0314x = 0,516(83,0 + 0,5439x),$$

откуда

$$x = 115,7 \text{ kgr.}$$

3) Шлакъ съ отношеніемъ $\frac{SiO^2}{\text{суммир. } CaO} = 0,478$.

Произведемъ предварительно суммирование основаній:

$$CaO = 40,0 + 0,5374x$$

$$Al^2O^3 = \frac{168}{102}(11,6 + 0,0032x) = 19,1 + 0,0053x$$

$$MgO = \frac{56}{40}(15,5 + 0,0017x) = 21,7 + 0,0024x$$

$$FeO = \frac{56}{72}(3,2 + 0,0016x) = 2,5 + 0,0012x$$

$$MnO = \frac{56}{71}(9,3) = 7,3$$

$$K^2O = \frac{56}{94}(3,4) = 2,0$$

$$\text{Итого суммированная } CaO = 92,6 + 0,5463x$$

Слѣдовательно:

$$70,9 + 0,0314x = 0,478(92,6 + 0,5463x),$$

откуда

$$x = 115,7 \text{ kgr.}$$

Сравненіе между собою различныхъ родовъ горючихъ, флюсовъ и рудъ.

Нижеприведенные расчеты взяты изъ статьи Ф. В. Гордона въ Trans. Am. Inst. Mining Eng. 1892 г. стр. 61.

Сравненіе горючихъ.

Лишь твердый углеродъ въ горючемъ, да и то не полностью, можетъ быть утилизованъ въ доменномъ процессѣ, такъ какъ часть его идетъ на расплавленіе шлака, образующагося изъ золы горючаго.

Къ этому надо прибавить стоимость известняка, идущаго на ошлакованіе этой золы и, кромѣ того, отнести извѣстный процентъ работы по манипулированію этого шлака.

Примѣръ. Сравнить между собою слѣдующіе 2 образца кокса, изъ которыхъ первый стоитъ 4,50 доллара, а второй 5,50 доллара за тонну.

	№ 1.	№ 2.
Твердаго углерода . .	84 ⁰ / ₀	90 ⁰ / ₀
Летучихъ веществъ .	2 »	1 »
Влаги	5 »	3 »
Золы	9 »	6 »

Анализъ золы нижеслѣдующій:

	№ 1.	№ 2.
<i>SiO</i> ²	55 ⁰ / ₀	25 ⁰ / ₀
<i>Al</i> ² <i>O</i> ³	25 »	5 »
<i>CaO</i>	15 »	50 »
<i>MgO</i>	5 »	10 »
<i>Fe</i> ² <i>O</i> ³	—	10 »

Какъ флюсъ мы возьмемъ известнякъ уже извѣстнаго намъ состава, коего стоимость пусть будетъ 1 за тонну. Пусть шлакъ содержитъ 40⁰/₀ (*SiO*² + *Al*²*O*³). Допустимъ, что на расплавленіе одной вѣсовой части шлака требуется 0,228 частей твердаго углерода и что накладные расходы по манипулированію шлака выражаются въ размѣрѣ 1 за тонну.

Рѣшеніе. Назвавъ черезъ *x* количество известняка, соотвѣтствующаго 100 вѣсовымъ частямъ кокса обоихъ сортовъ, мы получимъ согласно анализамъ для образующагося въ каждомъ случаѣ шлака:

	Шлакъ № 1.	Шлакъ № 2.
<i>SiO</i> ²	4,95 + 0,0314 <i>x</i>	1,50 + 0,0314 <i>x</i>
<i>Al</i> ² <i>O</i> ³	2,25 + 0,0032 <i>x</i>	0,30 + 0,0032 <i>x</i>
<i>CaO</i>	1,35 + 0,5374 <i>x</i>	3,00 + 0,5374 <i>x</i>
<i>MgO</i>	0,45 + 0,0017 <i>x</i>	0,60 + 0,0017 <i>x</i>
<i>FeO</i>	0,0016 <i>x</i>	0,54 + 0,0016 <i>x</i>
Общій вѣсъ .	9,00 + 0,5753 <i>x</i>	5,94 + 0,5753 <i>x</i>

Откуда получимъ слѣдующія 2 уравненія:

Для № 1:

$$7,20 + 0,0346x = 0,40(9,00 + 0,5754x),$$

откуда

$$x = 18,4.$$

Для № 2:

$$1,80 + 0,0346x = 0,40(5,94 + 0,5753x),$$

откуда

$$x = -2,95.$$

Отрицательная величина для x во второмъ случаѣ лишь указываетъ на то, что зола горячаго угля сама по себѣ содержитъ достаточно основаній для полученія желаемаго шлака и даже уступаетъ 2,95% съ вѣса горячаго для ошлакованія руды.

Такимъ образомъ мы видимъ, что въ первомъ случаѣ на 1 тонну горячаго приходится дать 0,184 тонны извести, съ соотвѣтствующимъ образованіемъ 0,196 тоннъ шлаку. А во второмъ—имѣется излишекъ въ 0,0295 тоннъ основаній, причемъ на долю горячаго падаетъ 0,0424 тонны шлаку.

Количество твердаго углерода, идущаго на расплавленіе образующагося въ обоихъ случаяхъ шлака, будетъ:

$$\begin{aligned} \text{№ 1.} & \quad 0,194 \times 0,228 = 0,0442 \text{ тонны,} \\ \text{№ 2.} & \quad 0,0424 \times 0,228 = 0,0096 \text{ тоннъ.} \end{aligned}$$

Такимъ образомъ остается свободнаго углерода въ каждомъ изъ случаевъ:

$$\begin{aligned} \text{№ 1.} & \quad 0,84 - 0,0442 = 0,7958 \text{ тоннъ,} \\ \text{№ 2.} & \quad 0,90 - 0,0096 = 0,8904 \text{ тонны.} \end{aligned}$$

Отсюда мы выводимъ для стоимости 1 тонны свободнаго углерода въ обоихъ случаяхъ:

$$\begin{aligned} \text{№ 1.} & \quad \text{Стоимость кокса . . .} \quad \frac{4,50}{0,7958} = 5,655 \\ & \quad \text{» известняка} \quad \frac{1 \times 0,184}{0,7958} = 0,231 \\ & \quad \text{Накладн. расх.} \quad \frac{1 \times 0,196}{0,7958} = 0,246 \\ & \quad \text{Всего} = \underline{6,132} \\ \text{№ 2.} & \quad \text{Стоимость кокса . . .} \quad \frac{5,50}{0,8904} = 6,177 \\ & \quad \text{» известняка} \quad \frac{1 \times (-0,0295)}{0,8904} = -0,033 \\ & \quad \text{Накладн. расходы . . .} \quad \frac{1 \times 0,0424}{0,8904} = 0,047 \\ & \quad \text{Всего} = \underline{6,191} \end{aligned}$$

И такъ, первый родъ горячаго на 6 центовъ съ тонны свободнаго углерода дешевле второго.

Сравнение флюсовъ.

Само собою разумѣется, что всякое добавочное количество кремнезема въ известнякѣ имѣетъ невыгодное вліяніе на шлаковую способность флюса. Наилучшимъ способомъ сравненія является опредѣленіе для каждаго случая свободной извести или скорѣе свободной суммированной извести.

Примѣръ. Сравнить слѣдующіе 2 образца известняковъ:

	№ 1.	№ 2.
<i>CaO</i> . . .	53,74 ⁰ / ₀	47,80 ⁰ / ₀
<i>MgO</i> . . .	0,17 »	4,61 »
<i>SiO²</i> . . .	3,14 »	5,12 »
<i>Al²O³</i> . . .	0,32 »	3,36 »
<i>Fe²O³</i> . . .	0,18 »	1,10 »
<i>CO²</i> . . .	42,42 »	37,55 »

Стоимость перваго 1 долларъ за тонну, а втораго 0,80. Допустимъ, что стоимость 1 тонны свободного углерода въ горючемъ 6,135 и что требуется 0,228 тонны свободного углерода для расплавленія 1 тонны шлаку. Что накладные расходы равны 1 доллару съ тонны, и что типъ шлака таковъ, что суммированный *SiO²* равенъ суммированной *CaO*.

Рѣшеніе. Наша цѣль опредѣлить въ каждомъ случаѣ стоимость свободной суммированной извести. Произведя соотвѣтствующій подсчетъ, получимъ:

	№ 1.	№ 2.
Суммир. извести	0,5411	0,5502
Суммир. кремнезему . . .	0,0342	0,0808
Избытокъ <i>CaO</i> . . .	<u>0,5069</u>	<u>0,4694</u>

Вычтя эти количества свободной суммированной извести изъ процентнаго состава каждаго изъ известняковъ, получимъ вѣсъ шлака, образующагося отъ 1 тонны соотвѣтствующихъ флюсовъ:

	№ 1.	№ 2.
<i>CaO</i> (неиспользованной) . . .	0,0305	0,0086
<i>MgO</i>	0,0017	0,0461
<i>FeO</i>	0,0016	0,0099
<i>SiO²</i>	0,0314	0,0512
<i>Al²O³</i>	0,0032	0,0336
Вѣсъ шлака	0,0684	0,1494

Такимъ образомъ, стоимость 1 тонны свободной извести будетъ:

№ 1.	Стоимость известняка . . .	$\frac{1,00}{0,5069}$	= 1,973
	» углерода на расплавление шлака . . .	$\frac{6,135 \times 0,228 \times 0,0684}{0,5069}$	= 0,188
	Накладн. расходы	$\frac{1,00 \times 0,0684}{0,5069}$	= 0,135
			Итого = 2,296
№ 2.	Стоимость известняка . . .	$\frac{0,80}{0,4694}$	= 1,904
	» углерода на расплавление шлака . . .	$\frac{6,135 \times 0,228 \times 0,1494}{0,4694}$	= 0,465
	Накладн. расходы	$\frac{1,00 \times 0,1494}{0,4694}$	= 0,318
			Итого = 2,687

И такъ мы видимъ, что известнякъ худшаго качества, несмотря на кажущуюся дешевизну, дѣйствительно обходится дороже перваго.

Сравненіе рудъ.

Для сравненія чаще удобнѣе относить стоимость не къ 1 тоннѣ полученнаго чугуна, а къ 1 тоннѣ свободного Fe^2O^3 въ рудѣ. Къ стоимости руды отнесенной къ 1 тоннѣ свободного Fe^2O^3 прибавляется рассчитанная стоимость горючаго, флюса и накладные расходы. Однако не надо упускать изъ виду разницу въ содержаніи сѣры, такъ какъ послѣдняя вліяетъ на количество и на составъ шлака, а слѣдовательно и на стоимость.

Примѣръ. Отнести стоимость рудныхъ брикетовъ (задачи № 1), извѣстнаго намъ состава, къ 1 тоннѣ свободного Fe^2O^3 . При слѣдующихъ заданіяхъ. Стоимость 1 тонны брикетовъ 4,40 доллара. Шлакъ имѣетъ отношеніе кремнезема къ основаніямъ = 0,516 и содержитъ 0,3% всего желѣза, 82,7% всего кремнезема и 96,6% всего марганца, заключенныхъ въ рудѣ. Стоимость 1 тонны свободной извести 2,296, стоимость 1 тонны свободного углерода горючаго 6,135 и пусть требуется 0,228 тонны свободного углерода для расплавленія 1 тонны шлака. Накладные расходы принимаются въ 1,00 долларъ за тонну шлака. Анализъ рудныхъ брикетовъ будетъ (за исключеніемъ S , P и Cu):

Fe^2O^3	. . . . .	85,93%
FeO	. . . . .	3,96 »
SiO^2	. . . . .	5,50 »
MnO	. . . . .	0,63 »
Al^2O^3	. . . . .	0,76 »
CaO	. . . . .	2,23 »
MgO	. . . . .	0,97 »

Рѣшеніе. Произведя расчетъ, мы найдемъ, что 1 тонна рудныхъ брикетовъ содержитъ шлакообразующихъ веществъ:

FeO	. . . . .	0,0008	тоннъ
MnO	. . . . .	0,0061	»
CaO	. . . . .	0,0223	»
MgO	. . . . .	0,0097	»
Al^2O^3	. . . . .	0,0076	»
SiO^2	. . . . .	0,0455	»
Всего		0,0920	тоннъ

Имѣющимся 0,0455 т. SiO^2 соотвѣтствуетъ согласно условія: $\frac{0,0455}{0,516} = 0,0882$ т. основаній, изъ коихъ 0,0465 т. имѣется на-лицо и такимъ образомъ остается добавить 0,0417 т. CaO , образуя 0,1337 т. шлаку.

Теперь произведемъ расчетъ свободному Fe^2O^3 , т.-е. добавимъ къ 0,8593 т., содержащимся по анализу, количество Fe^2O^3 соотвѣтствующее $FeO = \frac{160}{144}(0,0396 - 0,0008) = 0,0432$, что даетъ 0,9025 т.

Расцѣнка произведется нижеслѣдующимъ образомъ:

Стоимость руды	$\frac{4,40}{0,9025}$	= 4,875
» CaO	$\frac{2,296 \times 0,0417}{0,9025}$	= 0,106
» C на расплавленіе шлака.	$\frac{6,135 \times 0,228 \times 0,1337}{0,9025}$	= 0,207
Накладные расходы	$\frac{1,00 \times 0,1337}{0,9025}$	= 0,148
		Всего = 5,336

Задача 3. Пусть стоимость руды будетъ 5,336 за 1 тонну свободной Fe^2O^3 , а стоимость горючаго 6,135 за 1 тонну свободного C . Допустимъ, что на образованіе 1 тонны чугуна, содержащей 96,656% Fe , идетъ 0,66 тонны чистаго углерода, и что накладные расходы ложатся въ размѣрѣ 2,00 долларовъ на 1 тонну чугуна. Определить стоимость 1 тонны чугуна.

Рѣшеніе. Требуется $Fe^2O^3 \frac{160}{112} \times 0,96656 = 1,3808$ тоннъ:

Стоимость руды . . .	$5,336 \times 1,3808 =$	7,368
» горючаго . . .	$6,135 \times 0,66 =$	4,049
Накладные расходы		2,000
Всего . . .		<u>13,417</u>

ГЛАВА III.

Утилизация горючаго въ доменной печи.

На доменную печь можно смотрѣть, какъ на газогенераторъ огромныхъ размѣровъ, причемъ газъ начинаетъ образовываться у самыхъ фермъ отъ дѣйствія нагрѣтаго воздуха на углеродъ. Этотъ газъ окисляется отчасти при проходѣ черезъ руду, причемъ надо замѣтить, что количество поглощеннаго кислорода почти постоянная величина, отнесенная къ 1 тоннѣ чугуна. Кромѣ того, къ газу присоединяется, выдѣлившаяся изъ известняка, углекислота. Однако, выдѣляющіеся изъ домны, газы заключаютъ въ себѣ еще большое количество неиспользованной тепловой энергіи горючаго въ видѣ недоокислившихся продуктовъ, способныхъ къ дальнѣйшему горѣнію.

Задача 4. Въ доменной печи сжигается 1 тонна кокса и употребляется 150 кгг. известняка, содержащаго 10% C (въ углекислотѣ) — на образованіе 1 тонны чугуна съ 4% C . Доменные газы содержатъ по объему 24% CO ; 12% CO^2 ; 2% CH^4 ; 2% H^2 ; 60% N^2 . Требуется:

- 1) Определить объемъ газа, соответствующаго 1 тоннѣ чугуна.
- 2) Тепловую энергію газовъ,
- 3) Процентъ тепловой энергіи кокса, непосредственно утилизированной въ доменной печи.

Рѣшеніе I. Опредѣлимъ сначала количество C въ газахъ

C въ коксѣ	$1000 \times 0,90 =$	900 кгг.
C въ известнякѣ	$150 \times 0,10 =$	15 »
Всего углерода въ шихтѣ		<u>915 »</u>
C въ чугунѣ	$1000 \times 0,04 =$	40 »
Итого углерода въ газахъ		<u>875 кгг.</u>

Такъ какъ 1 молекулярный объемъ CO , CO^2 или CH^4 , т.-е. 22,22 куб. метра содержитъ 12 кгг. C , то на 1 куб. м. cadaго изъ этихъ газовъ приходится по $\frac{12}{22,22} = 0,54$ кгг. C , а слѣдовательно въ 1 куб. м. газа будетъ содержаться углерода:

Въ CO	$0,24 \times 0,54$
» CO^2	$0,12 \times 0,54$
» CH^4	$0,02 \times 0,54$
Всего.	$0,38 \times 0,54 = 0,2052 \text{ kgr. } C.$

А 875 kgr. C соотвѣтствуетъ

$$\frac{875}{0,2052} = 4264 \text{ куб. м. газовъ.}$$

II. Изъ таблицъ, дающихъ теплоту, выдѣляемую при горѣніи 1 куб. м. CO , CH^4 и H^2 , мы выводимъ для тепловой энергіи 1 куб. м. доменныхъ газовъ.

CO	$0,24 \times 3062 = 734,9 \text{ Cal.}$
CH^4	$0,02 \times 8598 = 172,0 \text{ »}$
H^2	$0,02 \times 2613 = 52,3 \text{ »}$
Всего.	$959,2 \text{ Cal.}$

а слѣдовательно для 4264 куб. м.

$$4264 \times 959,2 = 4.090.000 \text{ Cal.}$$

III. Приближенная тепловая энергія 1 kgr. кокса съ 90% C будетъ

$$8100 \times 0,90 = 7290 \text{ Cal.},$$

но, благодаря присутствію CH^4 въ доменныхъ газахъ, мы можемъ заключить о присутствіи свободнаго водорода въ коксѣ въ количествѣ, по крайней мѣрѣ, соотвѣтствующемъ количеству CH^4 , а слѣдовательно дѣйствительная тепловая энергія 1 kgr. кокса будетъ нѣсколько больше.

Въ 4264 куб. м. газа содержится 85 куб. м. CH^4 , вѣсящихъ:

$$85 \times (0,09 \times 8) = 61,2 \text{ kgr.},$$

чему соотвѣтствуетъ

$$61,2 \times \frac{4}{16} = 15,3 \text{ kgr. водорода,}$$

или 1,53% вѣса кокса, такъ какъ 1 kgr. H^2 соотвѣтствуетъ 29030 Cal., то добавочная тепловая энергія кокса будетъ

$$0,0153 \times 29030 = 444 \text{ Cal.},$$

а всего вмѣстѣ съ предыдущими 7290 Cal.

$$7734 \text{ Cal.},$$

что составитъ на 1 тонну кокса

$$7\,734\,000 \text{ Cal.},$$

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

а такъ какъ газы уносятся неиспользованными $4\cdot090\cdot000$ Cal., то непосредственно израсходованной тепловой энергіи кокса будетъ $3\cdot644\cdot000$ Cal., или $47,1\%$ всего количества.

Въ дѣйствительности предыдущую цифру нужно еще уменьшить на ту тепловую энергію, которая соотвѣтствуетъ углероду, поглощенному чугуномъ, она, однако, снова появляется при дальнѣйшей обработкѣ чугуна, на примѣръ, въ бессемеровскомъ конверторѣ

$$1000 \times 0,04 \times 8100 = 324\cdot000 \text{ Cal.}$$

Такимъ образомъ, израсходованная энергія будетъ

$$3644\cdot000 - 324\cdot000 = 3\cdot320\cdot000 \text{ Cal.,}$$

или $42,9\%$.

Болѣе половины тепловой энергіи горючаго, такимъ образомъ, уходитъ съ доменными газами и до извѣстной степени можетъ быть рекуперированна, къ сожалѣнію, однако, мы еще далеки отъ совершенства.

Задача 5. Если предположить въ предыдущей задачѣ, что одна треть доменныхъ газовъ утилизируется на нагрѣвъ воздуха, поступающаго черезъ фурмы, до 450° С., то требуется опредѣлить:

- 1) Количество воздуха, соотвѣтствующаго 1 тоннѣ чугуна.
- 2) Тепловую энергію, приносимую дутьемъ.
- 3) Коэффициентъ полезнаго дѣйствія воздухонагрѣвательныхъ аппаратовъ.
- 4) Насколько введеніе горячаго дутья увеличиваетъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія домны.

Рѣшеніе.

I. Объемъ (сухого) газа на 1 тонну чугуна $= 4264$ куб. м.

Въ немъ заключается: азота (60%) . . . 2558 » »

Чему соотвѣтствуетъ: воздуха $\frac{2558}{0,792}$. . . 3230 » »

Слѣдовательно, если допустить, что воздухъ сухой, и что весь азотъ, заключающійся въ газахъ, произошелъ отъ воздуха, объемъ послѣдняго будетъ 3230 куб. на каждую тонну чугуна.

II. Такъ какъ теплоемкость 1 куб. м. воздуха при t° С. дана формулой

$$0,303 + 0,000027 t,$$

то 3230 куб. м. содержатъ при 450° С.

$$3230 \times [0,303 + 0,000027(450)] \times 450 = 458\cdot070 \text{ Cal.}$$

III. Всего доменные газы уносятъ съ собою 4·090·000 Cal., а слѣдовательно воздухонагрѣвательные аппараты, получая одну треть этихъ газовъ, получаютъ 1·363·333 Cal., и, слѣдовательно, ихъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія будетъ:

$$\frac{458 \cdot 070}{1 \cdot 363 \cdot 333} = 0,336 = 33,6\%.$$

IV. Въ предыдущей задачѣ нами было опредѣлено, что газы уносили изъ домны 52,9% всей тепловой энергіи горючаго, что 4,2% поглощались углеродомъ чугуна, и что лишь остающіеся 42,9% утилизируются самой домной. Такъ какъ треть газовъ идетъ на нагрѣвъ воздуха, то можно сказать, что въ этомъ случаѣ участвуютъ $42,9 + 17,6 = 60,5\%$ всей тепловой энергіи горючаго, но коэффициентъ полезнаго дѣйствія домны отъ этого увеличивается не на 17,6%, а лишь на 5,9%, такъ какъ сами печи имѣютъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія въ 33,6%, какъ мы видѣли.

Относительное увеличеніе полезнаго дѣйствія будетъ

$$\frac{5,9}{42,9} = 13,7\%.$$

а новый коэффициентъ полезнаго дѣйствія

$$42,9 + 5,9 = 48,8\%.$$

Вотъ какіе можно сдѣлать практическіе выводы изъ предыдущаго:

Въ доменной печи лишь немного болѣе 40% тепловой энергіи горючаго непосредственно участвуютъ въ процессѣ, а около 60% подъ тѣмъ или инымъ видомъ удаляются. Горячимъ дутьемъ возможно ввести обратно въ домну отъ 5—10% общей тепловой энергіи горючаго и такимъ образомъ до 50% могутъ быть тутъ же использованы. Что же касается вопроса, насколько эти 50% служатъ своему назначенію въ самомъ доменномъ процессѣ, то онъ будетъ разработанъ особо впоследствии.

Задача 6. Допустимъ, что остальные двѣ трети доменныхъ газовъ предыдущихъ двухъ задачъ утилизируются путемъ сжиганія подъ котлами, давая паръ, приводящій въ движеніе воздуходувныя машины, подъемные механизмы, насосы и проч., давая 10 эффективныхъ лошадиныхъ силъ на каждую тонну суточной производительности доменной печи. Требуется опредѣлить:

I. Общій коэффициентъ использованія тепловой энергіи въ домнѣ съ добавочными приспособленіями.

II. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія котловъ и паровыхъ машинъ.

III. Какую мощь могли бы развить газовые двигатели съ термомеханическимъ коэффициентомъ въ 25%, если бы ими замѣнили всѣ паровыя машины.

Рѣшеніе: I. Такъ какъ въ воздухонагрѣвательныхъ аппаратахъ утилизируются $\frac{1}{3}$ доменныхъ газовъ, а остальные $\frac{2}{3}$ сжигаются подъ котлами, то неиспользованными, пока, остаются лишь тѣ 4,2%, которые подъ видмъ углерода поглощаются чугуномъ. Такимъ образомъ 95,8% являются использованными.

II. На каждую тонну чугуна подъ котлами будетъ развито $\frac{2}{3}$ общей тепловой энергіи доменныхъ газовъ, т.-е.

$$4 \cdot 090 \cdot 000 \times \frac{2}{3} = 2 \cdot 726 \cdot 667 \text{ Cal.},$$

этимъ путемъ мы получимъ 10 лошадиныхъ силъ въ сутки, т.-е.

$$10 \times 75 \times 60 \times 60 \times 24 = 64 \cdot 800 \cdot 000 \text{ kgr. m.},$$

а такъ какъ 1 Cal. эквивалентна 425 kgr. m., то работа соотвѣтствуетъ

$$\frac{64 \cdot 800 \cdot 000}{425} = 152 \cdot 470 \text{ Cal.}$$

Слѣдовательно, коэффициентъ полезнаго дѣйствія котловъ и паровыхъ машинъ будетъ:

$$\frac{152 \cdot 470}{2 \cdot 726 \cdot 667} = 0,0559 = 5,59\%.$$

III. При термо-механическомъ коэффициентѣ = 25%, газовые двигатели развили бы, соотвѣтственно 1 тоннѣ чугуна,

$$2 \cdot 726 \cdot 667 \times 0,25 = 681 \cdot 666 \text{ Cal.},$$

или въ kgr. *M*

$$681 \cdot 666 \times 425 = 289 \cdot 708 \cdot 000 \text{ kgr. } M,$$

что равняется въ лошадиныхъ силахъ-суткахъ:

$$\frac{289 \cdot 708 \cdot 000}{75 \times 60 \times 60 \times 24} = 44,7.$$

Этотъ результатъ можно получить также инымъ способомъ:

$$10 \times \frac{25}{5,59} = 44,7,$$

такимъ образомъ отъ замѣны паровыхъ машинъ газовыми получается избытокъ въ 34,7 лошадиныхъ силъ въ сутки, на каждую тонну чугуна.

Количество тепловой энергіи, освобождаемое горючимъ въ доменной печи зависитъ отъ того, какое будетъ процентное отношеніе образовавшагося *CO* къ *CO*². Если допустить, что весь углеродъ обратится въ *CO*², то получится максимальное выдѣленіе тепла, а именно 8100 Cal. на каждый kgr. *C*; если бы весь углеродъ далъ лишь одно

CO , то на kg . C пришлось бы по 2430 Cal., или 30% предыдущаго количества. Въ задачѣ № 4 нами было вычислено, что на внутреннюю работу домны приходится отъ 40—50% всей тепловой энергіи горючаго; это лишь свидѣтельствуеъ о томъ, что часть углерода въ домнѣ образуетъ CO , а другая CO^2 .

Съ точки зрѣнія наибольшей возможной утилизаціи тепловой энергіи углерода—Грюнеръ формулировалъ свой принципъ объ «Идеальной работѣ домны», а именно, что весь углеродъ долженъ быть окисленъ у фурмъ въ CO , который, подымаясь, долженъ возстановлять руду, переходя самъ въ CO^2 .

Примѣнимъ этотъ принципъ къ задачѣ № 5 и посмотримъ, насколько работа этой домны отстываетъ отъ Грюнеровской «идеальной работы».

Углерода въ коксѣ.	900 kg .
Углерода въ чугуна.	40 »
Наличнаго углерода	<u>860 kg.</u>

На окисленіе этихъ 860 kg . C у фурмъ до степени CO требуется:

$$860 \times \frac{4}{3} = 1147 \text{ kg . кислорода,}$$

однако по задачѣ № 5 черезъ фурмы поступаетъ 3230 куб. м. воздуха, содержащаго:

$$3230 \times 0,208 \times 1,44 = 967 \text{ kg . кислорода.}$$

Этотъ O въ состояніи окислить до степени CO

$$967 \times \frac{3}{4} = 725 \text{ kg . углерода}$$

вмѣсто 860 kg ., слѣдовательно, можно охарактеризовать работу домны какъ

$$\frac{725}{860} = 0,843,$$

или 84,3% Грюнеровской. Это пропорція не соотвѣтствуетъ вполнѣ относительному расходу горючаго на единицу чугуна, но, однако, въ большинствѣ случаевъ, отъ нея именно и зависитъ большая или меньшая экономія въ горючемъ.

Отступленіе отъ Грюнеровскаго принципа возможно въ нѣкоторыхъ случаяхъ не только безъ ущерба для наилучшей утилизаціи горючаго, но наоборотъ, съ выгодой, на примѣръ, при очень благоприятныхъ условіяхъ работы, какъ-то: при очень высокой температурѣ дутья, въ особенности при сухомъ воздухѣ, также если руда и коксъ очень чисты, такъ что у фурмъ не требуется слишкомъ боль-

шого количества тепла для расплавления шлака. Излишнее образование CO у фурмъ можетъ вызвать напрасный расходъ горючаго. Хотя, отступая отъ принципа, и получится меньшее количество выдѣленной теплоты у фурмъ, однако лучшимъ ея распредѣленіемъ, въ концѣ концовъ, можетъ получиться выгода.

Примѣръ. Въ задачѣ № 5 мы предположили, что при температурѣ воздуха въ 450° и лишь $84,3\%$ углерода, окисленныхъ у фурмъ до степени CO —работа доменной печи была удовлетворительна. Какое добавочное количество теплоты образуется у фурмъ при температурѣ воздуха въ 900° ?

Нами было вычислено, что вдуваемые 3230 куб. м. приносятъ въ домну при 450° — $458 \cdot 070$ Cal., или около $5,9\%$ всей тепловой энергіи горючаго (въ $7 \cdot 734 \cdot 000$ Cal.). При температурѣ въ 900° мы получимъ:

$$3230 \times [0,303 + 0,000027(900)] \times 900 = 951 \cdot 461 \text{ Cal.},$$

что составитъ

$$\frac{951 \cdot 461}{7 \cdot 734 \cdot 000} = 0,123 = 12,3\%$$

общей тепловой энергіи, т.-е. добавочныхъ $6,4\%$ противъ предыдущаго.

Отъ этого происходитъ большое увеличеніе въ плавильной способности домны, такъ что на одно и то же количество руды можетъ быть употреблено значительно меньшее количество горючаго. Произведемъ расчетъ для обоихъ случаевъ:

Случай 1. Выдѣляется теплоты при окисленіи 725 кгг. C , соотвѣтствующихъ 1 тоннѣ чугуна $725 \times 2430 = 1 \cdot 761 \cdot 750$ Cal.

Содержится теплоты въ воздухѣ при 450°	458 \cdot 070 »
Всего . . .	2 \cdot 219 \cdot 820 Cal.

Случай 2. Отъ окисленія того же количества C $1 \cdot 761 \cdot 750$ Cal.

Въ воздухѣ при 900° $951 \cdot 461$ »

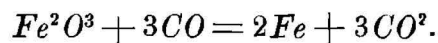
Всего . . . $2 \cdot 713 \cdot 211$ Cal.

Во второмъ случаѣ получается избытокъ въ $493 \cdot 391$ Cal. противъ перваго или добавочныхъ $22,2\%$. Такимъ образомъ, плавильная способность домны увеличилась на $22,2\%$, и если допустить, что предыдущихъ $2 \cdot 219 \cdot 820$ Cal. было достаточно для удовлетворительной работы надъ извѣстной шихтой, то теперь возможно пропорціо-

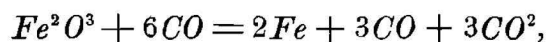
нально увеличить эту шихту, не трогая количества кокса, или, что то же, уменьшить количество кокса на 18⁰/₀, оставивъ шихту безъ измѣненія. Такимъ образомъ мы приходимъ къ заключенію, что отъ увеличенія температуры дутья, можно получить экономію въ расходѣ горючаго, даже если допустить, что меньшее количество углерода окисляется у фурмъ, чѣмъ въ другомъ случаѣ, при которомъ однако дутье болѣе холодное.

Минимальное количество углерода, необходимое въ доменной печи.

Много авторовъ полагаютъ, что реакція возстановленія Fe^2O^3 посредствомъ CO слѣдующая:



Если бы это такъ было, то у фурмъ было бы достаточно окислить лишь 3C на каждую молекулу Fe^2O^3 , т.-е. 36 углерода на 112 желѣза. Въ дѣйствительности же реакція такъ не происходитъ, такъ какъ образовавшаяся углекислота начинаетъ дѣйствовать окислительно на желѣзо и при пропорціи одного объема CO^2 на одинъ объемъ CO , возстановленіе почти прекращается. Такимъ образомъ, можно скорѣе написать реакцію слѣдующимъ образомъ:



изъ чего слѣдуетъ, что на 112 частей желѣза требуется, по крайней мѣрѣ, 72 части углерода. Въ виду же выдѣленія CO^2 изъ известняка возстановительное дѣйствіе CO еще уменьшается. Само собою разумѣется, что надо также имѣть въ виду количество углерода, поглощаемого чугуномъ. Возьмемъ для примѣра чугунъ съ 93⁰/₀ Fe и 3⁰/₀ C и коксъ съ 90⁰/₀ C . На 100 частей чугуна:

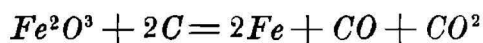
C , сжигаемаго у фурмъ	$= \frac{72}{112} \times 93 = 59,8$
C , поглощаемого чугуномъ	$= 3,0$
Всего требуется C	$62,8$
Расходъ кокса $\frac{62,8}{0,90}$	$= 69,8$

Обыкновенно сжигаютъ значительно больше углерода, но въ исключительныхъ случаяхъ и меньше, чѣмъ практически доказывается возможность безъ ущерба отступить отъ принципа Грюнера.

Для иллюстраціи случая, когда на возстановленіе Fe^2O^3 требуется значительно меньше углерода, чѣмъ приводилось выше, обратимся къ

возстановительной реакціи, происходящей въ электрической печи. Здѣсь единственный источникъ кислорода, окисляющій углеродъ, заключается въ рудѣ.

Пусть выдѣляющіеся газы будутъ того же состава $\frac{CO}{CO^2} = 1$, по объему, тогда реакцію можно написать такъ:



и при прочихъ равныхъ заданіяхъ получимъ на 100 частей чугуна:

C на возстановленіе	$\frac{24}{112} \times 93 =$	19,9
C въ чугунѣ		3,0
Всего требуется C . . .		22,9

т.-е. немного больше, чѣмъ треть предыдущаго количества.

Только что приведенный примѣръ указываетъ еще на то, что если случится углероду непосредственно возстановить руду, безъ предварительнаго перехода черезъ состояніе CO , то его коэффициентъ полезнаго дѣйствія въ три раза больше, такъ какъ его расходъ въ три раза меньше.

При обыкновенныхъ условіяхъ въ доменной печи чаще всего у фурмъ требуется образованія большаго количества CO , чѣмъ его нужно для возстановительной реакціи, потому что прочія условія таковы, что необходимо получить большее количество тепла, чѣмъ получилось бы, не будь сожженъ этотъ добавочный углеродъ. Въ виду этого всякое дальнѣйшее окисленіе углерода выше фурмъ безусловно не желательно. Однако при исключительно благоприятныхъ условіяхъ, какъ-то: при чистой рудѣ и горючемъ, не нуждающихся въ большомъ количествѣ шлака, а также при высокой температурѣ дутья или дутьѣ сухомъ, можетъ случиться, что достаточное количество тепла будетъ образовано у фурмъ при недостаточномъ количествѣ CO для дальнѣйшей возстановительной реакціи; въ этомъ случаѣ нѣкоторая часть руды будетъ непосредственно возстановлена углеродомъ, съ соотвѣтствующей значительной экономіей въ топливѣ, какъ мы видѣли. Вотъ тѣ условія, которыя вліяютъ на правильность принципа Грюнера, не всегда приложимаго.

ГЛАВА IV.

Тепловой баланс доменной печи.

Принципы, встрѣчаемые при составленіи теплового баланса доменной печи, были впервые изложены сэромъ Lothian Bell въ его трудѣ: «Принципы полученія желѣза и стали», ставшемъ классическимъ.

Теплота полученная и образовавшаяся.

Имѣются слѣдующіе источники:

- 1) Сгораніе углерода въ CO .
- 2) Сгораніе углерода въ CO^2 .
- 3) Теплота, содержащаяся въ дутьѣ.
- 4) Теплота образованія чугуна.
- 5) Теплота образованія шлака.

1 и 2. Сгораніе углерода въ доменной печи.

Поступаютъ слѣдующимъ образомъ: изъ баланса матеріаловъ извѣстно общее количество углерода въ доменныхъ газахъ; изъ анализа этихъ газовъ извѣстно количество углерода въ одномъ куб. метрѣ, а, слѣдовательно, первый результатъ, дѣленный на второй, даетъ объемъ газовъ, соотвѣтствующій 1 тоннѣ чугуна.

Зная объемъ газовъ и ихъ анализъ, опредѣляютъ соотвѣтственный объемъ CO и CO^2 . Если отсюда исключить тѣ количества CO и CO^2 , которыя предварительно заключались въ шихтѣ, то мы получимъ объемы этихъ газовъ, образовавшихся въ самой печи, а также можемъ вычислить ихъ теплоты образованія.

Примѣръ. Вернемся къ задачѣ № 1. Было вычислено, что на 1000 kgr. чугуна соотвѣтствовало 534,09 kgr. углерода въ газахъ; по анализу этихъ газовъ, въ 1 куб. м. содержалось 0,20736 kgr. углерода. Раздѣливъ оба результата, получимъ 2575,6 куб. м. газа на каждую тонну чугуна. Далѣе мы опредѣлимъ количества CO и CO^2

$$\begin{aligned} 2575,6 \times 0,231 &= 595,0 \text{ куб. м. } CO \\ 2575,6 \times 0,148 &= 381,2 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad CO^2. \end{aligned}$$

коихъ вѣса будутъ соотвѣтственно:

$$\begin{aligned} 595,0 \times 1,26 &= 749,7 \text{ kgr. } CO \\ 381,2 \times 1,98 &= 754,8 \quad \text{»} \quad CO^2. \end{aligned}$$

Согласно баланса матеріаловъ 49,1 kgr. CO^2 находились въ известнякѣ, вычитая получимъ 705,7 kgr. CO^2 для количества образовавшагося въ самой печи.

Отсюда мы выводимъ:

$$705,7 \times \frac{12}{44} = 192,5 \text{ kgr. } C \text{ въ } CO^2$$

$$749,6 \times \frac{12}{28} = 321,3 \text{ » } C \text{ въ } CO.$$

А, слѣдовательно, при образованіи выдѣлилось теплоты:

$$192,5 \times 8100 = 1 \cdot 559 \cdot 250 \text{ Cal.}$$

$$321,3 \times 2430 = \underline{780 \cdot 760} \text{ »}$$

$$\text{Всего . . } 2 \cdot 340 \cdot 010$$

Если бы весь углеродъ образовалъ CO^2 , то выдѣлилось бы:

$$513,8 \times 8100 = 4 \cdot 101 \cdot 780 \text{ Cal.}$$

Такимъ образомъ лишь 56% всей тепловой энергіи углерода было использовано въ печи, а 44% остается въ выдѣляющихся газахъ и слѣдовательно, отчасти, вновь вернется въ домну съ горячимъ дутьемъ.

Что касается до 0,5% CH^4 въ газахъ, то его теплотою образованія можно пренебречь въ виду того, что на его дистилляцію изъ кокса поглощается извѣстное количество теплоты, которое нами тоже не принимается въ расчетъ. Если бы было однако желательно счесть также и теплоту образованія, соответствующую CH^4 , то надо поступить слѣдующимъ образомъ: молекулѣ CH^4 соответствуетъ выдѣленіе $22 \cdot 250 \text{ Cal.}$, т.-е. 1854 Cal. на 1 kgr. углерода

$$\text{Объемъ } CH^4 = 2575,6 \times 0,005 = 12,88 \text{ куб. м.}$$

$$\text{Вѣсъ } C = 12,88 \times 0,54 = 6,9 \text{ kgr.}$$

$$\text{Теплота образованія} = 6,9 \times 1854 = 12 \cdot 793 \text{ Cal.}$$

Въ предыдущихъ расчетахъ вовсе не обращалось вниманія на то, въ какомъ именно мѣстѣ выдѣлилось, опредѣленное выше, количество теплоты. Не слѣдуетъ также впасть въ ошибку, предположивъ что тѣ $780 \cdot 760 \text{ Cal.}$, которыя относятся къ CO , выдѣлились отъ окисленія C у фурмъ. Дѣйствительно, если намъ извѣстно количество кислорода въ дутьѣ, то не трудно опредѣлить соответствующій вѣсъ C , окисленный до степени CO у фурмъ, а слѣдовательно вычислить и количество выдѣлившейся при этомъ теплоты. Въ данномъ случаѣ кислорода въ дутьѣ $557,7 \text{ kgr.}$, чему соответствуетъ:

$$557,7 \times \frac{3}{4} = 418,3 \text{ kgr } C$$

съ выдѣленіемъ:

$$418,3 \times 2430 = 1 \cdot 016 \cdot 410 \text{ Cal.}$$

или

$$43,5\% \text{ отъ } 2 \cdot 340 \cdot 010 \text{ Cal.},$$

выдѣлившихся въ общей сложности отъ горѣнія углерода въ дознѣ.

Далѣе можно предположить, что и выше фурмъ нѣкоторое добавочное количество C перейдетъ въ CO , а затѣмъ уже все полученное количество CO дастъ тѣ 705,7 kgr. CO^2 , которые, какъ намъ извѣстно образовались въ доменной печи. На этомъ основаніи легко убѣдиться, что распредѣленіе тепловой энергіи по роду реакціи будетъ нижеслѣдующее:

$$\begin{aligned} 513,8 \text{ kgr. } C \text{ въ } CO &= 513,8 \times 2430 = 1 \cdot 248 \cdot 535 \text{ Cal.} \\ 449,2 \text{ » } CO \text{ » } CO^2 &= 449,2 \times 2430 = 1 \cdot 091 \cdot 475 \text{ »} \\ \text{Всего . . } &2 \cdot 340 \cdot 010 \text{ »} \end{aligned}$$

А такъ какъ намъ извѣстно, что у фурмъ выдѣлилось $1 \cdot 016 \cdot 410$ Cal., то выше фурмъ отъ окисленія углерода до степени CO выдѣлилось еще $232 \cdot 125$ Cal.

3. Теплота содержимая въ дутьѣ.

Воздухъ содержитъ кромѣ главныхъ составныхъ частей O и N еще нѣкоторое количество H^2O подъ видомъ влаги, которое также слѣдуетъ принять въ расчетъ. Для средней теплоемкости (между 0^0 и температурой фурмъ t^0) одного кубическаго метра воздуха мы возьмемъ:

$$(0,303 + 0,000027 t) \text{ Cal.},$$

а для 1 куб. м. паровъ воды:

$$(0,34 + 0,00015 t) \text{ Cal.}$$

Примѣръ. Вычислить количество тепла, приносимаго дутьемъ въ дозну, если извѣстно, что на 1 тонну чугуна приходится 1859,1 kgr. N , что наружная температура воздуха 30^0 С., при давленіи барометра въ 720 мм., что воздухъ насыщенъ влагою (напр. во время дождя) и, наконецъ, что температура дутья у фурмъ 600^0 .

Рѣшеніе. Упругость, насыщающихъ воздухъ, паровъ воды, при 30^0 , будетъ 31,5 мм., слѣдовательно, собственно воздуху соотвѣтствуетъ: $720 - 31,5 = 688,5$ мм. На 1 куб. м. такого воздуха приходится:

$$\frac{31,5}{720} = 0,0438 \text{ куб. м. } H^2O$$

и

$$\frac{688,5}{720} = 0,9562 \text{ » » воздуха.}$$

Эта пропорція между парами воды и воздухомъ сохранится и далѣе.

Такимъ образомъ теплота приносимая дутьемъ распредѣлится слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{array}{l} H^2O \quad 0,0438 \times [0,34 + 0,00015 (600)] \times 600 = 11,3 \text{ Cal.} \\ \text{воздухъ} \quad 0,9562 \times [0,303 + 0,000027 (600)] \times 600 = 179,7 \quad \text{»} \\ \hline \text{Всего . . .} \quad 191,0 \text{ Cal.} \end{array}$$

Такъ какъ азотъ, по вѣсу, составляетъ $\frac{10}{13}$ частей воздуха, то вѣсъ азота въ 1 куб. м. будетъ:

$$0,9562 \times 1,293 \times \frac{10}{13} = 0,9511 \text{ kgr.}$$

А, слѣдовательно, 1859,1 kgr. азота соотвѣтствуютъ:

$$191,0 \times \frac{1859,1}{0,9511} = 373 \cdot 344 \text{ Cal.}$$

Такимъ образомъ мы видимъ что, въ данномъ случаѣ, количество тепла, приносимаго воздухомъ, болѣе одной трети того количества, которое получается отъ сгорания углерода у фурмъ.

4. Теплота образованія чугуна.

При настоящемъ положеніи науки вопросъ этотъ еще мало разработанъ, и поэтому можно ограничиться тѣмъ, что мы включимъ теплоту образованія карбида желѣза (Fe^3C), которая по Бертело = 8460 Cal., что составитъ 705 Cal. на 1 kgr. углерода.

5. Теплота образованія шлака.

Какъ и въ предыдущемъ случаѣ вопросъ этотъ еще недостаточно разработанъ наукою и, въ общей сложности, количество теплоты не настолько велико, чтобы имъ нельзя было пренебречь.

Le Chatelier опредѣлилъ теплоту образованія силиката ($3CaO, Al^2Si^2O^7$) въ $33 \cdot 500$ Cal., что составляетъ около 200 Cal. на 1 kgr. CaO или около 150 Cal. на 1 kgr. суммы ($Al^2O^3 + 2SiO^2$). Теплота образованія другихъ силикатовъ еще мало обслѣдована. Что же касается теплоты образованія (Ca, S), то она $94 \cdot 300$ Cal. или 2947 Cal. на каждый kgr. сѣры; теплота же выдѣляемая при раствореніи CaS въ шлакѣ неизвѣстна.

Теплота поглощенная и израсходованная.

Имѣются слѣдующія статьи расхода:

- 1) Теплота уносимая доменными газами.
- 2) » » шлакомъ.
- 3) » » чугуномъ.

- 4) Теплота поглощенная землею.
- 5) » » воздухомъ (излученіемъ).
- 6) » » водою (при охлажденіи).
- 7) » служ. для удаленія воды конституціонной изъ шихты.
- 8) » » » » влаги изъ шихты.
- 9) » » » выдѣленія CO^2 изъ углекислыхъ солей.
- 10) » » » возстановленія желѣзныхъ окисловъ.
- 11) » » » » прочихъ окисловъ.
- 12) » » » диссоціаціи влаги,содержавшейся въ воздухѣ.

1. Теплота уносимая доменными газами.

Мы уже знаемъ, какъ опредѣлить количество газовъ соотвѣтствующихъ 1 тоннѣ чугуна. Обыкновенно опредѣляется анализъ газовъ въ сухомъ видѣ и къ нему присчитывается объемъ паровъ воды соотвѣтствующей водѣ содержащейся въ шихтѣ, впрочемъ можно взять и средній результатъ отъ ряда анализовъ.

Температура газовъ также берется средняя. Затѣмъ производится расчетъ уносимой газами теплоты. Если количество пыли уносимой газами значительно, то можно произвести приблизительный расчетъ уносимой ею теплоты, пользуясь теплоемкостью ея составныхъ частей.

2. Теплота уносимая шлакомъ.

Количество шлака, соотвѣтствующее 1 тоннѣ чугуна, рассчитать не трудно, но теоретическія данныя къ сожалѣнію слишкомъ не полны, чтобы можно было сколько-нибудь точно произвести расчетъ уносимой теплоты по анализу шлака и его температурѣ. Можно либо произвести прямое калориметрическое измѣреніе, соотвѣтствующее извѣстному роду шлака, либо пользоваться данными Акермана, Белля и друг.

Акерманъ даетъ количества теплоты въ только что расплавленномъ шлакѣ, а въ практикѣ температура шлаковъ въ моментъ выхода изъ домны градусовъ на 200—500 выше ихъ температуры плавленія, слѣдовательно къ даннымъ Акермана слѣдуетъ прибавить отъ 50—150 Cal., что дастъ отъ 400—550 Cal.

Самъ Акерманъ приводитъ среднее количество тепла, заключенное въ 1 kgr. шлака (среднее отъ 27 опытовъ съ шведскими домнами) = 530 Cal.

Белль чаще всего пользовался 550 Cal. въ своихъ расчетахъ, относящихся къ кливлендскимъ домнамъ.

3. Теплота уносимая чугуномъ.

Точно также какъ и въ случаѣ шлака нужно прибавить нѣкоторое количество тепла отъ 50—100 Cal. къ тѣмъ 245 Cal., которые приблизительно выражаютъ теплоту, заключенную въ чугунѣ въ моментъ плавленія.

Акерманъ даетъ отъ 250—325 Cal. для различныхъ шведскихъ доменъ. Беллъ пользуется 330 Cal. для кливлендскихъ доменъ. Мы можемъ положить 300 Cal. для коксовой домны, работающей «холоднымъ ходомъ» и 350 Cal. для «горячаго хода».

4. Теплота поглощенная землею.

Это также весьма неопредѣленная величина; она мѣняется въ зависимости отъ рода почвы и отъ скорости плавки; ее относятъ къ 1 тоннѣ чугуна, причѣмъ она больше для небольшой домны, работающей медленно, чѣмъ для большой домны, работающей скоро. При богатой рудѣ эта величина меньше, при бѣдной—больше. Можно допустить, что ея величина между 60 и 200 Cal.

Беллъ пользовался 169 Cal. для одной кливлендской домны, съ другой же стороны въ нѣкоторыхъ случаяхъ съ домнами, работающими на древесномъ углѣ, при чистой рудѣ эта величина ниже 100 Cal.

5. Теплота поглощенная воздухомъ отъ излученія.

Ее можно положить въ 60—250 Cal. на 1 тонну чугуна, хотя она зависитъ отъ времени и внѣшнихъ условій. До сихъ поръ еще не было произведено точныхъ расчетовъ. Обыкновенно эту и предыдущую потерю группируютъ вмѣстѣ и опредѣляютъ по разности.

Эта сумма мѣняется въ предѣлахъ отъ 100—500 Cal. на тонну чугуна. Въ древесно-угольныхъ домнахъ ее можно положить отъ 100—150; Беллъ бралъ ее отъ 200—450 для кливлендскихъ доменъ, а для современныхъ большихъ тонкостѣнныхъ доменъ она отъ 300—500.

6. Теплота поглощенная водою при охлажденіи.

Въ старыхъ домнахъ безъ водяного охлажденія, само собою разумѣется, этого расхода тепла не было.

Въ домнахъ современной конструкціи онъ весьма различенъ и доходитъ до 200 Cal. на 1 тонну чугуна для воды охлаждающей заплечики и до 100 Cal. для воды, проходящей черезъ фурмы. Самое лучшее въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ произвести расчетъ на основаніи расходоуемой воды и извѣстнаго паденія температуръ.

7 и 8. Теплота служащая для удаленія воды конституціонной и влаги изъ шихты.

Для образованія паровъ воды изъ влаги шихты требуется 606,5 Cal. (скрытая теплота испаренія), а для удаленія конституціонной воды изъ разныхъ гидратовъ требуется еще добавочное количество теплоты иногда весьма малое и которымъ можно пренебречь, напр., для гидратовъ желѣза, а иногда и довольно значительное, какъ, напр., для глины ($2H^2O$, $Al^2Si^2O^7$) = $22 \cdot 000$ Cal., что составляетъ 611 Cal. на 1 kgr. воды только лишь на разъединеніе молекулъ, а если сюда при-

бавить 607 Cal. скрытой теплоты испарения, то получится 1218 Cal. Такимъ образомъ становится понятнымъ затрудненіе, встрѣчаемое при употребленіи сильно глинистыхъ рудъ.

9. Теплота, служащая для выдѣленія CO^2 изъ углекислыхъ солей.

Для флюсовъ чаще всего пользуются известнякомъ или доломитомъ въ сыромъ видѣ. Они начинаютъ разлагаться между 600^0 и 800^0 .

Въ каждомъ изъ ниже приведенныхъ случаевъ расходуются слѣдующія количества теплоты:

$(CaO, CO^2) = 45 \cdot 150$	Cal. или	1026	Cal. на 1 kgr. CO^2
$(MgO, CO^2) = 29 \cdot 300$	»	»	666 » » 1 »
$(MnO, CO^2) = 22 \cdot 200$	»	»	505 » » 1 »
$(FeO, CO^2) = 24 \cdot 900$	»	»	566 » » 1 »
$(ZnO, CO^2) = 15 \cdot 500$	»	»	352 » » 1 »

10. Теплота, служащая для возстановленія желѣзныхъ окисловъ.

Мы имѣемъ слѣдующую таблицу:

$(Fe, O) = 65 \cdot 700$	Cal. или	1173	Cal. на 1 kgr. Fe
$(Fe^3, O^4) = 270 \cdot 800$	»	»	1612 » » 1 »
$(Fe^2, O^3) = 195 \cdot 600$	»	»	1746 » » 1 »

Если руда шпатовый желѣзнякъ $FeCO^3$, то предварительно рассчитываютъ количество теплоты, идущее на выдѣленіе CO^2 , а затѣмъ уже на возстановленіе FeO .

Если часть желѣза попадаетъ въ шлакъ, подъ видомъ FeO , то легко вычислить, что на 1 kgr. желѣза, частично возстановленнаго изъ Fe^2O^3 . требуется 573 Cal., а изъ Fe^3O^4 —439 Cal. Если имѣется FeS , то его теплота образованія:

$$(Fe, S) = 24 \cdot 000 \text{ Cal. или } 429 \text{ Cal. на 1 kgr. } Fe.$$

Если въ составъ колоши входятъ сильно желѣзистые шлаки, содержащіе силикаты желѣза, то на ихъ разложеніе требуется въ случаѣ бисиликата:

$$(FeO, SiO^2) = 8900 \text{ Cal. } = 148 \text{ Cal. на 1 kgr. } SiO^2.$$

11. Теплота, служащая для возстановленія прочихъ окисловъ.

Согласно Бертело на возстановленіе SiO^2 требуется:

$$(Si, O^2) = 180 \cdot 000 \text{ Cal. или } 6430 \text{ Cal. на 1 kgr. } Si.$$

По новымъ опредѣленіямъ, еще не обнародованнымъ, числа нѣ-
сколько выше, а именно

$$196 \cdot 000 \text{ Cal. и } 7000 \text{ Cal.}$$

Для окисловъ марганца мы имѣемъ:

$$\begin{aligned} (Mn, O) &= 90 \cdot 900 \text{ Cal. или } 1653 \text{ Cal. на } 1 \text{ kg. } Mn \\ (Mn^3, O^4) &= 328 \cdot 000 \text{ » » } 1988 \text{ » » } 1 \text{ » } \\ (Mn, O^2) &= 125 \cdot 300 \text{ » » } 2278 \text{ » » } 1 \text{ » } \end{aligned}$$

Количество теплоты, идущее на неполное возстановленіе Mn^3O^4
или MnO^2 до степени MnO , попадающаго въ шлакъ, будетъ: въ пер-
вомъ случаѣ 335 Cal. на 1 kg. Mn , а во второмъ 625 Cal.

Сѣра попадаетъ въ шлакъ чаще всего отъ возстановленія FeS
на что требуется, какъ мы видѣли выше, $24 \cdot 000$ Cal. (на молекуляр-
ный вѣсъ) и, если это количество еще нами не принято во вниманіе
при возстановленіи солей желѣза, то слѣдуетъ считать по 750 Cal.
на 1 kg. сѣры.

Фосфоръ, обыкновенно происходитъ отъ разложенія ($3CaO, P^2O^5$)
и возстановленія (P^2, O^5):

$$\begin{aligned} (3CaO, P^2O^5) &= 159 \cdot 400 \text{ Cal. или } 2571 \text{ Cal. на } 1 \text{ kg. } P \\ (P^2, O^5) &= 365 \cdot 300 \text{ » » } 5892 \text{ » » } 1 \text{ » } \end{aligned}$$

что дастъ въ общей сложности 8463 Cal. на каждый kg. P въ чу-
гунѣ. При высокомъ процентномъ содержаніи P расходъ тепла полу-
чается довольно значительный.

Кальцій, образующій съ сѣрой CaS , требуетъ на свое возстано-
вленіе изъ CaO :

$$(Ca, O) = 131 \cdot 500 \text{ Cal. или } 3288 \text{ Cal. на } 1 \text{ kg. } Ca.$$

12. Теплота, служащая для диссоціаціи влаги, содержа-
щейся въ воздухѣ.

На разложеніе молекулярнаго вѣса воды (въ kg.) требуется
 $58 \cdot 060$ Cal., что составитъ на 1 kg. воды 3226 Cal., а на 1 kg.
водорода $29 \cdot 030$ Cal.

Задача № 7. Имѣются слѣдующія условія для доменной плавки.

На каждыя 100 kg. чугуна приходится: 1) руды 177,6 kg.,
2) известняка 44,4 kg. и 3) кокса 95,8 kg.

	H^2O	Fe^2O^3	Fe	SiO^2	Si	Al^2O^3	CaO	MgO	CO^2	CO	C	N^2
Руда	10,0	76,5	—	10,0	—	3,5	—	—	—	—	—	—
Известнякъ	—	—	—	5,0	—	—	47,6	4,8	42,6	—	—	—
Коксъ	1,0	—	—	5,5	—	—	5,5	—	—	—	88,0	—
Чугунъ	—	—	95,0	—	1,0	—	—	—	—	—	4,0	—
Газъ	—	—	—	—	—	—	—	—	13,0	22,3	—	64,7

Колоша содержитъ: 1) руды 9100 kgr., 2) известняка 230 kgr. и 3) кокса 4650 kgr.

Суточная производительность 364 тоннъ чугуна съ расходомъ кокса въ 348,7 тоннъ.

Теоретическій объемъ, описываемый поршнями воздухоудвки въ 1 минуту, 1140 куб. метровъ.

Въ 1 куб. метрѣ воздуха содержится 12,94 гр. паровъ воды при 24°.

Температура дутья 382°.

Температура колошниковыхъ газовъ 281°.

Воды для охлажденія идетъ 1130 тоннъ въ сутки; нагрѣвъ 50°.

Количество тепла въ 1 kgr. чугуна 325 Cal.

Количество тепла въ 1 kgr. шлака 525 Cal.

Требуется:

- 1) Опреѣлить объемъ газовъ, соотвѣтствующій 100 kgr. чугуна.
- 2) Составить балансъ матеріаловъ.
- 3) Опреѣлить объемъ и вѣсъ воздуха, соотв. 100 kgr. чугуна.
- 4) Коэффициентъ полезнаго дѣйствія воздухоудвнкой машины.
- 5) Тепловой балансъ домны.
- 6) Пропорція углерода, сгорающаго у фурмъ въ CO .
- 7) Пропорція тепла выдѣляемаго у фурмъ.
- 8) Пропорція желѣза возстановленнаго изъ FeO твердымъ углеродомъ.
- 9) Теоретическая максимальная температура у фурмъ.
- 10) Теоретическая максимальная температура у фурмъ, если бы дутье было совершенно сухое.

Рѣшеніе:

- 1) Опреѣленіе объема газовъ.

Углерода въ коксѣ $95,8 \times 0,88$	=	84,3	kgr.
C въ известнакѣ $44,4 \times 0,426 \times \frac{3}{11}$	=	5,2	»
Всего углерода		89,5	kgr.
C въ 100 kgr. чугуна		4,0	»
C въ газахъ		85,5	kgr.
CO и CO^2 въ газахъ (по объему)	=	35,3%	
C въ 1 куб. м. сухого газа = $0,54 \times 0,353$	=	0,19062	kgr.
Объемъ сухого газа соотв. 100 kgr. чугуна	=	$\frac{85,5}{0,19062} = 448,5$ куб. м.	
Объемъ колошниковыхъ газовъ въ 1 минуту	=	$\frac{4485 \times 364}{60 \times 24} = 1134$ » »	

2) БАЛАНСЪ МАТЕРІАЛОВЪ (соотв. 100 kgr. чугуна).

	Чугунъ.		Шлакъ.		Газы.			
Руды 177,6.	Fe^2O^3	135,7	Fe	95,0	.....	O	40,7
	H^2O	17,8	.....	.....	.....	H^2O	17,8
	SiO^2	17,8	Si	1,0	SiO^2	15,7	O	1,1
	Al^2O^3	6,3	Al^2O^3	6,3
Извест- няка 44,4.	SiO^2	2,2	.....	.....	SiO^2	2,2	.....
	CaO	21,1	.....	.....	CaO	21,1	.....
	MgO	2,1	.....	.....	MgO	2,1	.....
	CO^2	19,0	.....	.....	.....	CO^2	19,0
Кокса 95,8.	C	84,3	C	4,0	.....	C	80,3
	SiO^2	5,3	.....	.....	SiO^2	5,3	.....
	CaO	5,3	.....	.....	CaO	5,3	.....
	H^2O	0,9	.....	.....	.....	H^2O	0,9
Возду- ха 422,2.	O^2	96,4	.....	.....	.....	O	96,4
	N^2	321,3	.....	.....	.....	N	321,3
	H^2O	4,5	.....	.....	.....	H	0,5
						O	4,0	
Всего	740,0		100,0		58,0		582,0	

3) Изъ баланса матеріаловъ слѣдуетъ, что колоша выдѣляетъ 41,8 kgr. O , 19,0 kgr. CO^2 и 18,7 kgr. H^2O . Такъ какъ вода въ колошниковыхъ газахъ не разлагается, то ея кислородомъ надо пренебречь. Въ 19,0 kgr. CO^2 заключается

$$19,0 \times \frac{32}{44} = 13,8 \text{ kgr. } O,$$

а слѣдовательно, всего перейдетъ кислорода изъ колоши въ газы 55,6 kgr.

Теперь вычислимъ количество кислорода, содержащееся въ 1 куб. м. газовъ, согласно ихъ объемнаго анализа.

$$O \text{ въ } CO = 0,223 \times \left(0,09 \times \frac{28}{2}\right) \times \frac{16}{28} = 0,16056 \text{ kgr.}$$

$$O \text{ въ } CO^2 = 0,130 \times \left(0,09 \times \frac{44}{2}\right) \times \frac{32}{44} = 0,18720 \text{ »}$$

$$\text{Всего . . . } 0,34776 \text{ kgr.}$$

Можно еще иначе достигнуть того же результата, замѣтивъ, что объемъ кислорода въ CO = половинѣ объема CO , а кислорода въ CO^2 = объему CO^2 . Зная же, что въсь 1 куб. м. кислорода = $0,09 \times \frac{32}{2} = 1,44$ kgr., получимъ:

Вѣсь O въ $(CO + CO^2)$:

$$\left(\frac{0,223}{2} + 0,13\right) \times 1,44 = 0,34776 \text{ kgr.}$$

Всего же кислорода соотвѣтствуетъ 100 kgr. чугуна, или 448,5 куб. м. газовъ

$$448,5 \times 0,34776 = 156 \text{ kgr.}$$

За вычетомъ, выдѣлившагося изъ колоши O , 55,6 »
кислорода, доставляемаго дутьемъ 100,4 kgr.

При совершенно сухомъ дутьѣ это соотвѣтствовало бы:

$$100,4 \times \frac{10}{3} N^2 = 334,7 \text{ »}$$

Слѣдов., вѣсь сухого воздуха 435,1 kgr.
а его объемъ при 0°

$$\frac{435,1}{1,293} = 336,5 \text{ куб. м.}$$

Такъ какъ, однако, воздухъ содержитъ 12,94 гр. паровъ воды при 24° , то надо произвести слѣдующій расчетъ:

Кислорода въ 1 куб. м. сухого воздуха при 24°

$$1,293 \times \frac{3}{13} \times \frac{273}{273+24} = 0,2743 \text{ kgr.}$$

Кислорода въ 12,94 гр. воды

$$0,01294 \times \frac{8}{9} = 0,0115 \text{ »}$$

Всего 0,2858 kgr.

а 100,4 kgr. O соотвѣтствуетъ воздуху при 24° (измѣренному сухимъ):

$$\frac{100,4}{0,2858} = 351,8 \text{ куб. м.}$$

Для получения объема влажнаго воздуха, надо сюда прибавить объемъ паровъ воды при 24° :

$$\frac{0,01294 \times 273}{0,81 \times (273+24)} = 0,01738,$$

что дастъ для влажнаго воздуха (при 24°):

$$351,8 \times 1,01738 = 357,9 \text{ куб. м.}$$

Вѣсь составныхъ частей дутья будетъ:

$$H^2O 0,01294 \times 351,8 = 4,5 \text{ kgr.}$$

$$O^2 0,2743 \times 351,8 = 96,4 \text{ »}$$

$$N^2 0,9143 \times 351,8 = 321,3 \text{ »}$$

Всего 422,2 kgr.

а объемъ при 0° , соотвѣтствующій 100 kgr. чугуна:

$$\text{Пары воды } \frac{4,5}{0,81} = 5,6 \text{ куб. м.}$$

$$\text{Воздуха } \frac{417,7}{1,293} = 322,8 \text{ »}$$

Всего 328,4 куб. м.

Само собою разумѣется, что есть и другіе, нѣсколько видоизмѣненные, способы для вычисленія предыдущихъ объемовъ и вѣсовъ, но мы ихъ приводить здѣсь не будемъ.

4) Коэффициентъ полезнаго дѣйствія воздухоудвнной машины.

Объемъ влажнаго воздуха при 24°

$$\begin{aligned} \text{соотв. 100 kgr. чугуна} &= 357,9 \text{ куб. м.} \\ \text{Суточный объемъ } 357,9 \times 364 &= 1302,750 \text{ »} \end{aligned}$$

что составляетъ въ 1 минуту

$$\frac{1302,750}{1440} = 905 \text{ куб. м.}$$

А такъ какъ объемъ, описываемый поршнями воздухоудвки въ 1 минуту,—1140 куб. м., то коэффициентъ полезнаго дѣйствія будетъ:

$$\frac{905}{1140} = 79,4\%.$$

5) Составленіе теплого баланса.

Изъ баланса матеріаловъ слѣдуетъ, что 80,3 kgr. *C* окисляются въ домнѣ, изъ нихъ до степени *CO*

$$448,5 \times 0,223 \times 0,54 = 54,0 \text{ kgr.},$$

а слѣдовательно,

$$80,3 - 54,0 = 26,3 \text{ kgr. } C$$

окисляются до степени *CO*².

Далѣе, для вычисленія количества теплоты приносимой дутьемъ, мы возьмемъ для теплоемкости 1 куб. м. воздуха 0,313, а для 1 куб. м. паровъ воды 0,40.

Для теплоты, выдѣляемой при образованіи чугуна, мы возьмемъ 705 Cal. на каждый kgr. *C*.

А для теплоты, выдѣляемой при образованіи шлака, положимъ 150 Cal. на каждый kgr. присутствующихъ *SiO*² + *Al*²*O*³.

Весь приходъ тепла выразится такимъ образомъ:

Отъ окисленія <i>C</i> въ <i>CO</i> . . .	54,0 × 2430	= 131·220 Cal.
» » <i>C</i> въ <i>CO</i> ² . . .	26,3 × 8100	= 213·030 »
Въ парахъ воды . . .	5,6 × 0,40 × 382	} = 39·385 »
Въ самомъ воздухѣ . . .	322,8 × 0,313 × 382	
При образов. чугуна.	4 × 705	= 2·820 »
» » шлака . . .	29,5 × 150	= 4·425 »
Всего . . .		390·880 Cal.

Для распредѣленія расхода тепла, мы получимъ слѣдующую таблицу:

Возстановленіе <i>Fe</i>	95	×	1·746	=	165·870	Cal.	
» <i>Si</i>	1	×	7000	=	7000	»	
Выдѣл. CO^2 изъ $CaCO^3$	16,7	×	1·026	}	=	18·666	»
» CO^2 изъ $MgCO^3$	2,3	×	666				
Выдѣл. воды	18,7	×	606,5	=	11·342	»	

Теплоты въ колошников. газахъ:

$N + CO$. 400	куб. м.	×	0,3106	}	×	281°	=	43·836	Cal.
CO^2	. 58,3	куб. м.	×	0,446						
H^2O	. 23,1	куб. м.	×	0,382						

На диссоціацію воды въ дутьѣ:

	4,5	kg.	×	3226	=	14·511	Cal.
Теплоты въ шлакѣ	58	kg.	×	525	=	30·450	»
» » чугуиѣ	100	kg.	×	325	=	32·500	»

Въ водѣ, служащей для охлажденія:

$$\frac{1 \cdot 130 \cdot 000 \times 50^{\circ} \times 100}{364 \times 1000} = 15 \cdot 525 \text{ Cal.}$$

Остатокъ полагается на потери отъ излученія и поглощенія землею:

	51·180	»
Всего :	<u>390·880</u>	Cal.

6) Пропорція углерода, сгорающаго у фурмъ въ CO .

Кислорода поступаетъ черезъ фурмы	=	100,4	kg.
Соотв. количество $C = 100,4 \times \frac{12}{16}$	=	75,3	»
Всего имѣется C	=	84,3	»
Пропорція C , сожженаго у фурмъ	=	89,3%	

Для сравненія, однако, лучше брать не все количество C , а лишь количество свободнаго углерода, т.-е. за исключеніемъ 4,0%, попадающихъ въ чугуиѣ, и углерода, идущаго на возстановленіе Si , равнаго:

$$1\% \times \frac{24}{28} = 0,9\%.$$

Тогда получится:

$$\frac{75,3}{84,3 - 4,9} = 94,8\%.$$

Итакъ, мы очень близки къ Грюнеровской «идеальной работѣ», хотя, изъ обзорѣнія результатовъ, можно заключить, что работа домны могла бы быть и много лучше.

7) Пропорція тепла, видѣляемаго у фурмъ.

Сжиганіе C въ $CO = 75,3 \times 2430 = 182 \cdot 979$ Cal.	
Теплоты въ дутьѣ	39·385 »
При образованіи чугуна	2·820 »
» » шлака	4·425 »
Всего	<u>229·609 Cal.</u>

За вычетомъ колич. тепла, идущаго на дис-

соціацію воды въ воздухѣ.	14·511 »
Остатокъ	<u>215·098 Cal.,</u>

что составляетъ 55% отъ всего количества теплоты, видѣлившаго въ домнѣ—390·880 Cal.

8) Пропорція желѣза, возстановленнаго изъ FeO твердымъ углеродомъ.

Всего имѣется C	84,3 kgr.
C въ чугунѣ	4,0 »
Окислено C въ домнѣ.	<u>80,3 kgr.</u>
» C у фурмъ	75,3 »
» C выше фурмъ	<u>5,0 kgr.</u>
Требуется C на возстан. Si	0,9 »
Имѣется C » » FeO	<u>4,1 kgr.,</u>

чему соотвѣтствуетъ:

$$4,1 \times \frac{56}{12} = 19,1 \text{ kgr. } Fe$$

или

$$\frac{19,1}{95} = 20\% \text{ всего желѣза.}$$

9) Теоретическая максимальная температура у фурмъ.

Расчетъ производится слѣдующимъ образомъ, относя все къ 1 kgr. C .

У фурмъ сжигается 75,3 kgr, углерода, при чемъ поступаетъ 322, 8 куб. м. воздуха и 5,6 куб. м. паровъ воды, что составитъ на 1 kgr. C :

$$H^2O \quad \frac{5,6}{75,3} = 0,0738 \text{ куб. м.}$$

$$\text{Воздуха} \quad \frac{322,8}{75,3} = 4,2869 \text{ куб. м.}$$

Объемъ продуктовъ горѣнія будетъ:

$$\begin{array}{rcl}
 CO & \frac{22,22}{12} & = 1,8519 \text{ куб. м.} \\
 N^2 & \frac{321,3}{1,26 \times 75,3} & = 3,3865 \text{ » } \text{ »} \\
 H^2 \text{ (такой же, какъ } H^2O) & & = 0,0738 \text{ » } \text{ »} \\
 \text{Всего} & & \underline{5,3122 \text{ куб. м.}}
 \end{array}$$

На повышение температуры имѣются слѣдующіе источники:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{При сжиганіи 1 kgr. } C & . & . & 2430 \text{ Cal.} \\
 \text{Теплоты въ дутьѣ } \frac{39 \cdot 385}{75,3} & = & 523 \text{ »} \\
 \text{Теплоты въ коксѣ (приблиз.)} & = & 0,5t - 120 \text{ »} \\
 \text{Всего} & & \underline{0,5t + 2833 \text{ Cal.}}
 \end{array}$$

За исключ. тепл., идущей на диссоц. воды

$$\begin{array}{rcl}
 \frac{14 \cdot 511}{75,3} & = & 193 \text{ »} \\
 \text{Остается . .} & & \underline{0,5t + 2640 \text{ Cal.}}
 \end{array}$$

Въ продуктахъ горѣнія содержится:

$$5,3122(0,303 + 0,000027t)t \text{ Cal.,}$$

слѣдовательно:

$$5,3122(0,303t + 0,000027t^2) = 0,5t + 2640.$$

Откуда

$$t = 1910^{\circ}.$$

10) Теоретическая максимальная температура у фурмъ, если бы дутье было совершенно сухое.

Аналогичнымъ образомъ получаемъ:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Отъ сжиганія 1 kgr. } C & . & . & . & . & . & 2430 \text{ Cal.} \\
 \text{Теплота въ 4,4685 куб. м. сухого воздуха} & & & & & & \\
 \quad \text{при } 382^{\circ} - 4,4685 \times 0,313 \times 382. & . & . & & & & 574 \text{ »} \\
 \text{Теплота въ 1 kgr. углерода} & . & . & . & . & & \underline{0,5t - 120 \text{ »}} \\
 \text{Всего} & . & . & & & & \underline{0,5t + 2884 \text{ Cal.}}
 \end{array}$$

Въ продуктахъ горѣнія содержится:

$$5,3976(0,303 + 0,000027t)t \text{ Cal.,}$$

слѣдовательно:

$$5,3976(0,303t + 0,000027t^2) = 0,5t + 2884.$$

Откуда

$$t = 2018^{\circ}.$$

Слѣдовательно, температура у фурмъ будетъ въ этомъ случаѣ на 108° выше.

ГЛАВА V.

Дутье горячее и сухое.

Задача 8 (для упражненія).

Въ доменной печи задачи № 7 допустимъ, что дутье подвергнуто предварительной сушкѣ замораживаніемъ, при чемъ при температурѣ въ -5° на 1 куб. м. приходится 4 гр. паровъ воды. Руда, известнякъ и коксъ тѣ же, что и въ предыдущей задачѣ. Для составленія баланса матеріаловъ, соотвѣтствующаго 100 kgr. чугуна, мы полагаемъ, что берется: руды 177,6 kgr., известняка 44,4 kgr., кокса 77,0 kgr. и воздуха 332,5 kgr.

Анализъ газовъ: $CO = 19,9\%$, $CO^2 = 16\%$, $N^2 = 64,1\%$. Суточная производительность 454 тонны. Температура газовъ 191° , а температура дутья 465° . Объемъ, описываемый поршнемъ (воздухъ при -5°) 960 куб. м. въ 1 минуту.

Воды на охлажденіе домны идетъ 1356 тоннъ въ сутки, нагрѣвъ 50° . Теплоты въ 1 kgr. чугуна 325 Cal., въ 1 kgr. шлака—525 Cal.

ТРЕБУЕТСЯ:

- 1) Определить объемъ газовъ, соотвѣтствующій 100 kgr. чугуна. Отвѣтъ. 355,9 куб. м., измѣренныхъ сухими.
- 2) Составить балансъ матеріаловъ.
- 3) Определить объемъ воздуха при -5° , соотв. 100 kgr. чугуна. Отвѣтъ. 252,9 куб. м.
- 4) Коэффициентъ полезнаго дѣйствія воздуходувной машины. Отвѣтъ. $82,3\%$.
- 5) Тепловой балансъ домны.

Балансъ матеріаловъ (соотв. 100 kgr. чугуна).

		Чугунъ.	Шлакъ.	Газы.		
Руды 177,6.	{	Fe^2O^3 135,7	Fe^2 95,0	.....	O	40,7
		H^2O 17,8	.....	.....	H^2O	17,8
		SiO^2 17,8	Si 1,0	SiO^2 15,7	O	1,1
		Al^2O^3 6,3	.....	Al^2O^3 6,3	.....

	Извест- няка 44,4.		Чугунъ.		Шлакъ.		Газы.	
Воздуха 332,5.	Кокса 77,0.	SiO^2	2,2	.....	SiO^2	2,2	.....	.....
		CaO	21,1	.....	CaO	21,1	.....	.....
		MgO	2,1	.....	MgO	2,1	.....	.....
		CO^2	19,0	.....	.....	.....	CO^2	19,0
Воздуха 332,5.	Кокса 77,0.	C	67,8	C 4,0	.....	.....	C	63,8
		SiO^2	4,2	.....	SiO^2	4,2	.....	.....
		CaO	4,2	.....	CaO	4,2	.....	.....
		H^2O	0,8	.....	.....	.....	H^2O	0,8
Воздуха 332,5.	Кокса 77,0.	O^2	76,5	.....	.....	.....	O	76,5
		N^2	255,0	.....	.....	.....	N	255,0
		H^2O	1,0	.....	.....	.....	{H O	{0,1 0,9
Всего		631,5		100,0		55,8		475,7.

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНСЪ (соотв. 100 кгг. чугуна).

Приходъ.

C сгорающій въ CO	92·950 Cal.
C » » » CO^2	206·955 »
Теплоты въ горячемъ дутьѣ	37·850 »
Образованіе чугуна	2·820 »
» » шлага	4·260 »
Всего	344·835 Cal.

Расходъ.

Возстановленіе Fe	165·870 Cal.
» » Si	7·000 »
Удаленіе CO^2	18·666 »
Удаленіе влажности (колоши)	11·342 »
Теплоты, уносимой газами	23·799 »
Диссоціація воды въ дутьѣ	3·225 »
Теплоты въ шлакѣ	29·820 »
» » чугуна	32·500 »
» » охлажденной водѣ	14·922 »
Остатокъ на потери по излученію и пр.	37·691 »
Всего	344·835 Cal.

б) Сравнить статьи прихода и расхода тепла въ данномъ случаѣ съ соотвѣтствующими статьями задачи № 7 (лишь наиболѣе отличающимися другъ отъ друга).

	При влажн. дутьѣ.	При сухомъ дутьѣ.
C , сгорающій въ CO	131·220	92·950
Теплоты, уносимой газами	43·836	23·799
Диссоціація воды въ дутьѣ	14·511	3·225
Потеря отъ излученія и пр.	51·180	37·691

Итакъ, мы видимъ, что въ случаѣ сухого дутья, наименьшая абсолютная выгода получается отъ диссоціаціи воды въ дутьѣ, а наибольшая отъ экономіи въ топливѣ, получаемой отъ того, что меньшее количество C сгораетъ въ CO . Разница въ количествѣ теплоты, уносимой газами, происходитъ отъ того, что требуется меньше воздуха, и потому объемъ колошниковыхъ газовъ меньше. Экономія, происходящая отъ уменьшенія потерь отъ излученія и проч., вызвана болѣе ускореннымъ ходомъ печи. Мы видимъ, что производительность въ первомъ случаѣ 80% производительности во второмъ, а потеря отъ излученія и проч. 74% во второмъ случаѣ противъ перваго.

7) Вычислить количество углерода, сгорающаго у фурмъ въ CO , опредѣлить его отношеніе къ общему количеству углерода и сравнить эти величины съ тѣми, которыя были получены въ задачѣ № 7.

Отвѣтъ. Получится слѣдующая таблица:

	При влажн. дутьѣ.	При сухомъ дутьѣ.
1) C сожженного у фурмъ .	75,3 kgr.	58,05 kgr.
2) Общее количество C . . .	84,3 »	67,8 »
3) Пропорція $\frac{(1)}{(2)}$	89,3%	85,6%
4) Количество свободного C .	79,4 »	62,9% »
5) Пропорція $\frac{(1)}{(4)}$	94,8%	92,3%

Примѣчаніе. Въ нѣкоторыхъ исключительныхъ случаяхъ, въ древесноугольныхъ домнахъ, лишь 37 kgr. C сгораетъ у фурмъ на 100 kgr. чугуна, что составляетъ отъ 70—75% количества свободного углерода.

8) Опредѣлить, какая пропорція тепла выдѣлится у фурмъ.

Отвѣтъ. 53%.

9) Опредѣлить пропорцію желѣза, возстановленнаго изъ FeO твердымъ углеродомъ.

Отвѣтъ. 23,8%.

10) Опредѣлить теоретическую максимальную температуру у фурмъ.

Отвѣтъ: 1965°.

Горячее дутье.

Въ теченіе нѣсколькихъ столѣтій доменная плавка велась на древесномъ углѣ и съ холоднымъ дутьемъ.

Амплитуда колебаній температуры воздуха можетъ быть весьма велика и доходитъ до 100° въ исключительныхъ случаяхъ, на примѣръ, на Уралѣ между крайней лѣтней и зимней температурами. При сред-

ней температурѣ дутья въ 0° теоретическая максимальная температура у фурмъ можетъ быть вычислена слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{array}{ll} \text{Сгораніе 1 kgr. C въ CO} . . . & 2430 \text{ Cal.} \\ \text{Колич. тепл. въ 1 kgr. C} . . . & 0,5t - 120 \text{ . } \gg \\ \text{Объемъ смѣси CO + N}^2 . . . & 5,3976 \text{ куб. м.} \end{array}$$

$$\text{Температура} = \frac{2310 + 0,5t}{5,3976(0,303 + 0,000027t)}$$

Откуда

$$t = 1678^{\circ}.$$

Это не значитъ, что температура чугуна и шлака у фурмъ достигаетъ этого предѣла, она постоянно ниже и зависитъ отъ относительнаго количества чугуна и шклака къ горючему, отъ скорости хода и другихъ причинъ.

При нагрѣтомъ дутьѣ къ числителю предыдущаго выраженія для t , надо, очевидно, прибавить количество теплоты, приносимое дутьемъ и рѣшить квадратное уравненіе. При 4,4685 куб. м. воздуха это добавочное количество Cal. будетъ

$$Q = 4,4685(0,303t + 0,000027t^2).$$

Мы, такимъ образомъ, получимъ:

Темп. дутья.	Колич. прин. тепла.	Теор. темп. у фурмъ.
0°	0 Cal.	1678°
100°	137 »	1762°
200°	276 »	1845°
300°	417 »	1929°
400°	561 »	2012°
500°	707 »	2096°
600°	856 »	2180°
700°	1007 »	2265°
800°	1160 »	2350°
900°	1316 »	2435°
1000°	1475 »	2520°

И такъ мы видимъ, что повышеніе температуры дутья на 100° повышаетъ температуру у фурмъ приблизительно на 85° каждый разъ, и это повышеніе температуры много важнѣе добавочнаго количества тепла, этимъ путемъ вносимаго въ доменную печь, такъ какъ отъ увеличенія интенсивности тепловой энергіи увеличивается скорость обмѣна тепла, а слѣдовательно и скорость хода.

Сухое дутье.

При диссоціаціи 1 kgr. водяныхъ паровъ поглощается

$$\frac{58 \cdot 060}{18} = 3226 \text{ Cal.}$$

На каждый kgr. углерода, окисленный парами воды въ моментъ диссоціаціи, поглощается

$$\frac{58 \cdot 060}{12} = 4838 \text{ Cal.},$$

а выдѣляется

$$2430 \text{ Cal.}$$

Расходъ превышаетъ приходъ на 2408 Cal.

Нужно, однако, еще присчитать къ приходу количество тепла заключенное въ 1 kgr. углерода или приблизительно (0,5t — 120), а также количество тепла, заключенное въ 1,8519 куб. м. паровъ воды $\left(\frac{22,22}{12}\right)$, соотвѣтствующихъ 1 kgr. C, т.-е.

$$Q = 1,8519(0,34t + 0,00015t^2).$$

Мы получимъ слѣдующую таблицу:

Температура паровъ воды.	Колич. тепла въ парахъ.	Поглощено теплоты при диссоціаціи.
100°	66 Cal.	2462—0,5t Cal.
200°	137 »	2391.—0,5t »
300°	214 »	2314—0,5t »
400°	296 »	2232—0,5t »
500°	384 »	2144—0,5t »
600°	478 »	2040—0,5t »
700°	577 »	1951—0,5t »
800°	682 »	1846—0,5t »
900°	792 »	1736—0,5t »
1000°	907 »	1621—0,5t »

И такъ, при господствующей у фурмъ температурѣ, расходъ тепла на диссоціацію всегда превышаетъ приходъ, кромѣ того выдѣленіе добавочнаго количества CO и H² увеличиваетъ объемъ газовъ у фурмъ, а слѣдовательно понижаетъ еще больше ихъ температуру.

Примѣръ. Чему равна теоретическая максимальная температура у фурмъ, если на 1 куб. м. сухого воздуха приходится 10 гр. паровъ воды и температура дутья 500°.

Положимъ, что на сжиганіе 1 kgr. углерода до степени CO у фурмъ требуется 4,4685 куб. м., образуя смѣсь

$$(CO + N^2) = 5,3976 \text{ куб. м.}$$

Воздухъ приноситъ съ собою $4,4685 \times [0,303 + 0,000027(500)] \times 500 = 707 \text{ Cal.}$, 1 kgr. углерода сгорая даетъ 2430 Cal., 1 kgr. C содержитъ теплоты $(0,5t - 120) \text{ Cal.}$

Если бы воздухъ былъ совершенно сухъ, то температура получилась бы изъ слѣдующаго уравненія:

$$t = \frac{2430 + 707 + (0,5t - 120)}{5,3976(303 + 0,000027t)} = 2096^\circ.$$

Но на 4,4685 куб. м. воздуха приходится 0,044685 kgr. паровъ воды, требующихъ на диссоціацію $\frac{2}{3}$ по вѣсу углерода или 0,02979 kgr.

Изъ вышеприведенной таблицы слѣдуетъ, что при 500° температуры дутья, при диссоціаціи количества воды, соотвѣтствующаго 1 kgr. C , поглощается $(2144 - 0,5t) \text{ Cal.}$, а слѣдовательно въ данномъ случаѣ поглотится:

$$0,02979 \times (2144 - 0,5t) = 64 - 0,015t,$$

на это количество придется, при расчетѣ температуры у фурмъ, уменьшить числителя.

Продукты горѣнія увеличатся въ объемѣ, отъ образовавшихся H^2 и соотвѣтствующаго CO , очевидно на удвоенный теоретическій объемъ паровъ воды, т.-е. на:

$$\frac{2 \times 0,044685}{0,81} = 0,1102 \text{ куб. м.}$$

Такимъ образомъ конечное уравненіе для опредѣленія температуры у фурмъ будетъ:

$$t = \frac{3017 + 0,5t - (64 - 0,015t)}{(5,3976 + 0,1102)(0,303 + 0,000027t)} = 2030^\circ.$$

Приведемъ другой способъ рѣшенія этой задачи, безъ помощи таблицъ.

$$\text{Содержится } O \text{ въ 1 куб. м. сух. возд. } \frac{1,293 \times 3}{13} \text{ kgr.} = 0,2984 \text{ kgr.}$$

$$O \text{ въ парахъ воды } 0,010 \times \frac{8}{9} = 0,0089 \text{ »}$$

$$\text{Всего . . .} = 0,3073 \text{ kgr.}$$

$$\text{Сожжено } C \ 0,3073 \times \frac{3}{4} = 0,2305 \text{ »}$$

Объемъ паровъ воды $\frac{0,010}{0,81}$	= 0,0123 куб. м.
Объемъ O въ сухомъ воздухѣ	= 0,2078 »
Объемъ продуктовъ горѣнія изъ воздуха	= 1,2078 »
» » » » воды	= 0,0246 »
Общій объемъ продуктовъ горѣнія	= 1,2324 »
Колич. тепла отъ горѣнія $C = 0,2305 \times 2430$	= 560 Cal.
Содерж. тепла въ углеродѣ $= 0,2305(0,5t - 120)$	= 0,1152t — 28 Cal.

Содерж. тепла въ сухомъ воздухѣ:

$$1 \times [0,303 + 0,000027(500)] \times 500 = 158 \text{ Cal.}$$

Содерж. тепла въ парахъ воды:

$$0,0123 \times [0,34 + 0,00015(500)] \times 500 = 3 \text{ »}$$

Поглощено теплоты отъ диссоціаціи воды

$$0,0123 \times \frac{58\ 060}{22,22} = -32 \text{ »}$$

$$\text{Общій приходъ тепла} = 0,1152t + 661 \text{ Cal.}$$

Откуда получается слѣдующее уравненіе:

$$t = \frac{0,1152t + 661}{1,2324(0,303 + 0,000027t)} = 2030^{\circ}.$$

Примѣняя одинъ или другой изъ вышеприведенныхъ методовъ, получимъ нижеслѣдующую таблицу:

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА У ФУРМЪ.

Влажность грамм. воды въ 1 куб. м. сух. воздуха. t° дутья	5	10	15	20	25	30	35	40
40°	1678°	1647°	1615°	1573°	1536°	1507°	1471°	1443°
100°	1723°	1692°	1666°	1627°	1587°	1548°	1526°	1496°
200°	1807°	1776°	1751°	1712°	1673°	1636°	1612°	1584°
300°	1892°	1861°	1837°	1800°	1760°	1725°	1700°	1673°
400°	1976°	1945°	1921°	1885°	1846°	1813°	1786°	1760°
500°	2061°	2030°	2007°	1970°	1933°	1902°	1874°	1848°
600°	2146°	2115°	2093°	2055°	2020°	1991°	1962°	1936°
700°	2232°	2201°	2178°	2144°	2108°	2080°	2050°	2025°
800°	2318°	2287°	2264°	2227°	2195°	2169°	2138°	2114°
900°	2404°	2373°	2351°	2313°	2282°	2257°	2226°	2203°
1000°	2490°	2459°	2437°	2399°	2369°	2345°	2314°	2292°

Изъ таблицы видно, что при увеличеніи влажности отъ 5—40 кг. на 1 куб. м. сухого воздуха, оставляя ту же температуру дутья,— температура у фурмъ падаетъ градусовъ на 200.

ГЛАВА VI.

Полученіе, нагрѣвъ и сушка воздуха для дутья.

Полученіе дутья.

Полученіе дутья основано на двухъ механическихъ принципахъ, типичными представителями примѣненія коихъ, служатъ поршневая воздуходувка и вентиляторы. Работа первыхъ перемежающая, а вторыхъ постоянная. Въ первомъ случаѣ имѣется 3 періода: всасыванія, сжиманія и выпуска, а во второмъ: всасываніе и выпускъ происходятъ непрерывно. Для опредѣленія работы воздуходувныхъ машинъ служитъ хорошо извѣстная формула для адиабатическаго сгущенія:

$$E = \frac{\gamma}{\gamma - 1} V_0 P_0 \left[\left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right],$$

гдѣ $\gamma =$ отношенію $\left(\frac{C_p}{C_v} = 1,408 \right)$ между теплоемкостью воздуха при постоянномъ давленіи и его теплоемкостью при постоянномъ объемѣ.

$V_0 =$ объему несгущеннаго воздуха.

$P_0 =$ давленію несгущеннаго воздуха.

$P_1 =$ давленію сгущеннаго воздуха.

При

$$\gamma = 1,408,$$

$$\frac{\gamma - 1}{\gamma} = 0,29,$$

а

$$\frac{\gamma}{\gamma - 1} = 3,45.$$

Если давленія выражать въ kg. на квадратный метръ, а объемы въ куб. м., то работа (энергія) получится въ килограммъ-метрахъ (kg. м.). Зная же, что 1 лошадиная сила есть 75 kg. м. въ секунду легко вывести и мощь машины. Само собою разумѣется, что P_1 есть не эффективное давленіе (показываемое индикаторомъ), а еще плюсь атмосферное давленіе. Давленіе 1 атмосферы при нормальныхъ условіяхъ (0° и 760 mm.), какъ извѣстно 1,0333 kg. на 1 кв. см. или 10333 kg. на 1 кв. м.

Задача 9. Въ доменную печь вдувается 2529 куб. м. воздуха при -5° на каждую тонну чугуна, при суточной производительности въ 454 тоннъ. Внѣшнее барометрическое давленіе 735 mm. Эффективное давленіе воздуха (въ регулирующемъ резервуарѣ) 1 kg. на

кв. см. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія воздуходувной машины 82,3% въ отношеніи воздуха и 90% въ отношеніи механической энергіи:

Требуется опредѣлить:

- 1) Относительное сгущеніе воздуха.
- 2) Объемъ, описываемый поршнемъ воздуходувки на каждую тонну чугуна.
- 3) Работу воздуходувныхъ цилиндровъ на 1 тонну чугуна.
- 4) Индикаторную силу машины въ паров. лошад.

Рѣшеніе:

1) Эффективное давленіе воздуха, будучи 1 kg. на кв. см., оно выразится въ мм.

$$\frac{1,0000}{1,0333} \times 760 = 735 \text{ мм.},$$

а такъ какъ барометрическое давленіе несгущеннаго воздуха тоже 735 мм., то давленіе сгущеннаго воздуха = 1470 мм. и относительное сгущеніе будетъ

$$\frac{1470}{735} = 2,0.$$

2) Объемъ, описываемый поршнемъ воздуходувки, будетъ

$$\frac{2529}{0,823} = 3073 \text{ куб. м.}$$

3) Для вычисленія работы воздуходувки надо взять для V_0 — 3073 куб. м., а для P_0 — $\frac{735}{760} \times 1,0333 = 1$ kg. на кв. см. или 10 · 000 kg. на кв. м.

$$E = 3,45 \times 3 \cdot 073 \times 10 \cdot 000 \times (2^{0,29} - 1) = 23 \cdot 604 \cdot 000 \text{ kg. м.}$$

4) Индикаторная сила машины въ паровыхъ лошадяхъ будетъ

$$\frac{23 \cdot 604 \cdot 000 \times 454}{0,9 \times 75 \times 60 \times 60 \times 24} = 1837,5 \text{ лош. силъ},$$

что составляетъ на 1 тонну суточной производительности 4,0473 лошадиныхъ силы.

Измѣреніе давленія воздуха.

Весьма важно имѣть для расчета работы воздуходувки среднее давленіе воздуха послѣ сжатія, принимая во вниманіе также и добавочное давленіе, вызываемое движеніемъ воздуха въ магистрали. Поэтому далеко не безразлично, какъ и гдѣ должна быть помѣщена соединительная манометрическая трубка. Если ее помѣстить подъ прямымъ угломъ къ потоку воздуха въ магистрали, то давленіе, которое покажетъ манометръ, будетъ слишкомъ низкимъ по двумъ причи-

намъ: во-первыхъ, добавочное давленіе, вызываемое движеніемъ воздуха, не зарегистрируется, а во-вторыхъ, получится нѣкоторое всасывающее дѣйствіе; поэтому конецъ трубки долженъ быть изогнутъ навстрѣчу движущемуся потоку воздуха, а чтобы давленіе было среднее этотъ конецъ долженъ приходиться не въ центрѣ магистрали (гдѣ движеніе наиболѣе сильное) и не у стѣнокъ, а примѣрно въ разстояніи одной трети радіуса отъ центра. Можно также брать манометрическое давленіе не отъ магистрали, а отъ регулирующаго резервуара, гдѣ скорость потока воздуха значительно меньше.

Индикаторныя діаграммы.

Діаграмма снятая съ воздухоудного цилиндра даетъ свою площадью работу затраченную во время хода поршня, а слѣдовательно легко вычислить и среднее давленіе на площадь поршня и на 1 кв. м. Не надо забывать, что это среднее давленіе, вовсе не есть господствующее давленіе въ магистрали послѣ сжатія воздуха, о которомъ говорилось выше.

Такъ, если намъ извѣстно лишь окончательное давленіе P_1 и первоначальное давленіе P_0 (какъ, напримѣръ въ случаѣ вентилятора или если не пользоваться индикаторной діаграммой съ воздухоудкой), то для вычисленія работы адиабатическаго сжатія, пользуются извѣстной формулой:

$$E = 3,45 \times V_0 P_0 \left[\left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{0,29} - 1 \right].$$

Если же нами будетъ опредѣлено, путемъ снятія индикаторной діаграммы среднее давленіе P на 1 кв. м. площади поршня, то работа сжатія въ теченіе одной минуты выразится другой извѣстной формулой:

$$E = P \times \text{объемъ описываемый поршнемъ въ 1 минуту.}$$

Нагрѣвъ дутья.

Нагрѣвъ воздуха для дутья происходитъ въ разнаго рода аппаратахъ, до конструктивныхъ особенностей коихъ, мы касаться не будемъ. Намъ придется заняться только тѣми принципами, отъ которыхъ зависитъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія воздухонагрѣвательныхъ аппаратовъ и ихъ расчетъ. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія такого аппарата, есть отношеніе между количествомъ тепла, переданнаго воздуху къ количеству тепла полученному, предварительно, аппаратомъ.

Въ случаѣ воздухонагрѣвательныхъ аппаратовъ постояннаго дѣйствія, съ строго опредѣленнымъ количествомъ и родомъ топлива, задача

сильно облегчается, такъ какъ не трудно опредѣлить количества тепла, идущаго на подогреваніе аппаратовъ. Въ случаѣ же обыкновенныхъ кирпичныхъ воздухонагрѣвательныхъ аппаратовъ, подогреваемыхъ доменными газами, главнымъ затрудненіемъ служитъ то обстоятельство, что количество приносимой тепловой энергіи, неизвѣстно съ достаточной точностью, такъ какъ лишь часть колошниковыхъ газовъ идетъ на подогреваніе аппаратовъ, а другая часть служитъ для другихъ цѣлей. Приближеннымъ образомъ можно заключить о пропорціи колошниковыхъ газовъ, сгораемыхъ въ аппаратахъ, по отношенію къ части употребляемой въ иныхъ мѣстахъ, путемъ сравненія площадей, подводящихъ газъ, путей. Для большей точности слѣдуетъ также; знать и скорость движенія газовъ въ обоихъ случаяхъ. Другой методъ основанъ на слѣдующихъ данныхъ: опредѣляется объемъ газовъ уносимыхъ трубою при аппаратахъ (надо знать — сѣченіе буравковъ, скорость истеченія и температуру), далѣе если имѣть анализы какъ колошниковыхъ газовъ, такъ и уносимыхъ въ трубу, можно вычислить, какое количество колошниковыхъ газовъ было использовано аппаратами для своего нагрѣва.

Задача № 10. Для сушки торфа, въ печи, воздухъ предварительно нагрѣвается съ 0° до 150° , посредствомъ желѣзныхъ трубъ, подогреваемыхъ, въ свою очередь, сжиганіемъ сухого торфа, содержащаго по анализу: $C—49,70\%$; $H—5,33\%$; $O—30,76\%$; $N—1,01\%$; золы— $13,20\%$.

Теплопроизводительная способность 1 kgr. этого торфа 4249 Cal. Путемъ сжиганія 92,5 kgr. торфа, 5122 куб. м. воздуха нагрѣваются до требуемой температуры.

Продукты горѣнія имѣютъ 200° и содержатъ (по анализу въ сухомъ видѣ) $14,8\%$ CO^2 и никакихъ другихъ газовъ, въ составъ коихъ входилъ бы углеродъ.

Требуется опредѣлить:

- 1) Количество тепла выдѣлившееся въ печи.
- 2) Количество тепла въ нагрѣтомъ воздухѣ и коэффициентъ полезнаго дѣйствія печи.
- 3) Объемъ и составъ продуктовъ горѣнія.
- 4) Сколько тепла унесется въ трубу продуктами горѣнія.
- 5) Сколько тепла потеряется излученіемъ и теплопроводностью.
- 6) Избытокъ воздуха, употребленный на сжиганіе торфа.

Рѣшеніе. 1) Въ печи выдѣлится:

$$4249 \times 92,5 = 393 \cdot 033 \text{ Cal.}$$

2) Въ нагрѣтомъ воздухѣ будетъ:

$$5122[0,303 + 0,000027(150)] 150 = 235 \cdot 907 \text{ Cal.,}$$

слѣдовательно, коэффициентъ полезнаго дѣйствія:

$$\frac{235 \cdot 907 \times 100}{393 \cdot 033} = 60,0\%.$$

3) Объемъ продуктовъ горѣнія.

Вѣсъ углерода въ сожженомъ торфѣ:

$$92,5 \times 0,497 = 45,97 \text{ кг.}$$

Объемъ образовавшейся углекислоты:

$$\frac{45,97 \times 22,22}{12} = 85,13 \text{ куб. м.}$$

Объемъ образовавшагося сухого газа:

$$\frac{85,13}{0,148} = 575,20 \text{ куб. м.}$$

Объемъ N^2 и O^2 въ продуктахъ горѣнія:

$$575,20 - 85,13 = 490,07 \text{ куб. м.}$$

Объемъ паровъ воды въ продуктахъ горѣнія:

$$\frac{92,5 \times 0,0533 \times 9}{0,81} = 54,78 \text{ куб. м.}$$

Процентный составъ продуктовъ горѣнія:

	Во влажномъ видѣ. %	Въ сухомъ видѣ. %
CO^2	13,5	14,8
N^2 и O^2	77,8	85,2
H^2O	8,7	—
	100,0	100,0

Для того чтобы отдѣлить N^2 отъ O^2 , потребовалось бы произвести нѣкоторое добавочное вычисленіе, котораго мы избѣгнемъ, такъ какъ теплоемкость обоихъ газовъ одинакова.

4) Продукты горѣнія содержатъ при 200^0 :

$$CO^2 \text{ } 85,13 \times 0,4140 = 35,24$$

$$N^2 \text{ и } O^2 \text{ } 490,07 \times 0,3084 = 151,14$$

$$H^2O \text{ } 54,78 \times 0,3700 = 20,27$$

$$\frac{206,65 \times 200}{100} = 41 \cdot 330 \text{ Cal.},$$

что составитъ относительную потерю:

$$\frac{41 \cdot 330 \times 100}{393 \cdot 033} = 10,5\%,$$

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

5) Потеря отъ излученія и теплопроводности:

$$100 - (60,0 + 10,5) = 29,5\%$$

6) Опреѣленіе избытка воздуха.

Для этого можно прослѣдовать слѣдующимъ путемъ:

O для сжиганія C въ CO^2	. . .	$45,97 \times \frac{32}{12} = 122,59$	kg.
O для сжиганія H въ H^2O	. . .	$4,93 \times 8 = 39,44$	»
Всего O требуется	. . .	162,03	kg.
Имѣется O въ торфѣ	$92,5 \times 0,3076$	= 28,45	kg.
Не хватаетъ O	. . .	133,58	kg.
чему соотвѣтствуетъ $(\frac{10}{3})$ азота		445,27	kg.
Требуется воздуха	. . .	578,85	kg.
или по объему (: 1,293)		447,7	куб. м.
Имѣется N въ торфѣ	$92,5 \times 0,0101$	= 0,93	kg.
Слѣдовательно всего N въ требующемся			
количествѣ воздуха и торфѣ		= 446,2	»
или по объему (: 1,26)		= 354,1	куб. м.
Всего же N^2 и O^2 въ продуктахъ горѣнія		= 490,1	»
Слѣдовательно избытокъ воздуха		= 136,0	куб. м.

Относительный избытокъ воздуха:

$$\frac{136,0 \times 100}{447,7} = 30,3\%$$

Задача № 11. При доменной печи имѣется 3 воздухонагрѣвательныхъ аппарата, изъ коихъ черезъ одинъ проходитъ воздухъ, а два нагрѣваются колошниковымъ газомъ. Каждой тоннѣ чугуна соотвѣтствуетъ 3845 куб. м. газа (при нормальныхъ условіяхъ) слѣдующаго состава:

N^2	. . . . .	2315	куб. м.
CO	. . . . .	719	» »
CO^2	. . . . .	578	» »
H^2O	. . . . .	233	» »
Всего:		3845	куб. м.

Тому же количеству чугуна соотвѣтствуетъ 2615 куб. м. воздуха (при нормальныхъ условіяхъ) нагрѣваемому въ аппаратахъ съ -5° до 465° .

Колошниковые газы поступаютъ въ аппараты, имѣя температуру въ 175° и на ихъ горѣніе вводится избытокъ воздуха при 0° , въ 10% .

Продукты горѣнія (предполагаемаго полнымъ) удаляются въ трубу имѣя температуру 120° .

ТРЕБУЕТСЯ:

1) Определить коэффициентъ полезнаго дѣйствія воздухонагрѣвательныхъ аппаратовъ, предположивъ, что черезъ нихъ пропускаютъ колошниковыхъ газовъ въ пропорціи 20, 25, 30, 35, 40, 45 и 50 процентовъ всего количества.

2) Если мы допустимъ, что аппараты теряютъ въ своей совокупности, излученіемъ и теплопроводностью, такое же количество тепла какъ и доменная печь, т.-е., напримѣръ, $384 \cdot 000$ Cal. на 1 тонну чугуна, то определить какой процентъ всего количества газовъ пропускается черезъ аппараты и каковъ, въ этомъ случаѣ, ихъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія?

Рѣшеніе: Предположимъ, что черезъ воздухонагрѣвательные аппараты пропускается все количество колошниковыхъ газовъ и на этомъ основаніи вычислимъ ихъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія.

Количество тепла въ дутьѣ нагрѣтомъ съ -5° до 465° :

$$2615 [0,303 + 0,000027 (465 - 5)] \times [465 - (-5)] = 387667 \text{ Cal.}$$

Содержится тепла въ газахъ (при 175°):

N^2 и CO	3034×0	$3077 =$	933
CO^2	$578 \times 0,4085 =$	236	
H^2O	$233 \times 0,3763 =$	88	

$$\underline{1257 \times 175 = 219 \cdot 975 \text{ Cal.}}$$

Выдѣляется тепла при горѣніи газовъ:

$$CO \text{ въ } CO^2 \quad 719 \times 3062 = 2 \cdot 201 \cdot 578 \text{ Cal.}$$

Слѣдовательно всего имѣется тепла:

$$2 \cdot 421 \cdot 553 \text{ Cal.}$$

Если допустить, что все количество газовъ пройдетъ черезъ аппараты, то ихъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія будетъ:

$$\frac{387 \cdot 667 \times 100}{2 \cdot 421 \cdot 553} = 16,0\%.$$

Если въ аппараты поступаетъ лишь извѣстная часть колошниковыхъ газовъ, то получится слѣдующая таблица для коэффициента полезнаго дѣйствія:

% поступающаго въ аппаратъ газа.	Кoeffиціентъ полезнаго дѣйствія въ %.
50	32
45	35,6
40	40,0
35	45,7
30	53,3
25	64,0
20	80,0
16	100,0

Изъ этой таблицы очевидно лишь то, что въ аппараты поступаетъ больше чѣмъ 16⁰/₀ всего количества колошниковыхъ газовъ. Если, тѣмъ или инымъ путемъ, намъ станетъ извѣстенъ процентъ поступающаго въ аппаратъ газа, то тѣмъ самымъ опредѣлится и коoeffиціентъ полезнаго дѣйствія аппаратовъ.

3) Есть другой путь для рѣшенія задачи—это приравнять количество тепла, поступающаго въ аппараты, количеству выдѣленному. Здѣсь главнымъ источникомъ сомнѣній будетъ количество тепла терямое аппаратами (въ ихъ совокупности) путемъ излученія и теплопроводности, которое, въ данномъ случаѣ, мы положили равнымъ, соответствующей потери въ доменной печи, т.-е. 384 · 000 Cal. для 1 тонны чугуна.

Количество продуктовъ горѣнія (при полной утилизациі колошниковыхъ газовъ) опредѣлится слѣдующимъ образомъ.

Требуется кислорода ($\frac{1}{2} CO$)	= 360 куб. м.
Соотвѣтственное количество воздуха (: 0,208)	= 1730 » »
10 ⁰ / ₀ избытка воздуха	= 173 » »
Азота въ, необходимомъ для горѣнія, воздухѣ	= 1370 » »
Азота въ колошниковыхъ газахъ	= 2315 » »
Всего азота (за исключеніемъ содержащагося въ избыткѣ воздуха)	= 3685 » »

что дастъ для продуктовъ горѣнія:

CO^2	1297 куб. м.
H^2O	233 » »
N^2	3685 » »
Воздуха (избытка) . . .	173 » »
Всего	5388 куб. м.

Содержащейся при 120⁰ въ нихъ теплоты:

$$\begin{array}{l} \text{CO}^2 1297 \times 0,3964 = 514 \\ \text{H}^2\text{O} 233 \times 0,3580 = 83 \\ \text{N}^2 \text{ и воздухъ } 3858 \times 0,3064 = 1182 \end{array}$$

$$1779 \times 120 = 213 \cdot 480 \text{ Cal.}$$

Если мы назовемъ черезъ x пропорцію колошниковыхъ газовъ, поступившихъ въ аппараты, то количество тепла, содержащагося въ продуктахъ горѣнія и уносимаго въ трубу, будетъ $213 \cdot 480x$ Cal.

Кромѣ того нами было опредѣлено количество тепла содержащагося въ дутьѣ $= 387 \cdot 667$ Cal. и мы положили на потери отъ излученія и теплопроводности $384 \cdot 000$ Cal. Такимъ образомъ общее количество тепла выдѣленнаго аппаратами $= 771 \cdot 667 + 213 \cdot 480x$ Cal. Съ другой стороны, намъ извѣстно, что количество тепла въ колошниковыхъ газахъ, если допустить, что они полностью пройдутъ черезъ аппараты $= 2 \cdot 421 \cdot 553$ Cal., а слѣдовательно если лишь часть x будетъ использована $2 \cdot 421 \cdot 553x$ Cal. Приравнивая оба полученныхъ выраженія получимъ;

$$771 \cdot 667 + 213 \cdot 480x = 2 \cdot 421 \cdot 553x.$$

Откуда $x = 0,3495$ или $34,95\%$, что дастъ для коэффиціента полезнаго дѣйствія аппаратовъ:

$$\frac{387 \cdot 667 \times 100}{2 \cdot 421 \cdot 553 \times 0,3495} = 45,8\%.$$

Можно разсуждать еще инымъ образомъ.

Очевидно, что потеря тепла въ продуктахъ горѣнія, уносимыхъ въ трубу, будетъ, по отношенію къ общему количеству выдѣлившагося въ аппаратахъ тепла, $\frac{213 \cdot 480 \times 100}{2 \cdot 421 \cdot 553} = 8,8\%$, остается, слѣдовательно, $91,2\%$, каковыя ложатся на теплоту развиваемую въ дутьѣ и на потерю отъ излученія и теплопроводность, т.-е. представляютъ всего $771 \cdot 667$ Cal. Такимъ образомъ въ аппаратахъ выдѣлилось

$$\frac{771 \cdot 667}{0,912} = 846 \cdot 100 \text{ Cal.}$$

и слѣдовательно коэффиціентъ полезнаго дѣйствія будетъ:

$$\frac{846 \cdot 100 \times 100}{2 \cdot 421 \cdot 553} = 34,95\%.$$

Сухое дутье.

Изъ вышеприведенныхъ примѣровъ ясно вытекаетъ теоретическая польза отъ замѣны сырого дутья—сухимъ, такъ какъ достигается болѣе высокая температура у фурмъ и экономія въ топливѣ, связанная съ повышенною производительностью доменной печи.

Для сушки воздуха, подвергаютъ его охлажденію и увеличивая его плотность, достигаютъ еще повышенія коэффиціента полезнаго дѣйствія воздухоудувныхъ машинъ.

1 примѣръ. При внѣшней температурѣ воздуха въ 30° и охлажденіи его до -5° требуется опредѣлить увеличеніе объема вдуваемаго воздуха и во сколько разъ можно уменьшить скорость воздухоудовокъ для полученія прежняго объема.

Абсолютныя температуры будутъ соотвѣтственно: $273 + 30$ и $273 - 5$, а слѣдовательно увеличеніе объема воздуха будетъ въ $\frac{303}{286} = 1,13$ раза, т.-е. на 13% .

Скорость же машины можно уменьшить въ $\frac{268}{301} = 0,884$ раза или на $11,6\%$ съ сохраненіемъ прежняго объема.

2 примѣръ. Въ воздухѣ содержитсяъ при $30^{\circ} - 85\%$ влажности. Требуется, путемъ охлажденія, удалить 95% паровъ воды, безъ предварительнаго сжиманія воздуха; до какой температуры требуется охладить воздухъ?

Въ таблицахъ давленія насыщающихъ паровъ воды мы находимъ, что при 30° давленіе будетъ $31,5$ мм., изъ чего слѣдуетъ, что 1 куб. м. смѣси воздуха и насыщающихъ паровъ воды содержитъ:

$$\frac{31,5}{760} \text{ куб. м. паровъ и } \frac{728,5}{760} \text{ куб. м. воздуха.}$$

При 85% влажности, на то же количество воздуха приходится:

$$\frac{31,5}{760} \times 0,85 = 0,0352 \text{ куб. м.}$$

А на 1 куб. м. сухого воздуха:

$$\frac{0,0352 \times 760}{728,5} = 0,0368 \text{ куб. м.}$$

Такъ какъ требуется удалить охлажденіемъ 95% влажности, то одному куб. м. сухого воздуха будетъ соотвѣтствовать

$$0,0368 \times 0,05 = 0,00184 \text{ куб. м. паровъ,}$$

а слѣдовательно, относительная упругость воздуха и паровъ будетъ:

$$1,00000 : 0,00184$$

или, такъ какъ сумма давленій должна быть 760 мм., то мы опредѣлимъ, что $758,6$ мм. для воздуха соотвѣтствуетъ $1,4$ мм. для влажности, а по таблицамъ найдемъ температуру -15° , соотвѣтствующую этому давленію.

Задача 12. Въ воздухѣ содержитсяъ при 30°—85% влажности. Охлажденіе производится до 0° и вода удаляется въ жидкомъ видѣ. Давленіе барометра 760 мм.

Требуется опредѣлить:

- 1) Какой процентъ всей присутствовавшей влаги будетъ удаленъ?
- 2) Какое количество тепла должно быть отнято отъ 1 куб. м., первоначально влажнаго, воздуха?
- 3) Какой процентъ влаги былъ бы удаленъ если бы температура была доведена до — 5°?
- 4) Какое количество тепла было бы поглощено въ послѣднемъ случаѣ?

Рѣшеніе. Изъ предыдущаго примѣра воспользуемся, опредѣленнымъ нами, объемомъ въ 0,0368 куб. м., для паровъ воды сопровождающихъ 1 куб. м. сухого воздуха.

Такъ какъ при 0° упругость паровъ = 4,6 мм., то въ этомъ случаѣ на 1 куб. м. сухого воздуха придется:

$$\frac{4,6}{755,4} = \frac{0,0061}{1} = 0,0061 \text{ куб. м. паровъ,}$$

и, слѣдовательно, произошла конденсація 0,0307 куб. м., т.-е.

$$\frac{0,0307 \times 100}{0,0368} = 83,4\%.$$

2) Такъ какъ на 1 куб. м. сухого воздуха приходится 0,0368 куб. м. паровъ, то въ 1 куб. м. смѣси будетъ:

0,0355 куб. м. паровъ и 0,9645 куб. м. воздуха.

Расчетъ количества тепла, которое требуется удалить, будетъ слѣдующій:

На охлажденіе воздуха:

$$0,9645 \times \frac{273}{303} \times 0,3038 \times 30 = 7,920 \text{ Cal.}$$

На охлажденіе влаги:

$$0,0355 \times \frac{273}{303} \times 0,3445 \times 30 = 0,332 \text{ »}$$

На конденсацію воды (83,4%):

$$0,0355 \times 0,834 \times \frac{273}{303} \times 0,81 \times 606,5 = 13,105 \text{ »}$$

Всего . . . 21,357 Cal.

3) Если бы температура была понижена до -5° , то соответствующее давление паровъ воды было бы 3,4 мм., а воздуха 756,6 мм., а на 1 куб. м. сухого воздуха пришлось бы:

$$\frac{3,4}{756,4} = \frac{0,0045}{1} = 0,0045 \text{ куб. м. паровъ}$$

и слѣдовательно, изъ 0,0368 куб. м. паровъ воды, сконденсировалось бы 0,0323 куб. м. или:

$$\frac{0,0323 \times 100}{0,0368} = 87,8\%$$

4) Разница въ конденсаціи противъ перваго случая будетъ:

$$87,8 - 83,4 = 4,4\%$$

но для того, чтобы достигнуть этого результата, надо поглотить значительно больше тепла, чѣмъ при охлажденіи до 0° , какъ покажетъ слѣдующій расчетъ:

Охлажденіе воздуха съ 30° до -5° :

$$0,9645 \times \frac{273}{303} \times 0,3037 \times 35 = 9,237 \text{ Cal.}$$

Охлажденіе влаги:

$$0,0355 \times \frac{273}{303} \times 0,3438 \times 35 = 0,385 \text{ »}$$

Конденсація воды (87,8%), при -5° :

$$0,03177 \times \frac{273}{303} \times 0,81 \times 605 = 14,025 \text{ »}$$

Замораживаніе воды, при -5° :

$$0,03177 \times \frac{273}{303} \times 0,81 \times 80 = 1,855 \text{ »}$$

Всего . . . 25,502 Cal.

Противъ перваго случая получается избытокъ въ 4,145 Cal. или около 20%.

Въ послѣднемъ случаѣ была бы выгода произвести охлажденіе не въ одинъ, а въ 2 приема, а именно сначала подойти къ температурѣ близкой къ 0° и спустить, образовавшуюся отъ конденсаціи воду, въ данномъ случаѣ 0,0216 кгг. на 1 куб. м. влажнаго воздуха. Далѣе ужъ произвести охлажденіе до -5° съ образованіемъ льда.

Такимъ образомъ получится экономія въ:

$$0,0216 \times 80 = 1,728 \text{ Cal.}$$

и общее поглощеніе тепла будетъ лишь

$$23,774 \text{ Cal.},$$

т.-е. противъ перваго случая—увеличеніе не болѣе какъ на 2,417 Cal. или около 11,5% вмѣсто 20%.

Другой принципъ экономичной конденсаціи влаги, заключается въ слѣдующемъ: предварительно сжимаютъ воздухъ, причемъ если онъ не былъ насыщенъ влагою, то давленіе паровъ воды сначала увеличивается, пока они не станутъ насыщать даннаго (уменьшившагося) объема, далѣе происходитъ конденсація даже, безъ пониженія температуры воздуха, если же охладить его достаточно холодной водой, то можно легко достигнуть желаемой степени сухости.

1 примѣръ. Воздухъ, обладающій при 30° влажностью въ 85%, сжимается. При какомъ эффективномъ давленіи онъ станетъ насыщеннымъ, если температура не измѣнится?

Пары воды обладаютъ, по заданію, 85% ихъ максимальной упругости, при данной температурѣ. Упругость надо довести до 100%, а слѣдовательно требуется увеличить давленіе въ отношеніи

$$\frac{100}{85} = \frac{1,177}{1},$$

т.-е. добавить 0,177 атмосферъ.

2 примѣръ. Если довести, въ предыдущемъ примѣрѣ, эффективное давленіе до 1 атмосферы, а температуру оставить безъ измѣненія, то какая часть паровъ воды сконденсируется?

До сжатія упругость паровъ была:

$$31,5 \times 0,85 = 26,8 \text{ мм.},$$

а слѣдовательно относительные объемы пара и воздуха были:

$$\frac{26,8}{733,2} = \frac{0,0367}{1}.$$

Послѣ сжатія до 2-хъ атмосферъ (1520 мм.), такъ какъ давленіе насыщающихъ паровъ будетъ 31,5 мм., то относительные объемы будутъ:

$$\frac{31,5}{1488,5} = \frac{0,0212}{1}$$

и слѣдовательно, не-сконденсированной останется:

$$\frac{0,0212 \times 100}{0,0367} = 57,8\%,$$

а поэтому сконденсируется 42,2% всего количества влаги.

Задача № 13. Воздухъ, обладающій при 30° влажностью въ 85% при барометрическомъ давленіи 730 мм., сжимается до 1 атмосферы эффективнаго давленія (760 мм. сверхъ 730) и одновременно подвергается охлажденію рѣчной водой, температурою въ 10°, требуется:

1) Опреѣлить какая часть влаги сконденсируется.

2) Сколько граммовъ воды останутся въ 1 куб. м. сухого воздуха при нормальныхъ условіяхъ (0° и 760 мм.).

Рѣшеніе:

Давленіе внѣшняго воздуха	=	730 мм.
Упругость паровъ $31,5 \times 0,85$	=	26,8 »
Собственная упругость воздуха	=	703,2 »
Относительный объемъ паровъ воды и воздуха	=	$\frac{26,8}{703,2} = \frac{0,0381}{1}$ »
Упругость сжатаго влажнаго воздуха	=	1490 »
Упругость насыщающихъ, не-сконденсир., паровъ при 10°	=	9,1 »
Собственная упругость воздуха послѣ сжатія	=	1480,9 »

Относительный объемъ не-сконденсированныхъ паровъ и сжатаго воздуха:

$$\frac{9,1}{1480,9} = \frac{0,0061}{1}.$$

Пропорція сконденсированныхъ паровъ къ предварительно со-державшимся:

$$\frac{0,0381 - 0,0061}{0,0381} = 0,84 \text{ или } 84\%.$$

2) Такъ какъ 1 куб. м. сухого воздуха (при нормальныхъ усло-віяхъ) соотвѣтствуетъ 0,0061 куб. м. паровъ воды, то ихъ вѣсъ бу-детъ:

$$0,0061 \times 0,81 = 0,00495 \text{ kgr.} = 4,95 \text{ гр.}$$

Передъ конденсаціей ихъ вѣсъ былъ:

$$0,0381 \times 0,81 = 0,0309 \text{ kgr.} = 30,9 \text{ гр.}$$

ГЛАВА VII.

Бессемеровскій процессъ.

Въ общихъ чертахъ принципъ бессемеровскаго процесса слѣ-дующій. Въ конверторъ загружаютъ нѣкоторое количество распла-вленного чугуна и черезъ него пропускаютъ воздухъ, подъ давленіемъ, для окисленія.

Углеродъ, кремній, марганецъ и, въ специальныхъ случаяхъ, фосфоръ окисляются скорѣе желѣза, являющагося конечнымъ продуктомъ дутья. Это желѣзо, добавленіемъ зеркальнаго чугуна, или ферромарганца, превращается въ сталь. Лишь небольшое количество свободного кислорода уносится газами, содержащими, главнымъ образомъ азотъ, окись углерода и нѣкоторое количество углекислоты. Отъ разложившейся воды дутья получается, кромѣ того, немного водорода въ газахъ. Въ шлакъ попадаютъ Si , Mn , P и немного Fe въ видѣ SiO^2 , MnO , P^2O^5 и FeO . Съ газами уносятся небольшія количества Fe^2O^3 , Mn^3O^4 и SiO^2 .

Вычисления могутъ дать: теоретическое количество воздуха, соответствующее одной тоннѣ чугуна, размѣры и силу воздуходувныхъ машинъ, количество образующагося шлака, балансъ матеріаловъ и тепловой балансъ, потери отъ излученія и другихъ причинъ, значеніе, какъ тепловыхъ агентовъ, различныхъ примѣсей и проч. и проч.

Количество воздуха.

Для расчета, необходимаго количества воздуха, основываются на анализѣ чугуна, превращающагося въ желѣзо. Надо также принять въ расчетъ угаръ желѣза при дутьѣ, могущій измѣняться въ широкихъ предѣлахъ (отъ 1—10⁰/₀ и выше). Si весь переходитъ въ SiO^2 , а Fe главнымъ образомъ въ FeO , но нѣкоторая часть, скажемъ не болѣе $\frac{1}{10}$, въ Fe^2O^3 .

Mn даетъ MnO и немного Mn^2O^3 , т.-е. смѣсь Mn^3O^4 съ MnO^2 (до 25⁰/₀); P образуетъ только P^2O^5 ; C большею своею частью даетъ CO , а остальною (20—50⁰/₀)— CO^2 . Иногда часть кислорода, доходящая до $\frac{1}{3}$ можетъ уйти съ газами, чаще всего эта часть меньше $\frac{1}{5}$ и можетъ совсѣмъ отсутствовать.

Задача № 14. Чугунъ для кислаго бессемеровскаго процесса имѣетъ слѣдующій анализъ: C —3,10⁰/₀; Si —0,98⁰/₀; Mn —0,40⁰/₀; P —0,101⁰/₀; S —0,06⁰/₀; Fe —95,359⁰/₀.

Предполагается, что S и P не выдѣляются, а остальные примѣси выгораютъ полностью.

Для вычисленія минимальнаго и максимальнаго количества дутья разсмотримъ слѣдующіе два случая:

	Случ. 1.	Случ. 2.
Потеря желѣза отъ окисленія ⁰ / ₀ .	1	15
Часть желѣза окисл. въ Fe^2O^3 .	0	$\frac{1}{10}$
Часть Mn окисл. въ Mn^2O^3	0	$\frac{1}{5}$
Часть C окисл. въ CO^2	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$
Часть свободно выдѣливш. кислорода. .	0	$\frac{1}{3}$

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Требуется, въ каждомъ изъ двухъ случаевъ, вычислить количество воздуха, соотвѣтствующее 1 тоннѣ чугуна, и опредѣлить его объемъ при 0° и нормальномъ давленіи.

Рѣшенія.

Случай 1. Кислородъ, соотвѣтствующій 1000 kgr. чугуна.

$$\begin{array}{rcl}
 C \text{ въ } CO^2 & . & 6,2 \times \frac{32}{12} = 16,53 \text{ kgr.} \\
 C \text{ въ } CO & . & 24,8 \times \frac{16}{12} = 33,07 \text{ »} \\
 Si \text{ въ } SiO^2 & . & 9,8 \times \frac{32}{28} = 11,20 \text{ »} \\
 Mn \text{ въ } MnO & . & 4,0 \times \frac{16}{55} = 1,16 \text{ »} \\
 Fe \text{ въ } FeO & . & 10,0 \times \frac{16}{56} = 2,86 \text{ »} \\
 \hline
 \text{Всего } O & . & 64,82 \text{ kgr.}
 \end{array}$$

Азотъ воздуха, сопровождающій кислородъ. . . 216,07 kgr.

Вѣсъ воздуха. 280,89 kgr.

Объемъ при 0° 217,2 куб. м.

Случай 2. Кислородъ, соотвѣтствующій 1000 kgr. чугуна.

$$\begin{array}{rcl}
 C \text{ въ } CO^2 & . & 15,5 \times \frac{32}{12} = 41,33 \text{ kgr.} \\
 C \text{ въ } CO & . & 15,5 \times \frac{16}{12} = 20,66 \text{ »} \\
 Si \text{ въ } SiO^2 & . & 9,8 \times \frac{32}{28} = 11,20 \text{ »} \\
 Mn \text{ въ } MnO & . & 3,2 \times \frac{16}{55} = 0,93 \text{ »} \\
 Mn \text{ въ } Mn^2O^3 & . & 0,8 \times \frac{48}{110} = 0,35 \text{ »} \\
 Fe \text{ въ } FeO & . & 135,0 \times \frac{16}{56} = 38,57 \text{ »} \\
 Fe \text{ въ } Fe^2O^3 & . & 15,0 \times \frac{48}{112} = 6,43 \text{ »} \\
 \text{Излишекъ кислорода} & & = 59,73 \text{ »} \\
 \hline
 \text{Всего кислорода} & . & 179,20 \text{ kgr.}
 \end{array}$$

Азотъ воздуха, сопровождающій *O* 597,33 kgr.

Вѣсъ воздуха. 776,53 kgr.

Объемъ при 0° 600 куб. м.

Задача № 15. Въ кислый бессемеровскій конверторъ погружено 10 тоннъ чугуна, содержащаго по анализу: *C*—2,98%, *Si*—0,94%,

Mn —0,43%, P —0,10% и S —0,06%. Послѣ дутья, продолжавшагося 9 минутъ 10 секундъ, анализъ металла далъ: C —0,04%, Si —0,02%, Mn —0,01%, P —0,11% и S —0,06%. Полученный шлакъ содержитъ: SiO_2 —63,56%, Al_2O_3 —3,01%, FeO —21,39%, Fe_2O_3 —2,63%, MnO —8,88%, CaO —0,90% и MgO —0,36%, изъ коихъ Al_2O_3 , CaO , MgO и нѣкоторая часть SiO_2 попали туда отъ развѣданія обкладки. Средній объемный анализъ газовъ былъ: CO_2 —5,20%; CO —19,91%, H_2 —1,39% и N_2 —73,50%. Объемъ, описанный поршнемъ воздухоудвки, былъ 5300 куб. м. за время дутья. Температура воздуха была 36°, давленіе барометра 756 мм. и влажность 50%.

Требуется:

- 1) Определить вѣсъ кислорода и теоретическій объемъ воздуха, при нормальныхъ условіяхъ, соответствующій 1 тоннѣ чугуна.
- 2) Объемъ воздуха при условіяхъ заданія и коэффициентъ полезнаго дѣйствія воздухоудвки.
- 3) Вѣсъ шлака и развѣданіе обкладки.

Рѣшеніе.

1) Постороннія примѣси къ желѣзу послѣ дутья настолько невелики, что, не дѣлая большой ошибки, можно вычислить ихъ вѣсъ, относя ихъ процентное содержаніе не къ вѣсу окончательнаго продукта, а къ чугуну. Само собою разумѣется, что если бы отъ этого произошла значительная разница, то пришлось бы рѣшить задачу путемъ постепеннаго приближенія. Дѣлая подобнаго рода допущеніе, намъ сразу становится извѣстнымъ количество окислившихся: C , Si и Mn , но количество Fe , перешедшаго въ шлакъ, подъ видомъ FeO и Fe_2O_3 , определится посредствомъ пропорціи, такъ какъ, зная анализъ шлака, намъ извѣстно отношеніе между вѣсами Mn и Fe (закиси и окиси). Пользуясь также извѣстнымъ количествомъ Mn , поступившимъ въ шлакъ, мы определимъ (при рѣшеніи пункта 3) вѣсъ шлака, соответствующій 1 тоннѣ чугуна:

Согласно анализа шлака въ немъ содержится:

MnO	. . .	8,88% или 6,88% Mn
FeO	. . . .	21,39% или 16,64% Fe (закиси)
Fe_2O_3	. . .	2,63% или 1,84% Fe (окиси).

А такъ какъ потеря Mn составляетъ 0,42% (съ вѣса чугуна), т.-е. 42 kgr., то соответствующія потери для Fe (закиси и окиси) будутъ:

$$42 \times \frac{16,64}{6,88} = 101,8 \text{ kgr. для } Fe \text{ въ } FeO$$

$$42 \times \frac{1,84}{6,88} = 11,2 \text{ kgr. для } Fe \text{ въ } Fe_2O_3$$

113,0 kgr. общая потеря желѣза.

Опредѣлимъ теперь какое количество углерода, изъ выгорѣвшихъ 2,94% (съ вѣса чугуна), т.-е. 294 kgr., превратилось въ CO и какое въ CO^2 .

Согласно объемному анализу газа, отношеніе между CO^2 и CO (или, что то же, отношеніе между соотвѣтствующими C) будетъ какъ

$$5,20 : 19,91,$$

а слѣдовательно:

$$294 \times \frac{520}{2511} = 61 \text{ kgr. для } C \text{ въ } CO^2$$

$$294 \times \frac{1991}{2511} = 233 \text{ kgr. для } C \text{ въ } CO.$$

Кромѣ того Si выгоритъ 0,92%, т.-е. 92 kgr., такъ что всего изъ 10000 kgr. чугуна выгоритъ:

C	294 kgr.	(распредѣл. выше)
Si	92 »	
Mn	42 »	
Fe	113 »	(распредѣл. выше)

Всего 541 kgr.

Остающаяся металлич. ванна. 9459 »

Всего было погружено чугуна. 10000 kgr.

Само собою разумѣется, что если бы количества постороннихъ примѣсей въ металлической ваннѣ были бы значительны, то найдя, какъ выше было указано, ея приближенный вѣсъ, можно было бы, новымъ приближеніемъ, достигнуть болѣе точнаго результата, этого однако, въ большинствѣ случаевъ, не требуется.

Количество кислорода, участвующаго въ процессѣ, опредѣлится слѣдующимъ образомъ:

$$\text{Окисленіе } C \text{ въ } CO^2 61 \times \frac{8}{3} = 162,7 \text{ kgr.}$$

$$\text{» } C \text{ въ } CO 233 \times \frac{4}{3} = 310,7 \text{ »}$$

$$\text{» } Si \text{ въ } SiO^2 92 \times \frac{32}{28} = 105,1 \text{ »}$$

$$\text{» } Mn \text{ въ } MnO 42 \times \frac{16}{55} = 12,2 \text{ »}$$

$$\text{» } Fe \text{ въ } FeO 101,8 \times \frac{16}{56} = 29,1 \text{ »}$$

$$\text{» } Fe \text{ въ } Fe^2O^3 11,2 \times \frac{48}{112} = 4,8 \text{ »}$$

Всего кислорода = 624,6 kgr.

Соотвѣтствующій азотъ = 2082,0 »

Вѣсъ сухого воздуха = 2706,6 »

Его объемъ при 0° = 2093 куб. м.

Слѣдовательно, 1 тонна чугуна соотвѣтствуетъ 62,46 kgr. кислорода, чему соотвѣтствуетъ 209,3 куб. м. воздуха при нормальныхъ условіяхъ.

2) Объемъ воздуха, дѣйствительно прошедшаго черезъ конверторъ (при условіяхъ заданія) опредѣлится слѣдующимъ образомъ.

Вѣсъ углерода въ 1 куб. м. газовъ:

$$(0,0520 + 0,1991) \times 0,54 = 0,1356 \text{ kgr.}$$

А такъ какъ всего сожжено 294 kgr. C, то объемъ газовъ (при нормальныхъ условіяхъ) будетъ:

$$\frac{294}{0,1356} = 2168 \text{ куб. м.}$$

Согласно анализа въ нихъ содержится азота:

$$2168 \times 0,7350 = 1593,5 \text{ куб. м.,}$$

а по вѣсу:

$$1593,5 \times 1,26 = 2008 \text{ kgr.}$$

Замѣтимъ между прочимъ, что это немного менѣе тѣхъ 2082 kgr. азота, которые теоретически сопровождали воздухъ, производящій окисленіе въ конверторѣ.

Вычислимъ теперь количество азота, заключенное въ 1 куб. м. воздуха, при условіяхъ заданія:

Барометрическое давленіе	= 756 mm.
Упругость паровъ воды ($44 \times 0,50$)	= 22 »
Упругость самаго воздуха	= 734 »
Упругость азота ($734 \times 0,792$)	= 580 »

Вѣсъ азота въ 1 куб. м. воздуха:

$$1,26 \times \frac{273}{273 + 36} \times \frac{580}{760} = 0,8495 \text{ kgr.}$$

Откуда выводимъ объемъ воздуха, дѣйствительно прошедшаго черезъ конверторъ, при условіяхъ заданія:

$$\frac{2008}{0,8495} = 2364 \text{ куб. м.}$$

А слѣдовательно, коэффициентъ полезнаго дѣйствія воздуходувки будетъ:

$$\frac{2364}{5300} = 0,446 \text{ или } 44,6\%.$$

3) Количество шлака вычислится по сравненію съ Mn, Намъ извѣстно, что 42 kgr. Mn попали въ шлакъ, содержащій 6,88% Mn, слѣдовательно, вѣсъ шлака будетъ:

$$\frac{42}{0,0688} = 610 \text{ kgr.}$$

Далѣе мы получимъ:

Вѣсъ SiO^2 въ шлакѣ ($610 \times 0,6356$)	= 388 kgr.
SiO^2 попавшій изъ чугуна ($92 + 105$)	= 197 »
SiO^2 изъ разѣденной обкладки	= 191 kgr.
CaO , Al^2O^3 и MgO изъ обкладки ($610 \times 0,0427$)	= 26 »
Потеря въ вѣсѣ обкладки	= 217 kgr.

Давленіе дутья.

Вдуваемый воздухъ долженъ имѣть достаточное давленіе, чтобы осилить статическое давленіе металлической ванны и покрывающаго ее шлака, а также пріобрѣсти достаточную скорость и побороть треніе въ фурмахъ и противодавленіе въ самомъ конверторѣ, при выходѣ воздуха наружу.

Въ маленькихъ конверторахъ, съ фурмами расположенными не глубоко, достаточно иногда 50—100 мм. давленія ртутнаго столба, но въ современныхъ конверторахъ требуется отъ 1—2 атмосферъ, и мы займемся только разсмотрѣніемъ послѣдняго случая.

Глубина металлической ванны обыкновенно отъ 30—60 см., а покрывающаго его шлака, въ кислотъ процессѣ, отъ 3—12 см. а въ основномъ отъ 9—42 см. Зная внутренній діаметръ конвертора, можно рассчитать глубину ванны, пользуясь для удѣльнаго вѣса расплавленнаго чугуна цифрой 6,88 (данной Робертсомъ и Вraithстономъ), а для шлака можно взять половину, т.-е. 3,44. Такимъ образомъ, не трудно рассчитать, что на каждый сантиметръ глубины металла статическое давленіе будетъ 0,00688 kgr. на кв. см., а на каждый сантиметръ шлака—половина этого давленія, т.-е. 0,00344 kgr. на кв. см.

Противодавленіе газовъ въ конверторѣ надъ ванной и при выходѣ наружу зависитъ отъ многихъ причинъ, но для вычисленія его мы воспользуемся лишь обыкновенной формулой для истеченія жидкостей

$$h = \frac{v^2}{2g},$$

гдѣ h —высота давящаго столба нагрѣтаго газа (въ метрахъ) на 1 кв. м., v^2 —квадратъ скорости истеченія въ секунду (тоже въ метрахъ), а $2g = 19,62$ (удвоенное ускореніе силы тяжести въ метрахъ).

Зная же удѣльный вѣсъ нагрѣтаго газа (d_t), легко перейти и къ давленію, выраженному въ kgr. на кв. см.:

$$\frac{h \cdot d_t}{10000}.$$

Примѣръ. Черезъ выходное отверстіе конвертора, діаметромъ въ 60 см., вырывается 2168 куб. м. газа (при нормальныхъ условіяхъ), вѣсомъ въ 1,283 kgr.—1 куб. м. (тоже при нормальныхъ условіяхъ).

Ихъ температура 1500° и дутье продолжалось 9 мин. 10 сек.; требуется опредѣлить противодавление этихъ газовъ?

Рѣшеніе.

Объемъ газовъ при 1500°:

$$2168 \times \frac{1500 + 273}{273} = 14080 \text{ куб. м.}$$

Что составляетъ въ 1 секунду:

$$\frac{14080}{550} = 25,6 \quad \gg$$

Площадь выпускного отверстія:

$$0,36 \times 0,7854 = 0,28275 \text{ кв. м.}$$

Скорость истечения (коэффиц.—0,9):

$$\frac{25,6}{0,9 \times 0,28275} = 100,6 \text{ м.}$$

Давленіе (выраженное въ столбѣ газа):

$$h = \frac{100,6 \times 100,6}{19,62} = 515,8 \quad \gg$$

Давленіе этого столба на 1 кв. м.:

$$515,8 \times \frac{273}{1773} \times 1,283 = 102 \text{ kgr.}$$

Давленіе на 1 кв. см.

$$= 0,0102 \quad \gg$$

или 7,5 мм. ртутнаго столба.

Давленіе, которое слѣдуетъ придать воздуху для прохода съ извѣстною скоростью черезъ фурмы, опредѣлится посредствомъ слѣдующей формулы:

$$h = \frac{v^2}{2g} \times \frac{KL}{D}.$$

Въ которой буквы *K*, *L* и *D* имѣютъ слѣдующія значенія:

K—практическій коэффицентъ, который по Грасгофу = 0,05;

L—длина фурмы (въ метрахъ);

D—діаметръ фурменнаго отверстія (тоже выраженного въ метрахъ).

Значеніе остальныхъ буквъ то же, что и въ предыдущемъ случаѣ.

Задача № 16. Внутренній діаметръ 10-тоннаго конвертора задачи № 15—2 метра. Дутье продолжается, какъ было упомянуто, 9 мин. 10 сек. Объемъ вдуваемаго воздуха при 36°—2364 куб. м., а коли-

чество образовавшагося шлака 610 kgr. Всего имѣется 14 фурмъ съ 11 отверстіями въ каждой.

Длина фурмъ 60 см., діаметръ каждаго изъ отверстій 13 мм. Допустимъ, что противодавленіе въ конверторѣ (какъ было опредѣлено выше) 0,0102 kgr. на 1 кв. см., и что давленіе воздуха въ регулирующемъ резервуарѣ при воздуходувкѣ 1,9 kgr. на кв. см. Воздухъ поступаетъ въ фурмы при 150°.

ТРЕБУЕТСЯ:

- 1) Давленіе, вызываемое металлической ванной и шлакомъ.
- 2) Давленіе, поглощаемое треніемъ въ фурмахъ.
- 3) Давленіе, идущее на придачу скорости воздуху въ фурмахъ.
- 4) Потеря давленія между резервуаромъ и конверторомъ.
- 5) Распредѣленіе давленія.
- 6) Какова была бы продолжительность дутья, если бы давленіе было уменьшено до 1,4 kgr. на кв. см.
- 7) Какова была бы продолжительность дутья, если бы давленіе осталось по-прежнему 1,9 kgr., но количество фурмъ было увеличено съ 14 на 21 (на 50%), при чемъ отверстія въ каждой остались бы тѣ же съ діаметромъ = 13 мм.

РѢШЕНІЕ:

- 1) Объемъ, занимаемый 10 тоннами чугуна, будетъ:

$$\frac{10}{6,88} = 1,45 \text{ куб. м.},$$

а, слѣдовательно, при внутреннемъ діаметрѣ конвертора въ 2 м. глубина ванны будетъ:

$$\frac{1,45}{4 \times 0,7854} = 0,4616 \text{ м. или } 46,16 \text{ см.},$$

что дастъ для статическаго давленія:

$$46,16 \times 0,00688 = 0,3176 \text{ kgr. на кв. см.}$$

Объемъ шлака, который образуется въ теченіе первой половины дутья, почти полностью:

$$\frac{0,610}{3,44} = 0,177 \text{ куб. м.}$$

А его глубина:

$$\frac{0,177}{3,1416} = 0,0564 \text{ м. или } 5,64 \text{ см.}$$

Откуда опредѣляется статическое давленіе:

$$5,64 \times 0,00344 = 0,0194 \text{ kgr. на кв. см.}$$

Среднее статическое давление отъ обѣихъ причинъ будетъ нѣсколько меньше ихъ суммы, т.-е. 0,3370 kgr., такъ какъ давление постепенно поднимается въ теченіе первой половины дутья, а затѣмъ измѣняется лишь мало,— оно будетъ приблизительно:

$$\frac{0,3176 + 0,3370}{4} + \frac{0,3370}{2} = 0,3322 \text{ kgr.}$$

2) Черезъ каждое изъ $14 \times 11 = 154$ фурменныхъ отверстій проходить въ теченіе 1 секунды (при 36°):

$$\frac{2364}{154 \times 550} = 0,02791 \text{ куб. м.,}$$

что составитъ при 150° :

$$0,02791 \times \frac{273 + 150}{273 + 36} = 0,0382 \text{ куб. м.,}$$

а, слѣдовательно, скорость внутри фурменнаго отверстия будетъ:

$$\frac{0,0382}{0,013 \times 0,013 \times 0,7854} = 287,8 \text{ м. въ секунду.}$$

Примѣняя формулу

$$h = \frac{v^2}{2g} \times \frac{KL}{D}$$

къ данному случаю, мы получимъ для потери отъ тренія (въ метрахъ нагрѣтаго до 150° воздуха):

$$h = \frac{287,8 \times 287,8}{19,62} \times \frac{0,05 \times 0,60}{0,013} = 9742 \text{ м.}$$

Далѣе мы произведемъ слѣдующій маленькій расчетъ:

$$\begin{array}{l} \text{Вѣсъ 1 куб. м. воздуха при } 0^\circ = 1,293 \text{ kgr.} \\ \text{» 1 » » » } 150^\circ = 0,8345 \text{ »} \end{array}$$

Вѣсъ столба воздуха (основаніе 1 кв. м.):

$$\begin{array}{ll} 9742 \times 0,8345 & = 8129 \text{ kgr.} \\ \text{Давленіе на 1 кв. см.} & = 0,8129 \text{ »} \end{array}$$

3) Давленіе, идущее исключительно на придачу скорости въ фурмахъ, будетъ очевидно:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{287,8 \times 287,8}{19,62} = 4222 \text{ м. (воздушнаго столба)}$$

или въ kgr. на кв. м.

$$4222 \times 0,8345 = 3523,$$

а, слѣдовательно, на 1 кв. см.

$$0,3523 \text{ kgr.}$$

4) Сложивъ между собою всѣ полученныя выше давленія и вычтя ихъ изъ 1,9 kgr., получимъ то давленіе, которое расходуется между регулирующимъ резервуаромъ при воздуходувкѣ и входомъ въ конверторъ; это будетъ:

$$1,9 - (0,3322 + 0,8129 + 0,3523 + 0,0102) = 0,3924 \text{ kgr.}$$

5) Распредѣленіе давленія выразится въ слѣдующемъ видѣ:

	kg. на 1 кв. см.	%
Потеря до входа въ конверторъ . . .	0,3924	20,65
» отъ тренія въ фурмахъ . . .	0,8129	42,79
» » скорости въ фурмахъ	0,3523	18,54
» » статическаго давленія	0,3322	17,48
» при выходѣ изъ конвертора .	0,0102	0,54
Всего :	<u>1,9000</u>	<u>100,00</u>

6) Всѣ потери давленія пропорціональны квадрату скорости газовъ, за исключеніемъ вызванной статическимъ давленіемъ металлической ванны и шлака, остающейся постоянной $u = 0,3322 \text{ kgr.}$

Если бы давленіе дутья было уменьшено до 1,4 kgr., то на потери, связанныя со скоростью газовъ, осталось бы: $1,4 - 0,3322 = 1,0678 \text{ kgr.}$, вмѣсто прежнихъ: $1,9 - 0,3322 = 1,5678 \text{ kgr.}$ Легко понять, что количества воздуха будутъ пропорціональны квадратнымъ корнямъ этихъ давленій, т.-е.:

$$\sqrt{1,5678} : \sqrt{1,0678} = 1 : 0,8253,$$

а, слѣдовательно, время дутья, которое въ первомъ случаѣ было 550 секундъ, теперь станетъ больше въ отношеніи $\frac{1}{0,8253}$, т.-е.:

$$\frac{550}{0,8253} = 666 \text{ сек.} = 11 \text{ мин. } 6 \text{ сек.}$$

7) Если площадь фурменныхъ отверстій увеличить на 50%, то очевидно, при томъ же количествѣ воздуха, скорость его прохода уменьшится на одну треть $\left(1 - \frac{1}{1,5} = \frac{1}{3}\right)$ и станетъ $\frac{2}{3}$ прежней скорости, давленія же, зависящія отъ квадрата новой скорости, станутъ 0,4444 прежнихъ величинъ, т.-е. получится уменьшеніе на 0,5555 ихъ величины.

Всего въ фурмахъ поглощалось въ первомъ случаѣ: $0,3523 + 0,8129 = 1,1652 \text{ kgr.}$, во второмъ же случаѣ поглотится на $0,5555 \times$

$\times 1,1652 = 0,6473$ kgr. меньше, т.-е. всего 0,5179 kgr. Такимъ образомъ во второмъ случаѣ достаточно имѣть не 1,9 kgr. давленія, а

$$1,9 - 0,6473 = 1,2527.$$

Исключивъ отсюда тѣ 0,3322 kgr., которые являются постоянной потерей давленія, независимой отъ скорости газовъ, получимъ:

$$1,2527 - 0,3322 = 0,9205 \text{ kgr.}$$

Въ первомъ случаѣ мы имѣли:

$$1,9 - 0,3322 = 1,5678 \text{ kgr.}$$

Если мы теперь допустимъ, что и во второмъ случаѣ давленіе будетъ 1,9 kgr. вмѣсто тѣхъ 1,2527 kgr., которые дозволили бы окончить операцію въ 9 мин. 10 сек., то время дутья отъ этого сократится въ отношеніи

$$\sqrt{0,9205} : \sqrt{1,5678} = 1 : 1,305$$

и станетъ вмѣсто 550 секундъ:

$$\frac{550}{1,305} = 421 \text{ сек.} = 7 \text{ мин. } 1 \text{ сек.}$$

Флюсы и шлаки.

Въ кисломъ бессемеровскомъ процессѣ не пользуются никакими флюсами, такъ такъ обкладка конвертора разъѣдается получаемыми окислами, образуя сильно кремнистый шлакъ. Расчетъ количества шлака производится по сравненію съ *Mn*, а опредѣливъ вѣсъ шлака и зная его составъ легко вычислить вѣсъ разъѣденной части обкладки.

Въ основномъ (томассовскомъ) процессѣ можно основать расчетъ шлака на количествѣ поглощеннаго имъ фосфора, а также на марганцѣ и кремніи. Обкладка доломитовая, разъѣдается и по количеству попавшей магнезій—*MgO* судятъ о вѣсѣ разъѣденной части. Во время процесса добавляется нѣкоторое количество флюса—обожженной извести, но точное количество прибавленнаго *CaO* трудно знать, такъ какъ часть его выдувается.

Шлакъ стараются получить сильно основной (болѣе 50% *CaO*), въ которомъ бы *SiO₂* было менѣе 15%, а фосфорной кислоты—*P₂O₅* менѣе 20%.

Примѣръ. Въ Томассовскомъ конверторѣ погружено 10 т. чугуна, содержащаго: *Si*—1,22%, *P*—2,18%, *Mn* 1,03%, *C*—3,21%. Во время дутья окисляется 2,00% *Fe*. Добавляется нѣкоторое коли-

чество обожженной извести, содержащей: MgO —1,00%, SiO^2 —2,00% и CaO —97,00%.

Какое количество извести требуется добавить?

Назовемъ черезъ x количество добавленной извести. Въ составъ шлака войдутъ:

$$\begin{aligned} SiO^2 & . . . 10000 \times 0,0122 \times \frac{60}{28} = 261,4 \text{ kgr.} \\ P^2O^5 & . . . 10000 \times 0,0218 \times \frac{142}{62} = 499,3 \text{ »} \\ MnO & . . . 10000 \times 0,0103 \times \frac{71}{55} = 133,0 \text{ »} \\ FeO & . . . 10000 \times 0,0200 \times \frac{72}{56} = 257,1 \text{ »} \\ \left\{ \begin{array}{l} CaO . . . \\ MgO . . . \\ SiO^2 . . . \end{array} \right. & \begin{array}{l} x \times 0,9700 \\ x \times 0,0100 \\ x \times 0,0200 \end{array} = \begin{array}{l} 0,97x \\ 0,01x \\ 0,02x \end{array} \\ & \text{Вѣсь шлака} = 1150,8 + x \end{aligned}$$

Но въ виду развѣданія обкладки количество шлака увеличится, положимъ, процентовъ на 5, при чемъ можно отнести половину увеличения на долю MgO , а другую на долю CaO .

Общій вѣсь шлака будетъ

$$1208,3 + 1,05x,$$

а главныя его составныя части:

$$\begin{aligned} SiO^2 & = 261,4 + 0,02x \\ MgO & = 28,75 + 0,035x \\ CaO & = 28,75 + 0,995x \end{aligned}$$

Для того чтобы получить шлакъ съ 50% CaO , надо опредѣлить x изъ уравненія:

$$28,75 + 0,995x = 0,50(1,05x + 1208,3),$$

откуда

$$x = \frac{575,4}{0,470} = 1224 \text{ kgr.}$$

Чтобы получить шлакъ, содержащій 15% SiO^2 :

$$261,4 + 0,02x = 0,15(1,05x + 1208,3),$$

откуда

$$x = \frac{80,155}{0,1375} = 583 \text{ kgr.}$$

Чтобы, наконецъ, получить шлакъ съ 20% P^2O^5 , надо имѣть:

$$499,3 = 0,20(1,05x + 1208,3),$$

откуда

$$x = \frac{257,64}{0,21} = 1227.$$

Возьмемъ, слѣдовательно, наибольшее значеніе для x и прибавимъ къ нему 10% на потери отъ дутья, это дастъ 1350 кгг. извести.

Процентный же составъ шлака будетъ:

CaO	. . .	1250 кгг.	=	50,1%
MgO	.	72	»	= 2,9
SiO^2	. . .	286	»	= 11,4
P^2O^5		499	»	= 20,0
FeO		257	»	= 10,3
MnO		133	»	= 5,3
Всего:		2497 кгг.	=	100,0%

Добавочный углеродъ.

По окончаніи дутья металлическая ванна представляетъ изъ себя почти чистое желѣзо. Тогда добавляется нѣкоторое количество зеркальнаго чугуна для полученія добавочнаго C и Mn . Если бы не было потерь отъ выгорания добавленныхъ C и Mn , то расчетъ былъ бы весьма простъ, однако въ дѣйствительности всегда получаютъ потери и было бы весьма интересно опытнымъ путемъ, подкрѣпленнымъ соотвѣтствующими вычисленіями, установить при какихъ условіяхъ какіе получаютъ результаты.

Задача № 17. По окончаніи дутья въ конверторѣ задачи № 15 остается 9459 кгг. металла извѣстнаго намъ состава, а именно: C —0,04%, Si —0,02%, Mn —0,01%, P —0,11%, S —0,06% и неизвѣстное количество O (вѣроятно $\angle 0,3\%$) остальное— Fe . Сюда добавляется 1100 кгг. зеркальнаго чугуна, содержащаго: C —4,64%, Si —0,035%, Mn —14,90% и P —0,139%. Въ окончательномъ продуктѣ имѣется по анализу: C —0,45%, Si —0,038%, Mn —1,15%, P —0,109 и S —0,059%.

Предположимъ, что нѣтъ окисленія желѣза.

ТРЕБУЕТСЯ:

- 1) Балансъ матеріаловъ.
- 2) Какая часть C и Mn попадаетъ въ сталь?

РѢШЕНІЕ:

1) Балансъ матеріаловъ:

	Металлич. ванна.	Зеркальн. чугунъ.	Сталь.	Потеря.
<i>C</i> . . .	3,8	51,0	47,2	7,6
<i>Si</i> . . .	1,9	0,4	4,0	—1,7
<i>Mn</i> . . .	1,0	163,9	121,0	43,9
<i>P</i> . . .	10,4	1,5	11,5	0,4
<i>S</i> . . .	5,7	—	6,2	—0,5
<i>Fe</i> . . .	9436,2	883,2	10319,4	—
Всего . . .	9459,0	1100,0	10509,3	49,7

2) Относительная пропорція *C* и *Mn* попадающая въ сталь:

$$C = \frac{47,2}{54,8} = 0,86 \text{ или } 86\%$$

$$Mn = \frac{121,0}{164,9} = 0,73 \text{ » } 73\%$$

Если бы *C* и *Mn* полностью попали въ сталь, то она содержала бы:

$$C . . . 0,52\%, \text{ а } Mn . . . 1,57\% \text{ вмѣсто:}$$

$$C . . . 0,45\% \text{ » , а } Mn . . . 1,15\% \text{ »}$$

$$\text{Потеря: } C . . . 0,07\%, \text{ а } Mn . . . 0,42\%$$

Если предположить, что эта потеря *C* и *Mn* произошла отъ раствореннаго въ металлической ваннѣ кислорода, дающаго *CO* и *MnO*, то процентное содержаніе этого кислорода будетъ:

$$\text{для окисленія } C . . . 0,07 \times \frac{16}{12} = 0,10\%$$

$$\text{» » } Mn . . . 0,42 \times \frac{16}{55} = 0,12\%$$

$$\text{Всего раствореннаго кислорода} = 0,22\%$$

ГЛАВА VIII.

Термохимія бессемеровскаго процесса.

Весь процессъ происходитъ за счетъ окисленія части содержащихся въ чугунѣ элементовъ.

Составъ чугуна колеблется въ слѣдующихъ предѣлахъ:

<i>Fe</i> .	90,0	до	95,0%
<i>C</i> .	2,5	»	4,5 »
<i>Mn</i> .	0,5	»	4,0 »
<i>Si</i>	0,5	»	4,0 »
<i>P</i> .	0,01	»	4,0 »
<i>S</i> . . .	0,01	»	0,5 »

Кромѣ того изрѣдка попадаютъ въ небольшихъ количествахъ: *Ni, Ti, Al, V, W, Cu* и *Zn*.

Въ кислomъ бессемеровскомъ процессѣ: *C, Mn, Si* и *Fe* окисляются свободно, но *P* и *S* почти не выгораютъ. Въ основномъ, томассовскомъ, процессѣ кромѣ того окисляется *P*, а *S* лишь въ небольшомъ количествѣ и тѣмъ болѣе, чѣмъ больше *Mn* въ шлакѣ.

Въ концѣ процесса желѣзо подвергается гораздо болѣе дѣятельному окисленію, чѣмъ пока имѣются на-лицо постороннія примѣси и, если во время не остановить дутье, то можетъ получиться значительная потеря его.

Большая часть *Fe* переходитъ въ *FeO*, небольшая въ *Fe²O³*, при слишкомъ продолжительномъ дутьѣ—бурое облако, подымающееся съ газами, содержитъ *Fe²O³*.

На каждый *kg.* *Fe* приходится слѣдующее количество тепла;

Окисленіе <i>Fe</i> въ <i>FeO</i> . . .	1173 Cal.
» » » <i>Fe³O⁴</i> . . .	1612 »
» » » <i>Fe²O³</i> . . .	1746 »

Углеродъ окисляется главнымъ образомъ въ *CO*, но нѣкоторая часть его, въ особенности въ началѣ процесса, переходитъ въ *CO²*. Отношеніе $\frac{CO}{CO^2}$ (объемное) есть также и отношеніе между вѣсами углерода, соотвѣтственно сгораемыми, въ *CO* и *CO²*. При неглубокой ваннѣ получается больше *CO²*, чѣмъ при глубокой.

При сгораніи 1 *kg.* *C* выдѣляется:

Окисленіе <i>C</i> въ <i>CO</i> . . .	2430 Cal.
» <i>C</i> » <i>CO²</i> . . .	8100 »

Марганецъ главнымъ образомъ даетъ *MnO*, но также въ небольшомъ количествѣ, при усиленномъ дутьѣ, *Mn²O³* (смѣсь *Mn³O⁴* и *MnO²*), попадающій въ шлакъ и уносимый газами. На 1 *kg.* *Mn* выдѣляется:

Окисленіе <i>Mn</i> въ <i>MnO</i> . . .	1653 Cal.
» » » <i>Mn³O⁴</i> . . .	1988 »
» » » <i>Mn²O³</i> . . .	2060 » (предположительно)
» » » <i>MnO²</i> . . .	2278 »

Кремнеземъ быстро окисляется въ SiO^2 , но количество выдѣляемой при этомъ теплоты еще не вполне точно извѣстно.

Часто берется цифра въ 7830 Cal. на 1 kg. Si , но измѣренія Бертелло дали 6414 Cal., а Поттеръ нашелъ въ 1907 г. для кристаллическаго кремня 7595 Cal.

Пока что будемъ пользоваться приближеннымъ значеніемъ для выдѣленной теплоты:

Окисленіе Si въ SiO^2 . . . 1700 Cal. на 1 kg. Si .

Фосфоръ (въ основномъ процессѣ) окисляется въ фосфорную кислоту P^2O^5 и переходитъ подъ видомъ фосфорнокислаго кальція въ шлакъ къ концу процесса:

Окисленіе P въ P^2O^5 . . .	5892 Cal. на 1 kg. P
Образованіе ($3CaO, P^2O^5$). . .	2571 » » 1 » P
Всего . . .	8463 Cal. на 1 kg. P

Сѣра совсѣмъ не выдѣляется въ кислотъ процессѣ, а въ основномъ, къ самому концу, уносится въ небольшомъ количествѣ, подъ видомъ SO^2 , газами.

Количества теплоты, выдѣляемая при окисленіи 1 kg. нижеслѣдующихъ металловъ, за исключеніемъ Ni , Al и Zn , лишь предположительны:

Ni въ NiO . . .	1051 Cal.
Ti » TiO^2 . . .	5000 » (?)
Al » Al^2O^3 . . .	7272 »
Zn » ZnO . . .	1305 »
V » V^2O^5 . . .	2000 » (?)
W » WO^3 . . .	1000 » (?)
Cr » Cr^2O^3 . . .	3000 » (?)

Тепловой балансъ.

Статьи прихода тепла:

Теплота въ самомъ конверторѣ при началѣ.

- » » расплавленномъ чугунѣ.
- » » добавляемомъ зеркальномъ чугунѣ или ферро-марганцѣ.
- » » добавл. горячей обожженной извести (иногда въ Томассовскомъ процессѣ).
- » приносимая дутьемъ (нагрѣтомъ отъ сжиманія).
- » выдѣляемая окислительными реакціями.
- » отъ образованія шлака.

Статьи расхода тепла:

Теплота въ самомъ конверторѣ при окончаніи.

- » » стали.
- » » шлакѣ.
- » » газахъ.
- » » пыли.
- » » унесенныхъ дутьемъ: шлакѣ и металлѣ.
- » поглощенная диссоціаціей влаги дутья.
- » » химическимъ разъединеніемъ частей.
- » уносимая теплопроводностью опоръ и проч.
- » » циркулирующимъ воздухомъ (конвекціей).
- » » излученіемъ.

Статьи прихода тепла:

Теплота въ самомъ конверторѣ при началѣ.

Если конверторъ только что начинаетъ работать, то его предварительно разогреваютъ изнутри какимъ-либо горючимъ, доводя внутреннюю температуру стѣнокъ до ярко-краснаго каленія, т.-е. до 900—1000°. Наружная оболочка будетъ примѣрно имѣть 200°, а средняя температура обкладки, положимъ 400°.

Если конверторъ только-что былъ въ употребленіи и по окончаніи процесса начнется новое дутье, то можно допустить, что статьи прихода и расхода одинаковы и не дѣлать подсчета.

Примѣръ: Пусть вѣсь пустого конвертора будетъ 25 тоннъ, изъ коихъ 5 тоннъ желѣза и 20 тоннъ кремнистой обкладки. Средняя теплоемкость желѣза между 0° и t° будучи:

$$0,11012 + 0,000025t + 0,0000000547t^2,$$

а для кремнезема:

$$0,1833 + 0,000077t$$

вычислить количество тепла, заключенное въ конверторѣ при слѣдующихъ условіяхъ:

1) При началѣ задувки, когда средняя температура стѣнокъ 400°, а наружная температура оболочки 200°.

2) При нормальной работѣ, когда средняя температура стѣнокъ 725°, а наружная температура оболочки 300°.

Рѣшеніе:

1) Средняя теплоемкость между 0° и 200° для желѣза:

$$0,11012 + 0,000025(200) + 0,0000000547(200)^2 = 0,11731.$$

Количество тепла въ 5000 kgr. желѣза:

$$0,11731 \times 200 \times 5000 = 117 \cdot 310 \text{ Cal.}$$

Средняя теплоемкость между 0° и 400° для кремнистой обкладки:

$$0,1833 + 0,000077(400) = 0,2141.$$

Количество тепла въ 20000 kgr. обкладки:

$$0,2141 \times 400 \times 20000 = 1 \cdot 712 \cdot 800 \text{ Cal.}$$

Общее количество тепла будетъ:

$$117 \cdot 310 + 1 \cdot 712 \cdot 800 = 1 \cdot 830 \cdot 110 \text{ Cal.}$$

2) Поступая аналогично, мы получимъ:

Количество тепла въ желѣзѣ:

$$0,12354 \times 300 \times 5000 = 185 \cdot 310 \text{ Cal.}$$

Количество тепла въ обкладкѣ:

$$0,2391 \times 725 \times 20000 = 3 \cdot 466 \cdot 950.$$

Общее количество тепла въ конверторѣ во второмъ случаѣ:

$$3 \cdot 652 \cdot 260 \text{ Cal.}$$

Тепло въ расплавленномъ чугуна. Оно, само собою разумѣется, зависитъ отъ температуры, при которой чугуна поступаетъ въ конверторъ. Если чугуна содержитъ много Si , то можно пользоваться и значительно остывшимъ чугуномъ. Обыкновенно на 1 kgr. чугуна приходится 250—350 Cal., въ среднемъ 300 Cal. Опытнымъ путемъ не трудно, въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, опредѣлить количество единицъ тепла точнѣе.

Теплота въ добавляемомъ зеркальномъ чугуна или ферромарганца. Въ среднемъ можно положить, что 1 kgr. зеркальнаго чугуна приноситъ 275 Cal. (отъ 250—300). Ферро-марганецъ часто добавляется въ раскаленномъ видѣ, т.-е. имѣя температуру 800—900°, положивъ его теплоемкость = 0,15, мы получимъ отъ 120—135 Cal. на 1 kgr.

Теплота въ добавляемой горячей обожженной извести (томасовскій процессъ). Средняя теплоемкость CaO между 0° — t° — $0,1715 + 0,00007 t$, что дастъ при 700° —154 Cal. на 1 kgr., а при 900° —211 Cal.

Теплота приносимая дутьемъ. Несмотря на то, что дутье въ бессемеровскомъ процессѣ не подогревается, оно все же довольно го-

рячее въ виду высокаго давленія, требующаго сильнаго сжатія въ цилиндрахъ воздухоудвки. При эффективномъ давленіи въ 1 атмосферу температура повышается градусовъ на 60, а при 2-хъ атмосферахъ на 103°. Несмотря на то, что часть теплоты теряется, все же воздухъ достигаетъ фурмъ, имѣя температуру градусовъ на 25—50 выше внѣшней.

Теплота выдѣляемая окислительными реакціями. Зная количества окисляющихся веществъ, не трудно вычислить и выдѣляемую теплоту.

Теплота образованія шлака. При образованіи шлака выдѣляется тепло отъ химическаго соединенія нѣкоторыхъ окисловъ между собою. Объ образованіи силиката алюминія намъ безпокоиться нечего, такъ какъ онъ уже находится въ готовомъ видѣ въ обкладкѣ, а въ основномъ процессѣ—и въ добавляемой извести. То же самое можетъ быть сказано о силикатахъ извести и магнезій въ кислотъ процессѣ (но не въ томассовскомъ, какъ будетъ разобрано далѣе). Итакъ для кислаго процесса остается разсмотрѣть силикатъ *Mn* и *Fe*.

Мы имѣемъ:

$$(MnO, SiO^2) = 5400 \text{ Cal.}$$

$$(FeO, SiO^2) = 8900 \quad \gg$$

Лучше всего отнести выдѣляемую теплоту къ 1 kgr. основанія, т.-е. *MnO* или *FeO*, что дастъ:

$$\text{на 1 kgr. } MnO . \quad . \frac{5400}{71} = 76 \text{ Cal.}$$

$$\gg 1 \quad \gg \quad FeO . \quad . \frac{8900}{72} = 124 \quad \gg$$

Если въ шлакѣ имѣется Fe^2O^3 , то онъ предварительно переводится въ эквивалентное количество *FeO* черезъ перемноженіе на

$$\frac{144}{160} = 0,9 .$$

Примѣръ. Въ бессемеровскомъ шлакѣ содержится по анализу:

<i>SiO^2</i> . .	47,25%
<i>Al^2O^3</i>	3,45 »
<i>FeO</i> . .	15,43 »
<i>MnO</i> . . .	31,89 »
<i>CaO</i> и <i>MgO</i> .	1,84 »

Какое количество теплоты выдѣляется при образованіи 1 kgr. этого шлака?

Рѣшеніе. Какъ было объяснено выше, обратимъ наше вниманіе лишь на образованіе силикатовъ *Mn* и *Fe*:

соединеніе FeO , $SiO^2 = 0,1543 \times 124 = 19,1$ Cal.

» MnO , $SiO^2 = 0,3189 \times 76 = 24,2$ »

Всего. . . . 43,3 Cal.

Перейдемъ теперь къ шлаку, образующемуся въ основномъ то-массовомъ процессѣ. Тутъ расчеты становятся немного сложнѣе, такъ какъ кромѣ образованія силикатовъ Mn и Fe , какъ въ предыдущемъ случаѣ, получаютъ еще и другія соединенія, выдѣляющія теплоту. Составъ томассовскаго шлака обыкновенно слѣдующій P^2O^5 въ среднемъ 19% (отъ 14 до 25); CaO въ среднемъ 45% (отъ 35 до 55); SiO^2 обыкновенно ниже 12%, въ среднемъ между 6 и 8%; MgO въ среднемъ 4% (отъ 1—7).

Первымъ дѣломъ мы выдѣляемъ, то количество CaO , которое даетъ съ имѣющимся на лицо P^2O^5 — ($3CaO$, P^2O^5). Выдѣляемая при этомъ теплота составляетъ 1123 Cal на каждый kgr. P^2O^5 — $\left(\frac{159400}{142} = 1123\right)$.

Затѣмъ, къ содержащемуся въ шлакѣ, количеству SiO^2 присчитываемъ вѣсь Al^2O^3 , предварительно перемноженный на $\frac{120}{102} = 1,176$, такъ какъ въ данномъ, сильно основномъ шлакѣ, Al^2O^3 играетъ роль кислоты и можетъ быть принятъ эквивалентнымъ $2SiO^2$. Съ MnO и FeO поступаемъ, какъ было объяснено выше. Если получится нѣкоторый остатокъ SiO^2 (суммированнаго), то полагаютъ, что онъ образуетъ съ CaO (и MgO) силикатъ типа ($3CaO$, SiO^2) съ приблизительнымъ выдѣленіе 476 Cal. на каждый kgr. SiO^2 .

Примѣръ. Имѣется томассовскій шлакъ слѣдующаго состава:

SiO^2	7,73
P^2O^5	21,90
Al^2O^3	3,72
Fe^2O^3	1,00
FeO	4,73
MnO	2,05
CaO	52,76
MgO	4,00
CaS	1,71

Вычислить теплоту выдѣляемую при образованіи 1 kgr. этого шлака

Рѣшеніе. 21,9 частей P^2O^5 соединятся съ $21,9 \times \frac{168}{142} = 25,91$ частями CaO , оставляя 26,85 частей CaO на другія нужды. Al^2O^3 эквивалентенъ $3,72 \times \frac{120}{102} = 4,38$ частямъ SiO^2 , если сюда прибавить 7,73

SiO^2 , то получимъ 12,11 частей суммированнаго кремнезема. На образование силиката Mn пойдетъ

$$2,05 \times \frac{60}{71} = 1,73 SiO^2,$$

а на образование силиката желѣза:

$$(4,73 + 0,9) \times \frac{60}{72} = 4,69 SiO^2,$$

такъ что всего израсходуется 6,42 части SiO^2 и останутся свободными 5,69 части SiO^2 , которыя въ свою очередь образуютъ $3CaO$, SiO^2 , на что имѣется значительный избытокъ извести.

На 100 частей шлака такимъ образомъ выдѣлится теплоты:

При образованіи $3CaO, P^2O^5$. .	$21,90 \times 1123 =$	$24\cdot594$	Cal.
» MnO, SiO^2 . .	$2,05 \times 76 =$	156	»
» FeO, SiO^2 . .	$5,63 \times 124 =$	698	»
» $3CaO, SiO^2$. .	$5,69 \times 476 =$	2708	»
		<hr/>	
	Всего . . .	28156	Cal.

что составитъ на 1 kg. шлака 281,56 Cal.

Статьи расхода тепла.

Теплота въ самомъ конверторѣ при окончаніи. Къ концу дутья нагрѣвъ конвертора вновь достигаетъ приблизительно той же нормы какъ и при началѣ. Надо лишь исключить количество тепла соотвѣтствующее разѣденной обкладкѣ.

Теплота въ стали. Ея количество можетъ быть опредѣлено опытнымъ путемъ. Сталь при окончаніи процесса имѣетъ среднюю температуру 1650° и при этомъ 1 kg. средней бессемеровской стали содержитъ 350 Cal. Если опредѣлить пирометромъ температуру стали то на каждый градусъ разницы противъ 1650° дѣлаютъ поправку въ $\frac{1}{5}$ Cal. противъ 350 Cal.

Теплота въ шлакѣ. Также какъ и въ предыдущемъ случаѣ лучше всего опредѣлить это количество опытнымъ путемъ. Для приблизительнаго подсчета можно положить въ 1 kg. шлака при 1650° — 550 Cal. съ поправкой въ $\frac{1}{4}$ Cal. на каждый градусъ разницы

Теплота уносимая газами. Намъ извѣстно какъ опредѣлить количество газовъ по ихъ анализу и вѣсу выгорѣвшаго углерода. Температура газовъ почти та же, что и металлической ванны, т.-е. около 1350° при началѣ процесса и 1650° при его окончаніи. Лучше всего конечно опредѣлить температуру газовъ непосредственно пирометромъ

у самого выхода ихъ изъ конвертора. Надо однако быть осторожнымъ и не помѣстить пирометра слишкомъ высоко, такъ какъ отъ дальнѣйшаго горѣнія газовъ въ воздухѣ температура ихъ сильно повышается. Далѣе по формуламъ для теплоемкости газовъ, при высокихъ температурахъ, опредѣляется и количество унесеннаго тепла.

Теплота уносимая пылью. Пыль, уносимая газами въ видѣ облака, особенно съ самомъ концѣ процесса, содержитъ окислы желѣза и марганца, а также немного кремнезема. Для теплоемкости можно взять 0,40 или 0,35 (если много SiO^2).

Теплота въ унесенныхъ дутьемъ металлѣ и шлакѣ. Единственное затрудненіе опредѣлить количество унесеннаго дутьемъ металла и шлака, расчетъ же самый простой.

Теплота поглощенная диссоціаціей влаги дутья. Если намъ извѣстно количество влаги въ дутьѣ, то на диссоціацію 1 kg. воды требуется 3226 Cal. Можно также произвести расчетъ на основаніи количества водорода въ газахъ, по ихъ анализу.

Теплота поглощенная химическимъ разьединеніемъ частей. Вопросъ этотъ еще мало разработанъ наукою. По мнѣнію Ле Шателье Mn образуетъ въ чугунахъ Mn^3C и на разьединеніе 1 kg. Mn требуется 80 Cal.— Si и C соединяются съ желѣзомъ безъ сколько нибудь значительнаго выдѣленія тепла. На разьединеніе FeS требуется 750 Cal. на 1 kg. S , но какъ намъ извѣстно сѣры почти не выдѣляется. Спорнымъ является вопросъ относительно фосфора въ желѣзѣ. По опытамъ Понтіера, съ результатами коихъ многіе не соглашаются, на разьединеніе P и Fe требуется 1397 Cal. на каждый kg. P , до авторитетнаго подтвержденія, однако, лучше воздержаться отъ примѣненія этой цифры.

Теплота уносимая теплопроводностью опоръ и проч. Само собою разумѣется, что сколько-нибудь точное опредѣленіе этой статьи расхода весьма затруднительно, такъ какъ зависитъ отъ слишкомъ разнообразныхъ причинъ. Лучше всего опредѣлить температуру въ разныхъ мѣстахъ и рассчитать потерю отъ циркуляціи воздуха и отъ излученія, какъ будетъ указано ниже для наружной оболочки конвертора.

Теплота уносимая циркулирующимъ воздухомъ (конвекціей). Коэффициентъ потери зависитъ отъ рода поверхности и отъ скорости движенія воздуха. Для шереховатой желѣзной поверхности и назвавъ v скорость воздуха въ сантиметрахъ въ секунду, этотъ коэффициентъ будетъ:

$$k = 0,000028(2 + \sqrt{v})$$

k будетъ выраженъ въ малыхъ калоріяхъ (gr.-Cal.) и будетъ потеря

испытываемая 1 кв. см. на 1° разницы температуръ, въ теченіе 1 секунды.

Примѣръ. Поверхность конвертора 50 кв. м. Средняя температура оболочки 200°. Скорость воздуха 1 м. въ секунду, его температура 30°. Определить потерю отъ конвекціи въ большихъ калоріяхъ (kg.-Cal.) въ минуту.

Рѣшеніе:

$$k = 0,000028 (2 + \sqrt{100}) = 0,000336 \text{ gr.-Cal.}$$

Слѣдовательно, потеря на всю поверхность, при 1° разницы температуръ будетъ въ теченіе 1 секунды:

$$50 \times 10000 \times 0,000336 = 168 \text{ gr.-Cal.},$$

а при 170° разницы температуръ въ теченіи 1 минуты, потеря выраженная въ большихъ калоріяхъ будетъ:

$$\frac{168 \times 170 \times 60}{1000} = 1714 \text{ Cal.}$$

Теплота уносимая излученіемъ. По закону излученія (Stefan) количества тепла теряемая такимъ образомъ пропорціональны разницамъ четвертыхъ степеней абсолютныхъ температуръ нагрѣтаго тѣла и среды.

Для обыкновеннаго желѣза при температурѣ оболочки въ 100°, а окружающаго воздуха 0° (такъ что $373^4 - 273^4 = 1,38 \times 10^{10}$) теряется излученіемъ 0,0141 gr.-Cal. съ cadaго квадратнаго сантиметра въ теченіе 1 секунды.

Примѣръ. Какое количество тепла теряется отъ излученія конверторомъ, приведеннымъ въ послѣднемъ примѣрѣ, въ теченіе 1 минуты.

Рѣшеніе. Разница четвертыхъ степеней абсолютныхъ температуръ оболочки и среды будетъ

$$473^4 - 303^4 = 4,163 \times 10^{10},$$

а, слѣдовательно, потеря отъ излученія въ этомъ случаѣ будетъ во столько разъ больше противъ вышеприведеннаго типичнаго случая ($100^0 - 0^0$), во сколько $4,163 \times 10^{10}$ больше $1,38 \times 10^{10}$, то-есть въ $\frac{4,163}{1,38} = 3,017$ раза.

Въ теченіе 1 секунды 1 кв. см. поверхности теряетъ отъ излученія

$$3,017 \times 0,0141 = 0,04254 \text{ gr.-Cal.}$$

А слѣдовательно, весь конверторъ потеряетъ въ теченіе 1 минуты въ въ большихъ калоріяхъ:

$$\frac{0,04254 \times 10000 \times 50 \times 60}{1000} = 1276 \text{ Cal.}$$

Задача № 18. Составить тепловой балансъ для конвертора задачи № 15 (детально разработаннаго въ послѣдующихъ за ней задачахъ и примѣрахъ). Главныя заданія таковы: погружено 10000 kgr. чугуна, а затѣмъ въ концѣ процесса 1100 kgr. зеркальнаго чугуна. Получено 10509,3 kgr. стали. За все время дутья, продолжавшагося 9 мин. 10 сек., и послѣ прибавки зеркальнаго чугуна выгорѣло:

Углерода	. 301,6 kgr. (изъ коихъ 62,5 въ CO^2)
Кремнія	. 90,3 »
Марганца	. 85,9 »
Желѣза	. 113,0 » (изъ коихъ 11,2 въ Fe^2O^3).

Средній анализъ газовъ былъ:

CO^2	5,20 ‰
CO	. 19,91 »
H^2	1,39 »
N^2	. . 73,50 »

Анализъ шлака былъ:

SiO^2	63,56
Al^2O^3	3,01
FeO	21,39
Fe^2O^3	2,63
MnO	8,88
CaO	0,90
MgO	0,36

Детали приведены выше.

Рѣшеніе. Теплота въ самомъ конверторѣ при началѣ. Какъ было вычислено въ примѣрѣ, мы положимъ это количество равнымъ

$$3 \cdot 652 \cdot 260 \text{ Cal.}$$

Теплота въ расплавленномъ чугунѣ

$$300 \times 10000 = 3 \cdot 000 \cdot 000 \text{ Cal.}$$

Теплота въ зеркальномъ чугунѣ

$$300 \times 1100 = 330 \cdot 000 \text{ Cal.}$$

Теплота въ дутьѣ. Допустимъ, что отъ сжиманія, температура воздуха повышается на 60° . Предварительно рассчитаемъ количество воздуха участвовавшего въ процессѣ:

Всего окислено углерода 301,6 kgr.

Объемъ образовавшихся CO и CO^2 :

$$\frac{301,6 \times 22,22}{12} = 558 \text{ куб. м.}$$

Объемъ газовъ:

$$\frac{558}{0,2511} = 2222 \text{ »}$$

Объемъ азота:

$$2222 \times 0,735 = 1633 \text{ »}$$

Соотвѣтствующій объемъ воздуха:

$$\frac{1633}{0,792} = 2062 \text{ »}$$

Объемъ водорода или, что то же, объемъ водяныхъ паровъ:

$$2222 \times 0,0139 = 31 \text{ »}$$

Опредѣливъ, по формуламъ, теплоемкость 1 куб. м. воздуха и паровъ воды (измѣренныхъ при 0°) въ предѣлѣ между 0° и 60° , получимъ для количества тепла соотвѣтствующаго 1° :

$$\text{Для воздуха. } 2062 \times 0,3046 = 628 \text{ Cal.}$$

$$\text{Для воды. } 31 \times 0,3490 = 11 \text{ »}$$

$$\text{Всего. } \underline{639 \text{ Cal.}}$$

А для 60° :

$$639 \times 60 = 38 \cdot 340 \text{ Cal.}$$

Количество тепла отъ окислительныхъ реакцій:

$$C \text{ въ } CO^2 \text{ } 62,5 \times 8100 = 506 \cdot 250 \text{ Cal.}$$

$$C \text{ въ } CO \text{ } 239,1 \times 2430 = 581 \cdot 013 \text{ »}$$

$$Si \text{ въ } SiO^2 \text{ } 90,3 \times 7000 = 632 \cdot 100 \text{ »}$$

$$Mn \text{ въ } MnO \text{ } 85,9 \times 1653 = 141 \cdot 993 \text{ »}$$

$$Fe \text{ въ } FeO \text{ } 101,8 \times 1173 = 119 \cdot 411 \text{ »}$$

$$Fe \text{ въ } Fe^2O^3 \text{ } 11,2 \times 1746 = 19 \cdot 555 \text{ »}$$

$$\text{Всего. } \underline{2 \cdot 000 \cdot 322 \text{ Cal.}}$$

Теплота поглощаемая при образованіи шлака: Имѣющіеся

на лицо 85,9 kgr. *Mn* образуютъ 111 kgr. *MnO*, а слѣдовательно вѣсъ шлака будетъ:

$$\frac{111}{0,0888} = 1250 \text{ kgr.}$$

Въ шлакѣ содержится

$$1250 \times 0,6356 = 794,5 \text{ kgr. } SiO^2$$

изъ коихъ:

$$90,3 \times \frac{60}{28} = 193,5 \text{ kgr. } SiO^2$$

получились отъ окисленія *Si*, а слѣдовательно:

$$794,5 - 193,5 = 601 \text{ kgr. } SiO^2$$

изъ развѣденной обкладки. Кромѣ того, изъ обкладки поступятъ въ шлакъ: *Al^2O^3*, *CaO* и *MgO* въ размѣрѣ 4,27%, т.-е.

$$1250 \times 0,0427 = 53,4 \text{ kgr.},$$

такъ что вѣсъ развѣденной части обкладки будетъ

$$601 + 53,4 = 654,4 \text{ kgr.}$$

Далѣ намъ извѣстно, что въ шлакѣ содержится 113 kgr. *Fe*, соотвѣтствующихъ 145 kgr. *FeO*.

Теплота образованія шлака будетъ:

$$FeO, SiO^2 . . . 145 \times 124 = 17980 \text{ Cal.}$$

$$MnO, SiO^2 . . . 111 \times 76 = 8436 \text{ »}$$

$$\text{Всего} . . 26 \cdot 416 \text{ Cal.}$$

Теплота въ самомъ конверторѣ при окончаніи. Она будетъ нѣсколько меньше того количества, которое она представляла при началѣ (т.-е. $3 \cdot 652 \cdot 260 \text{ Cal}$), а именно на столько сколько содержится тепла въ развѣденной части обкладки. Нами только что былъ опредѣленъ вѣсъ развѣденной части обкладки = 654,4 kgr. Допустивъ, что ея температура будетъ 1500°, чему соотвѣтствуетъ средняя теплоемкость 0,2988 (по формулѣ для *SiO^2*), мы получимъ уменьшеніе на

$$654,4 \times 0,2988 \times 1500 = 293 \cdot 300 \text{ Cal.},$$

т.-е. всего

$$3 \cdot 652 \cdot 260 - 293 \cdot 300 = 3 \cdot 358 \cdot 960 \text{ Cal.}$$

Теплота въ стали. Положивъ 350 Cal. на 1 kgr. мы получимъ:

$$10 \cdot 509,3 \times 350 = 3 \cdot 678 \cdot 255 \text{ Cal.}$$

Теплота въ шлакѣ:

$$1250 \times 550 = 687 \cdot 500 \text{ Cal.}$$

Теплота уносимая газами. Составъ газовъ будетъ

N^2	1633 куб. м.
H^2	31 »
CO	443 »
CO^2	115 »
Всего	2222 куб. м.

Для первыхъ трехъ газовъ теплоемкость опредѣляется по одной и той же формулѣ и будетъ между 0° и 1550° — 0,34485, а для CO^2 въ тѣхъ же предѣлахъ теплоемкость 0,711; слѣдовательно:

$$\begin{aligned} N^2, H^2 CO \dots & 2107 \times 0,34485 \times 1550 = 1 \cdot 126 \cdot 228 \text{ Cal.} \\ CO^2 \dots \dots \dots & 115 \times 0,711 \times 1550 = 126 \cdot 736 \text{ »} \\ \text{Всего.} \dots \dots & \underline{1 \cdot 252 \cdot 964 \text{ Cal.}} \end{aligned}$$

Теплота идущая на диссоціацію влаги: 1 куб. м. H^2 вѣситъ 0,09 kgr. и поглощаетъ при диссоціаціи, соотвѣтствующаго количества воды, 29030 Cal. слѣдовательно:

$$31 \times 0,09 \times 29030 = 80 \cdot 994 \text{ Cal.}$$

Теплота теряемая конвекціей. Въ теченіе 1 минуты мы опредѣлили потерю въ 1714 Cal., а въ теченіе 9 мин. 10 сек.:

$$1714 \times 9,1667 = 15 \cdot 711 \text{ Cal.}$$

Теплота теряемая излученіемъ Въ теченіе 1 минуты 1276 Cal. слѣдовательно всего:

$$1276 \times 9,1667 = 11 \cdot 696 \text{ Cal.}$$

Теперь нами опредѣлены какъ приходъ такъ и расходъ тепла во время бессемеровскаго процесса, общая сводка результатовъ дастъ:
Приходъ тепла.

Теплота въ самомъ конверторѣ	3·652·260 Cal.	40,4 %
» въ расплавл. чугуна	3·000·000 »	33,1 »
» въ зеркальн. чугуна	330·000 »	3,7 »
» въ дутьѣ	38·340 »	0,4 »
» отъ окисленія	2·000·322 »	22,1 »
« отъ образованія шлака	26·416 »	0,3 »
Всего	<u>9·047·338 Cal.</u>	100,0 %

РАСХОДЪ ТЕПЛА:

Теплота въ самомъ конверторѣ при окон- чаніи	3·358·960 Cal.	37,0 %
Теплота въ стали	3·678·255 »	40,4 »
» въ шлакѣ	687·500 »	7,6 »
» уносимая газами.	1·252·964 »	13,8 »
» теряемая на диссоціацію влаги.	80·994 »	0,9 »
» » конвекціей	15·711 »	0,2 »
» » излученіемъ	11·696 »	0,1 »
Всего	<u>9·086·080 Cal.</u>	<u>100,0 %</u>

Разница между статьями расхода и прихода всего 38·742, что конечно не такъ велико.

Можно еще распредѣлить балансъ тепла нѣсколько инымъ образомъ, сгруппировавъ нѣкоторыя данныя вмѣстѣ:

Приходъ.

Избытокъ тепла въ самомъ конверторѣ	293·300 Cal.	3,4 %
Теплота развившаяся окисленіемъ.	2·000·322 »	22,1 »
» отъ образованія шлака	26·416 »	0,3 »
Всего	<u>2·320·038 Cal.</u>	<u>25,8 %</u>

Расходъ

Избытокъ уносимой теплоты газами про- тивъ принесенной—дутьемъ	1·214·624 Cal.	13,4%
Избытокъ тепла въ сталѣ и шлакѣ про- тивъ—чугуна и зеркальнаго чугуна	1·035·755 Cal.	11,2%
Диссоціація влаги	80·994 »	0,9 »
Конвекція и излученіе	27·407 »	0,3 »
Всего :	<u>2·358·780 Cal.</u>	<u>25,8%</u>

Какъ и въ предыдущемъ случаѣ расходъ превышаетъ приходъ на 38·742 Cal. Приведенные проценты относятся къ общему количеству полученной и выдѣленной теплоты.

ГЛАВА IX.

Повышеніе температуры въ бессемеровскомъ процессѣ.

Приведенное въ концѣ предыдущей главы распредѣленіе прихода и расхода тепла, въ сгруппированномъ видѣ, относится лишь къ количеству тепла, соотвѣтствующему непосредственно бессемеровскому процессу, а не общему количеству полученной и выдѣленной теплоты. Въ

процентахъ можно приблизительно распредѣлить статьи прихода и расхода тепла, развитаго и поглощеннаго непосредственно бессемеровскимъ процессомъ, слѣдующимъ образомъ:

Приходъ	
Избытокъ тепла въ самомъ конверторѣ.	13%
Теплота развиваемая окисленіемъ	86 »
Теплота отъ образованія шлака	1 »
Всего	<u>100%</u>
Расходъ	
Избытокъ тепла въ газахъ	52%
Избытокъ тепла въ расплавленныхъ продуктахъ	44 »
Диссоціація влаги	3 »
Конвекція и излученіе	1 »
Всего	<u>100%</u>

Избытокъ тепла въ газахъ и расплавленныхъ продуктахъ получился въ виду увеличенія температуры во время бессемеровскаго процесса, главнымъ образомъ отъ происшедшихъ окислительныхъ реакцій. Теперь мы и займемся вліяніемъ cadaго изъ присутствующихъ элементовъ, въ отдѣльности, на повышеніе температуры.

Хотя во время бессемеровскаго процесса, строго говоря, нѣтъ такого момента чтобы лишь одно тѣло окислялось, но для разбора того вліянія, какое каждый изъ элементовъ оказываетъ на повышеніе температуры, приходится ограничиваться разсмотрѣніемъ лишь по одному тѣлу за разъ. Будемъ относить наши расчеты къ 1 kgr. окисляемаго тѣла и 100 kgr. металлической ванны. Допустимъ что воздухъ имѣетъ 100° при поступленіи въ конверторъ и, слѣдовательно, если бы не происходило никакого окисленія, то дѣйствіе воздуха было бы охлаждающимъ; одновременно съ этимъ происходятъ потери тепла отъ конвекціи и излученія, пропорціональныя времени, а слѣдовательно и количеству вдуваемаго воздуха; тоже самое можно сказать и о диссоціаціи влаги. Слѣдовательно, повышеніе температуры можетъ произойти лишь въ томъ случаѣ, если притокъ тепла больше расхода, расчетомъ этихъ статей мы и займемся для cadaго элемента въ отдѣльности, положивъ, что потери отъ конвекціи, излученія и диссоціаціи, вмѣстѣ взятыя, составляютъ въ среднемъ 50 Cal. на 1 куб. м. вдуваемаго воздуха,

Жремній.

Si выгораетъ въ началѣ процесса, при чемъ температура постепенно поднимается, положимъ съ 1250° до 1600°, поэтому произведемъ наши вычисленія для каждой температуры въ отдѣльности и

возьмемъ среднее для повышенія температуры, соотвѣтствующаго 1% Si . —

Кислорода для окисленія 1 kgr. Si :	$1 \times \frac{32}{28} = 1,143$	kgr.
Соотвѣтствующій азотъ	$= 3,810$	»
Вѣсъ воздуха	$= 4,953$	»
Объемъ воздуха $\frac{4,953}{1,293}$	$= 3,831$	куб. м.
1) Теплоемкость воздуха ($100^\circ - 1250^\circ$)	$= 0,3395$	» »
2) » » ($100 - 1600^\circ$)	$= 0,3489$	» »

Охлаждающее дѣйствіе воздуха:

1) $3,831 \times 0,3395 \times 1150$	$= 1496$	Cal.
2) $3,831 \times 0,3489 \times 1500$	$= 2043$	»

Теплота выдѣляемая окисленіемъ

1 kgr. Si въ SiO^2	$= 7000$	Cal.
------------------------	----------	------

Для послѣдней цифры 7000 Cal. надо оговориться:—она соотвѣтствуетъ измѣреніямъ произведеннымъ при среднихъ температурахъ и поэтому, прежде чѣмъ ею воспользоваться слѣпо, надо убѣдиться, что и при высокихъ температурахъ (1250°), она лишь мало измѣняется.

Дѣйствительно:

Теплота въ расплавленномъ Si

$$1 \times 0,2825 \times 1250 + 127 = 480 \text{ Cal.}$$

Теплота въ 0,795 куб. м. кислорода

$$0,795 \times 0,33675 \times 1250 = 334 \text{ »}$$

Теплота въ 2,143 kgr. SiO^2

$$2,143 \times 0,27955 \times 1250 = 750 \text{ »}$$

Теплота, выдѣляемая при окисленіи при 1250°

$$7000 + 480 + 334 - 750 = 7064 \text{ »}$$

Итакъ мы убѣждаемся, что конечный результатъ весьма мало отличается отъ 7000 Cal., и мы можемъ воспользоваться прежнею цифрою, тѣмъ болѣе что, какъ намъ извѣстно, и она довольно спорна, такъ что 64 Cal. разницы въ предѣлѣ допустимой погрѣшности.

Мы умышленно пропускаемъ теплоту выдѣляемую при образованіи силикатовъ желѣза и марганца: FeO , SiO^2 и MnO , SiO^2 , такъ какъ ее правильнѣе отнести къ желѣзу и марганцу, начинающимъ выгорать послѣ кремнія и входящимъ въ составъ шлака.

Добавимъ къ потери тепла отъ охлаждающаго дѣйствія воз-

духа,—потерю отъ конвекціи, излученія и диссоціаціи, положенную нами равной 50 Cal. на каждый куб. м. вдуваемого воздуха т.-е. въ данномъ случаѣ:

$$3,831 \times 50 = 192 \text{ Cal.}$$

Такимъ образомъ совокупность потерь при 1250° будетъ:

$$1496 + 192 = 1688 \text{ Cal,}$$

а при 160°

$$2043 + 192 = 2235 \text{ Cal.}$$

Вычтя эти количества изъ

$$7000 \text{ Cal,}$$

мы получимъ:

Избытокъ теплоты при

$$1250^\circ = 5312 \text{ Cal.}$$

$$1600^\circ = 4765 \text{ Cal.}$$

Остается вычислить количество тепла содержащееся въ металлической ваннѣ (99 kgr.); SiO^2 (2,14 kgr.), и N^2 (3,810 kgr. = 3,02 куб. м.) при повышеніи температуры на 1° въ предѣлахъ (0° — 1250°) и (0° — 1600°). Теплоемкость металлической ванны полагается = 0,25 (для обоихъ случаевъ), а теплоемкости SiO^2 и N^2 рассчитываются по формуламъ.

	Теплоемкость		Количество тепла при повышеніи температуры на 1°	
	при 1250°	при 1600°	при 1250°	при 1600°
Металлич. ванна 99 kgr	0,25	0,25	24,8	24,8
SiO^2 2,143 kgr.	0,28	0,31	0,6	0,7
N^2 3,02 куб. м.	0,34	0,35	1,0	1,1
Всего			26,4	26,6

Теоретическое повышеніе температуры соответствующее 1% Si будетъ:

$$\text{при } 1250^\circ - \frac{5312}{26,4} = 201^\circ$$

$$\text{при } 1600^\circ - \frac{4765}{26,6} = 179^\circ.$$

Среднее повышеніе температуры будетъ:

$$190^\circ.$$

Марганецъ.

Расчетъ повышения температуры, соотвѣтствующей 1⁰/₀ *Mn*, (положимъ при 1250⁰) — можно расположить нижеслѣдующимъ образомъ:

Кислорода для окисленія: $1 \times \frac{16}{55}$	= 0,291 kgr.
Соотвѣтствующій азотъ	= 0,970 »
Вѣсъ воздуха	= 1,261 »
Объемъ воздуха	= 0,975 куб. м.
Охлаждающее дѣйствіе воздуха (100 ⁰ — 1250 ⁰):	
$0,975 \times 0,3395 \times 1150$	= 381 Cal.
Теплота выдѣляемая при окисленіи <i>Mn</i>	= 1653 »
Теплота образованія <i>MnO</i> , <i>SiO</i> ² : $1,291 \times 76$	= 98 »
Потери на излученіе и пр.: $0,975 \times 50$	= 49 »
Свободной теплоты: $1653 + 98 - 49 - 381$	= 1321 »
Теплота въ 99 kgr. металлической ванны при 1 ⁰	= 24,8 »
» » 2,4 » шлака	» = 0,7 »
» » 0,8 куб. м. азота	» = 0,3 »
Общее количество тепла въ продуктахъ при 1 ⁰	= 25,8 »

Теоретическое повышение температуры:

$$\frac{1321}{25,8} = 51^{\circ}.$$

Желѣзо.

Произведемъ подсчетъ для *FeO* и *Fe*²*O*³.

Образованіе *FeO*.

Кислорода для окисленія: $1 \times \frac{16}{56}$	= 0,286 kgr.
Соотвѣтствующій азотъ	= 0,953 »
Вѣсъ воздуха	= 1,239 »
Объемъ воздуха	= 0,958 куб. м.
1) Охлаждающее дѣйствіе воздуха (100 ⁰ — 1250 ⁰):	
$0,958 \times 0,3395 \times 1150$	= 374 Cal.
2) Охлаждающее дѣйствіе воздуха (100 ⁰ — 1600 ⁰):	
$0,958 \times 0,3489 \times 1500$	= 501 »
Окисленіе 1 kgr. <i>Fe</i>	= 1173 »
Образованіе <i>FeO</i> , <i>SiO</i> ² :	
$1,286 \times 124$	= 159 »

Потери отъ излученія и пр.:

	$0,958 \times 50$	=	48 Cal.
Свободной теплоты при 1250°		=	910 »
» » » 1600°		=	783 »
Общее количество теплоты въ продуктахъ при 1°:		=	25,8 »

Теоретическое повышеніе температуры:

$$1) \text{ при } 1250^{\circ} - \frac{910}{25,8} = 36^{\circ}$$

$$2) \text{ при } 1600^{\circ} - \frac{783}{25,8} = 30^{\circ}$$

Въ среднемъ. 33°.

Образованіе Fe^2O^3 .

Вѣсъ воздуха идущаго на окисленіе 1kg. Fe : = 1,855 kg.
Объемъ воздуха = 1,435 куб. м.

Охлаждающее дѣйствіе воздуха (100° — 1600°):

	$1,435 \times 0,3489 \times 1500$	=	753 Cal.
Выдѣляется тепла при окисленіи.			1746 »
» » при образованіи шлака			159 »
Потери отъ излученія и пр. $1,435 \times 50$		=	72 »
Свободнаго тепла		=	1080 »
Общее количество тепла въ продуктахъ при 1° =			26 »

Теоретическое повышеніе температуры:

$$\frac{1080}{26} = 42^{\circ}.$$

Титанъ.

Кислорода для окисленія $1 \times \frac{32}{48}$ = 0,667 kg.
Соотвѣтствующій азотъ = 2,222 »
Вѣсъ духа = 2,889 »
Объемъ воздуха = 2,240 куб. м.
Охлаждающее дѣйствіе воздуха (100° — 1250°):

$$2,240 \times 0,3395 \times 1150 = 875 \text{ Cal.}$$

Предполагаемое выдѣленіе тепла при окисленіи
1 kg. Ti = 5000 »
Потери отъ излученія и пр. = 112 »
Свободнаго тепла = 4013 »
Общее количество тепла въ продуктахъ при 1° = 26,5

Теоретическое повышение температуры:

$$\frac{4013}{26,5} = 152^{\circ}.$$

Алюминій.

Весьма рѣдко встрѣчаемый въ чугунахъ, его однако можно съ пользою прибавить къ металлической ваннѣ для поднятія ея температуры, если бы это потребовалось и ощущался недостатокъ въ феррокремніи, обыкновенно служащемъ для этой цѣли.

Кислорода для окисленія $1 \times \frac{48}{54}$	= 0,889 kg.
Соотвѣтствующій азотъ	= 2,963 »
Вѣсъ воздуха	= 3,852 »
Объемъ воздуха	= 2,980 »
Охлаждающее дѣйствіе воздуха (100° — 1250°):	
$2,980 \times 0,3395 \times 1150$	= 1160 Cal.
Окисленіе 1 kg. <i>Al</i>	= 7272 »
Потери отъ излученія пр.	= 149 »
Свободнаго тепла	= 5963 »
Количество тепла въ продуктахъ при 1° =	26,6 »
Теоретическое повышение температуры:	

$$\frac{5963}{26,6} = 224^{\circ}.$$

Никкель.

Аналогичный расчетъ далъ бы для теоретическаго повышения температуры отъ присутствія 1 kg. *Ni* въ металлической ваннѣ 33°.

Хромъ.

Кислородъ для окисленія $1 \times \frac{48}{104}$	= 0,462 kg.
Соотвѣтствующій азотъ	= 1,540 »
Вѣсъ воздуха	= 2,002 »
Объемъ воздуха	= 1,548 куб. м.
Охлаждающее дѣйствіе воздуха (100 — 1600°):	
$1,548 \times 0,3489 \times 1500$	= 810 Cal.
Предполагаемое выдѣленіе тепла	
при окисленіи 1 kg. <i>Cr</i>	= 3000 »
Потери отъ излученія и пр.	= 77 »
Свободнаго тепла	= 2113 »
Количество тепла въ продуктахъ при 1° =	26,1 »

Теоретическое повышение температуры:

$$\frac{2113}{26,1} = 81^{\circ}.$$

Углеродъ.

Выгорание этого элемента начинается во второй половинѣ дутья въ сколько нибудь значительныхъ количествахъ, при чемъ главнымъ образомъ получается CO . Для CO^2 мы сдѣлаемъ подсчетъ въ двухъ случаяхъ при 1250° и 1600° , а для CO только при температурѣ 1600° .

Образование CO^2 .

Кислорода для окисленія $1 \times \frac{32}{12}$	= 2,667	kg.
Соотвѣтствующій азотъ	= 8,889	»
Вѣсъ воздуха	= 11,556	»
Объемъ воздуха	= 8,937	»

1) Охлаждающее дѣйствіе воздуха ($100^{\circ} - 1250^{\circ}$):

$$8,937 \times 0,3395 \times 1150 = 3489 \text{ Cal.}$$

2) Охлаждающее дѣйствіе воздуха ($100^{\circ} - 1600^{\circ}$):

$$8,937 \times 0,3489 \times 1500 = 4676 \text{ »}$$

Окисленіе 1 kg. C въ CO^2	= 8100	»
Потери отъ излученія и пр.	= 447	»
Свободнаго тепла при 1250°	= 4164	»
» » » 1600°	= 2997	»

Количество тепла въ продуктахъ при 1°

(въ первомъ случаѣ)	= 28,4	»
(во второмъ случаѣ)	= 28,7	»

Теоретическое повышение температуры:

$$\begin{aligned} \text{въ первомъ случаѣ } \frac{4164}{28,4} &= 147^{\circ} \\ \text{во второмъ случаѣ } \frac{2977}{28,7} &= 103^{\circ}. \end{aligned}$$

Среднее повышение температуры = 125° .

Образование CO .

Объемъ воздуха для окисленія	= 4,469	куб. м.
Охлаждающее дѣйствіе воздуха:		
$4,469 \times 0,3489 \times 1500$	= 2339	Cal.

Окисленіе 1 kgr. <i>C</i> въ <i>CO</i>	=	2430 Cal.
Потеря отъ излученія и пр.	=	223 »
Недостающее количество тепла	= —	132 »
Количество тепла въ продуктахъ при 1°	=	26,7 »

Теоретическое пониженіе температуры:

$$\frac{132}{26,7} = -5^{\circ}.$$

Въ этомъ случаѣ происходитъ слабое пониженіе температуры вмѣсто повышенія. Впрочемъ, если произвести подсчетъ немного инымъ образомъ, а именно предварительно расчитать количество тепла, выдѣляемаго окисленіемъ 1 kgr. *C* въ *CO* при температурѣ въ 1600°, вмѣсто того, чтобы принять это количество = 2430 Cal., какъ мы только что сдѣлали, то получится небольшой избытокъ тепла, вызывающій нѣкоторое повышеніе температуры (+7°) вмѣсто предварительно вычисленнаго пониженія (—5°). Новый расчетъ представится въ слѣдующемъ видѣ;

Окисленіе 1 kgr. <i>C</i> въ <i>CO</i> при 0°	=	2430 Cal.
Теплота въ 1 kgr. <i>C</i> при 1600°	=	680 »
» при раствореніи <i>C</i>	=	156 »
» въ 0,925 куб. м. <i>O</i> ² при 1600°	=	512 »
Всего добавочной теплоты	=	1348 »
Теплоты содержащейся въ 1,85 куб. м. <i>CO</i>	=	1025 »
Излишекъ тепла 1348—1025	=	323 »
Выдѣляется при окисленіи <i>C</i>		
при 1600°: 2430 + 323	=	2753 »

Такъ какъ потери отъ охлаждающаго дѣйствія воздуха и отъ излученія были: 2339 + 223 = 2562 Cal., то въ данномъ случаѣ остается избытокъ тепла = 2753 — 2562 = 191 Cal., и теоретическое повышеніе температуры будетъ:

$$\frac{191}{26,7} = +7^{\circ}.$$

Однако это повышеніе температуры можетъ и не воспослѣдовать при слегка измѣнившихся условіяхъ дутья и температуры, поэтому можно считать, что отъ окисленія *C*, вообще, (такъ какъ главнымъ образомъ образуется *CO*, а не *CO*²) почти никакого повышенія температуры не получается.

Если бы мы захотѣли произвести, подобный вышеприведенному, болѣе точный подсчетъ для количества тепла, выдѣляемаго при окисленіи 1 kgr. *C* въ *CO*², при температурѣ 1250°, то мы поступили бы слѣдующимъ образомъ:

Окисленіе 1 kg. <i>C</i> въ CO^2 при 0^0	= 8100 Cal.
Теплота въ 1 kg. <i>C</i> при 1250^0	= 505 »
» при раствореніи <i>C</i>	= 129 »
» въ 1,85 куб. м. O^2 при 1250^0	= 779 »
Всего добавочной теплоты	= 1413 »
Теплоты, содержащейся въ 1,85 куб. м. CO^2	= 1493 »
Потеря тепла = 1413—1493	= —80 »
Выдѣляется при окисленіи <i>C</i> при 1250^0 —	
8100—80	= 8020 »

чему соотвѣтствовало бы повышеніе температуры нѣсколько меньшее, чѣмъ было опредѣлено выше.

Фосфоръ.

P выгораетъ послѣднимъ въ основномъ—томасовскомъ процессѣ, и поэтому можно произвести подсчетъ для температуры 1600^0 . При окисленіи 1 kg. *P* (при 0^0) выдѣляется 5892 Cal., для расплавленнаго *P*—на 5 Cal. больше, т.-е. 5897 Cal., но какова будетъ эта цифра при высокихъ температурахъ, намъ пока неизвѣстно (возможно что на 500 Cal. больше), а поэтому приходится ограничиваться величиною 5897 Cal. Относительно неопредѣленности существующей по поводу теплоты, выдѣляемой при образованіи фосфористаго желѣза, было уже говорено выше. При образованіи шлака $3CaO$, P^2O^5 выдѣляется 1123 Cal. на каждый kg. P^2O^5 , а извести употребляютъ избытокъ, такъ— CaO примѣрно добавляютъ утроенный вѣсъ P^2O^5 при температурѣ въ 600^0 .

Расчетъ располагается слѣдующимъ образомъ:

Кислорода для окисленія $1 \times \frac{80}{62}$	= 1,29 kg.
Соотвѣтствующій азотъ	= 4,30 »
Вѣсъ воздуха	= 5,59 »
Объемъ воздуха	= 4,32 куб. м.
Теплота выдѣляемая при образованіи шлака:	
$2,29 \times 1123$	= 2571 Cal.
Окисленіе <i>P</i>	= 5897 »
Общій приходъ тепла	= 8468 »
Охлаждающее дѣйствіе воздуха (100^0 — 1600^0):	
$4,32 \times 0,3489 \times 1500$	= 2261 »
Охлаждающее дѣйствіе добавленной извести (600 — 1600^0):	
$(2,29 \times 3) \times 0,3255 \times 1000$	= 2236 »
Потери отъ излученія и прочее	= 216 »
Общій расходъ тепла	= 4713 »

Свободное количество тепла	= 3755 Cal.
Тепла въ 99 kgr. металл. ваннѣ при 1°	= 24,8 »
» 3,4 куб. м. азота »	= 1,2 »
» 9 kgr. шлака и извести	= 2,7 »
Общее количество тепла въ продуктахъ при 1°	= 28,7 »

Теоретическое повышение температуры:

$$\frac{3755}{28,7} = 131^{\circ}.$$

Если бы известъ была холодна, въ моментъ добавленія, то ея охлаждающее дѣйствіе было бы на 883 Cal. больше, чему соотвѣтствовало бы добавочное уменьшеніе температуры на 31°, слѣдовательно, въ этомъ случаѣ 1% Р вызвалъ бы общее повышеніе температуры на 100°.

Сводъ результатовъ для сравненія между собою термическаго дѣйствія 1% различныхъ элементовъ.

Названіе окисляющагося элемента.	Количество тепла выдѣляемаго при окисленіи.	Выдѣляется тепла при образованіи шлака.	Общее выдѣленіе тепла.	Охлаждающее дѣйствіе воздуха, излученія и др. причинъ.	Свободный избытокъ теплоты.	Теоретическое повышение температуры.
Кремній	7000	—	7000	1688	5312	190°
Марганецъ	1653	98	1751	430	1321	51°
Желѣзо (въ FeO).	1173	159	1332	422	910	33°
Желѣзо (въ Fe ² O ³).	1746	159	1905	825	1080	42°
Титанъ	5000	—	5000	987	4013	152°
Алюминій	7272	—	7272	1309	5963	224°
Никкель	1051	159	1210	378	832	33°
Хромъ	3000	—	3000	887	2113	81°
Углеродъ (въ CO ²).	8100	—	8100	3936	4164	125°
Углеродъ (въ CO).	2430	—	2430	2562	—132	—5°
Фосфоръ	5897	2571	8468	4713	3755	131°

Таблица эта лишь приблизительна, такъ какъ многіе факторы, служащіе для расчета, не извѣстны съ большой степенью точности.

ГЛАВА X.

Мартеновскій процессъ.

Газогенераторы.

Тамъ, гдѣ нѣтъ натуральныхъ газовъ, пользуются газогенераторами, производящими обыкновенно отъ 4300 до 4600 куб. м. газа на тонну угля. Газы содержатъ отъ 3—8% CO², отъ 5—20% H²,

отъ 20—30% CO и отъ 50—60% N^2 ; ихъ теплопроизводительная способность — отъ 750 до 1000 Cal. на каждый куб. м.; что составляетъ отъ 60 до 90% теоретической теплопроизводительности составныхъ частей. Одной тоннѣ металла (емкости печи) соответствуетъ сжиганіе отъ 25 до 35 kgr. угля въ часъ, а такъ какъ въ хорошихъ газогенераторахъ 1 кв. м. газообразующей площади сжигаетъ отъ 60 до 65 kgr. угля въ часъ, то на тонну металла (емкости печи) приходится отъ 0,4 до 0,6 кв. м. газообразующей площади.

Газопроводъ.

Обыкновенно газъ посылается подъ небольшимъ давленіемъ черезъ газопроводъ къ печи. Сѣченіе должно быть достаточнымъ, чтобы скорость была отъ 2 до 3 метровъ въ секунду.

Регенераторы.

Они должны имѣть достаточную длину (отъ 4 до 6 метровъ), по направленію движущихся газовъ, чтобы послѣдніе имѣли время достаточно нагрѣться или охладиться, смотря по надобности. Сѣченіе, предоставляемое проходу газовъ, должно быть достаточнымъ, чтобы скорость была отъ 2 до 3 метровъ въ секунду. Наконецъ теплоемкость всего сооруженія должна быть достаточна, для того, чтобы представлялась возможность поглотить требуемое количество тепла.

Относительная величина газовыхъ и воздушныхъ регенераторовъ опредѣляется посредствомъ сравненія теплоемкостей газа и воздуха въ предѣлѣ требуемыхъ температуръ. Обыкновенно свободное сѣченіе газоваго регенератора составляетъ $\frac{2}{3}$ воздушнаго, иными словами, газу предоставляется 40% общаго свободного сѣченія, а воздуху 60%.

Задача № 19. Газъ, входящій въ регенераторы при мартеновской печи, имѣетъ въ сухомъ видѣ нижеслѣдующій объемный анализъ:

CO.	. . . . .	26,97%
CO^2	. . . . .	4,37 »
CH^4	. . . . .	0,33 »
H^2.	. . . . .	13,00 »
NH^3	. . . . .	0,21 »
H^2S	. . . . .	0,10 »
N^2.	. . . . .	54,01 »
Воздуха	. . . . .	1,03 »

1 куб. м. этого газа, измѣренный при 20° и давленіи въ 720 мм. сопровождается 73,22 gr. влаги. Внѣшній воздухъ имѣетъ тоже 20° и давленіе въ 720 мм., влажность же его 75%.

Для сжиганія газа допускается избытокъ воздуха въ 10%. Нагрѣвъ газа и воздуха въ регенераторахъ достигаетъ 1200°. Требуется:

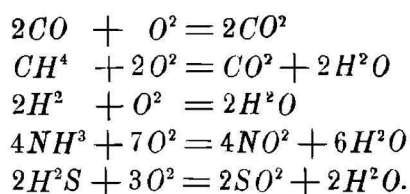
1) Определить относительные объемы газа и воздуха, проходящие черезъ регенераторы.

2) Какое количество теплоты должно быть сообщено 1 куб. м. газа и соответствующему воздуху?

3) Определить относительныя свободныя сѣченія регенераторовъ для газа и воздуха.

РѢШЕНІЕ.

1) При горѣніи газа происходятъ слѣдующія реакціи:



На 1 куб. м. сухого газа приходится слѣдовательно кислорода:

$$\text{для сжиганія } CO \quad - 0,2697 \times \frac{1}{2} = 0,1349 \text{ куб. м.}$$

$$\gg \quad CH^4 \quad - 0,0437 \times 2 = 0,0874 \quad \gg$$

$$\gg \quad H^2 \quad - 0,1300 \times \frac{1}{2} = 0,0650 \quad \gg$$

$$\gg \quad NH^3 \quad - 0,0021 \times \frac{7}{4} = 0,0037 \quad \gg$$

$$\gg \quad H^2S \quad - 0,0010 \times \frac{3}{2} = 0,0015 \quad \gg$$

0,2925 куб. м.

чему соответствуетъ $\frac{0,2925}{0,208} = 1,4062$ куб. м. воздуха. Добавивъ сюда 10% излишка получимъ 1,5468 куб., м. а вычтя, уже имѣющіеся въ газѣ, 0,0103 куб. м. воздуха, останется 1,5365 куб. м.

Вычислимъ теперь, какой объемъ влажнаго воздуха соответствуетъ 1 куб. м. влажнаго же газа.

По заданію 1 куб. м. сухого газа сопровождается 73,22 гт. воды; объемъ паровъ воды при 0° и 720 мм. будетъ:

$$\frac{73,22}{1000 \times 0,81} \times \frac{273 + 20}{273} \times \frac{760}{720} = 0,1024 \text{ куб. м.}$$

Въ воздухѣ упругость насыщающихъ паровъ воды, при 20°, будетъ 17,4 мм., а слѣдовательно при 75% влажности

$$17,4 \times 0,75 = 13 \text{ мм.}$$

На давление собственно воздуха остается $720 - 13 = 707$ мм. и следовательно объемъ 1,5365 куб. м. сухого воздуха превратится въ

$$1,5365 \times \frac{720}{707} = 1,5648 \text{ куб. м.}$$

Объемъ же влажного газа, соответствующій ему $= 1 + 0,1024 = 1,1024$ куб. м. Следовательно на 1 куб. м. влажного газа приходится:

$$\frac{1,5648}{1,1024} = 1,419 \text{ куб. м. влажного воздуха.}$$

2) Предварительно перевычислимъ процентный составъ газа, включивъ туда и влагу; мы получимъ:

<i>CO</i>	24,47%
<i>CO²</i> .	3,96 »
<i>CH⁴</i> .	0,30 »
<i>H²</i> .	11,79 »
<i>NH³</i> .	0,19 »
<i>H²S</i> .	0,09 »
<i>N²</i> .	48,99 »
Воздуха .	0,93 »
Воды .	9,29 »

На 1 куб. м. влажного газа приходится следовательно 0,9071 куб. м. сухого газа. Соответствующіе объемы сухого и влажного воздуха будутъ:

$$\begin{aligned} 0,9071 \times 1,5365 &= 1,3938 \text{ куб. м. сухого воздуха} \\ 0,9071 \times 1,5648 &= 1,4080 \text{ » влажного »} \\ \hline &0,0142 \text{ куб. м. паровъ воды.} \end{aligned}$$

Вычислимъ теперь количество тепла въ 1 куб. м. влажного газа при 1° (между 20°—1200°):

<i>CO</i>	0,2447	} $\times 0,3359 = 0,2895 \text{ Cal.}$
<i>H²</i>	0,1179	
<i>N²</i>	0,4899	
Воздухъ	0,0093	
<i>CO²</i>	0,0396	$\times 0,6384 = 0,0253 \text{ »}$
<i>H²O</i>	0,0929	$\times 0,5230 = 0,0486 \text{ »}$
<i>CH⁴</i>	0,0030	$\times 0,6484 = 0,0019 \text{ »}$
<i>NH³</i>	0,0019	$\times 0,5752 = 0,0011 \text{ »}$
<i>H²S</i>	0,0009	$\times 0,5230 = 0,0005 \text{ »}$
		<hr/>
Всего		0,3669 Cal.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Это будетъ для 1°, при повышеніи же температуры съ 20°—1200° получимъ для количества тепла, заключеннаго въ 1 куб. м. влажнаго газа:

$$0,3669 \times 1180 = 432,9 \text{ Cal.}$$

Для влажнаго воздуха получимъ для 1° (въ томъ же предѣлѣ температуръ):

Воздухъ	1,3938	×	0,3359	=	0,4682 Cal.
Вода	0,0142	×	0,5230	=	0,0074 »
					Всего. . . 0,4756 Cal.

Количество же тепла, заключенное въ соответствующемъ количествѣ воздуха, при повышеніи температуры съ 20°—1200°, будетъ:

$$0,4756 \times 1180 = 561,2 \text{ Cal.}$$

3) Относительныя свободныя сѣченія регенераторовъ для газа и воздуха будутъ очевидно:

$$\frac{432,9}{561,2} = \frac{1}{1,3} = 0,77$$

или около 43,5% и 56,5% общей площади.

Газовыя и воздушныя заслонки и окна.

Отверстія для прохода газовъ и воздуха должны быть рассчитаны на скорость отъ 3 до 5 метровъ, въ случаѣ заслонокъ; для оконъ скорость эта должна быть отъ 10 до 20 метровъ въ зависимости отъ длины печи, если бы скорость была слишкомъ велика, то часть газовъ могла бы выйти изъ печи не сожженной.

Задача № 20. Мартеновская печь, производительностью въ 50 тоннъ стали въ теченіе 12 часовъ требуетъ сожженія 17,5 тоннъ угля, доставаяющихъ 15 тоннъ углерода газомъ. Анализъ влажныхъ газовъ такой же какъ въ задачѣ № 19, т.-е.

<i>CO</i>	24,47%
<i>CO</i> ²	3,96 »
<i>CH</i> ⁴	0,30 »
<i>H</i> ²	11,79 »
<i>H</i> ² <i>S</i>	0,09 »
<i>NH</i> ³	0,19 »
<i>N</i> ²	48,99 »
Воздуха	0,93 »
Воды	9,29 »

На 1 куб. м. этихъ газовъ приходится (согласно той же задачѣ) 1,408 куб. м. влажнаго воздуха. Газы и воздухъ поступаютъ въ печь при 1200°, а уходятъ послѣ горѣнія, предположеннаго полнымъ, при 1400°. Пусть скорость газовъ и воздуха при входѣ въ печь будетъ 10 метровъ въ секунду. Требуется опредѣлить:

1) Объемъ газовъ и воздуха при 20° и давленіи въ 720 мм. употребляемыхъ въ 1 секунду.

2) Площади оконъ для газа и для воздуха.

3) Скорость продуктовъ горѣнія при выходѣ изъ печи.

Рѣшеніе. Опредѣлимъ сначала количество углерода въ газѣ при нормальныхъ условіяхъ (0° и 760 мм.)

$$\begin{array}{r} CO 0,2447 \\ CO^2 0,0396 \\ CH^4 0,0030 \\ \hline 0,2873 \times 0,54 = 0,1551 \text{ kgr.} \end{array}$$

Въ теченіе же 12 часовъ

$$\frac{15000}{0,1551} = 96710 \text{ куб. м.}$$

что составляетъ въ секунду

$$\frac{96710}{12 \times 60 \times 60} = 2,24 \text{ куб. м.}$$

разумѣется при нормальныхъ условіяхъ, а при 20° и 720 мм.:

$$2,24 \times \frac{273 + 20}{273} \times \frac{760}{720} = 2,53 \text{ куб. м.}$$

Соотвѣтствующее количество воздуха будетъ, при нормальныхъ условіяхъ:

$$2,24 \times 1,408 = 3,15 \text{ куб. м. въ секунду,}$$

а при 20° и 720 мм.:

$$2,53 \times 1,408 = 3,56 \text{ куб. м.}$$

2) Объемъ газа и воздуха при 1200° и 720 мм. будутъ соотвѣтственно въ секунду:

$$2,24 \times \frac{1200 + 273}{273} \times \frac{760}{720} = 12,8 \text{ куб. м. газа}$$

$$3,15 \times \frac{1200 + 273}{273} \times \frac{760}{720} = 17,9 \text{ куб. м. воздуха.}$$

Допустивъ скорость въ 10 метровъ въ секунду, мы получимъ для площадей оконъ:

Для газа . . .	1,28 кв. метра
» воздуха. . .	1,79 »
Всего . . .	<u>3,07 кв. метра.</u>

3) Изъ реакцій горѣнія составныхъ частей газа (приведенныхъ въ задачѣ № 19) ясно, что объемъ продуктовъ горѣнія менѣ суммы объемовъ газа и воздуха, такъ какъ происходятъ сжатіе. Составимъ слѣдующую таблицу:

	CO	CH^4	H^2	H^2S	NH^3
Первоначальный объемъ.	1	1	1	1	1
Объемъ кислорода	0,5	2	0,5	1,5	1,75
Общій объемъ передъ горѣніемъ. .	1,5	3	1,5	2,5	2,75
Объемъ продуктовъ горѣнія	1	3	1	2	2,5
Сжатіе	0,5	0	0,5	0,5	0,25

На 1 куб. м. газа получится слѣдующее сжатіе:

CO . . .	$0,2447 \times 0,5 = 0,12235$	куб. м.
CH^4	$= 0$	
H^2	$0,1179 \times 0,5 = 0,05895$	»
H^2S . . .	$0,0009 \times 0,5 = 0,00045$	»
NH^3 , . . .	$0,0019 \times 0,25 = 0,00050$	»
	<u>Общее сжатіе = 0,18225</u>	куб. м.

Такъ какъ общій объемъ газа и воздуха, при нормальныхъ условіяхъ, 2,408 куб. м., то послѣ горѣнія онъ станетъ:

$$2,408 - 0,182 = 2,226.$$

Въ теченіе же минуты объемы продуктовъ горѣнія, при нормальныхъ условіяхъ, очевидно будутъ:

$$2,226 \times 2,24 = 4,986 \text{ куб. м.}$$

А при 1400° и давленіи 720 мм.:

$$4,986 \times \frac{1400 + 273}{273} \times \frac{760}{720} = 32,2 \text{ куб. м.}$$

Такъ какъ общая площадь оконъ газовыхъ и воздушныхъ = 3,07 кв. м., то скорость продуктовъ горѣнія будетъ:

$$\frac{32,2}{3,07} = 10,5 \text{ метра въ секунду.}$$

Рабочее пространство печи.

Рабочее пространство печи составляет пространство между подомъ, сводомъ и стѣнами; его размѣры измѣняются въ зависимости отъ емкости печи, но отчасти и произвольно. Допустимъ, что въ печи находятся одновременно 50 тоннъ расплавленной стали, объемъ занимаемый ею будетъ около 7 куб. м. Если взять глубину металлической ванны въ 40 см. (не слѣдуетъ превышать 50 см.) то поверхность ея будетъ

$$\frac{7}{0,4} = 17,5 \text{ кв. м.}$$

Можно, напримѣръ, положить отношеніе между длиною и шириною какъ 2:1, тогда мы будемъ имѣть соотвѣтственно 5,92 метра и 2,96 м. Кромѣ того слѣдуетъ оставить по сторонамъ и съ концовъ по 0,5 м., что дастъ приблизительно подѣ размѣрами

$$7 \times 4 \text{ м.}$$

Скорость газовъ въ печи зависитъ отъ ея поперечнаго сѣченія. Въ предыдущей задачѣ объемъ газовъ, при нормальныхъ условіяхъ, проходящихъ надъ ванною въ 1 секунду будетъ около 5 куб. м., а при температурѣ, скажемъ въ 1800°—38 куб. м.

Если ширинѣ въ 4 метра будетъ соотвѣтствовать, напримѣръ, 1,5 метра вышины, что дастъ для поперечной площади 6 кв. м., то скорость газовъ въ секунду будетъ

$$\frac{38}{6} = 6,34 \text{ м.,}$$

такъ что надъ подомъ въ 7 м. длины газы пройдутъ почти въ 1 секунду,—довольно короткій срокъ для успѣшности полного горѣнія въ предѣлахъ рабочаго пространства печи; въ данномъ случаѣ будетъ очень цѣлесообразно поднять сводъ насколько возможно выше или же удлинить печь.

Задача № 21. Имѣются слѣдующіе анализы газовъ при входѣ и выходѣ изъ мартеновской печи.

	При входѣ:	При выходѣ:
CO^2	5,5%	3,1%
O^2	2,3 »	0,7 »
CO	8,2 »	7,1 »
CH^4	7,3 »	0,0 »
H^2	39,8 »	11,6 »
N^2	36,9 »	77,5 »
	<hr/> 100,0%	<hr/> 100,0%

ТРЕБУЕТСЯ:

1) Опреѣлить, какая часть всей тепловой энергіи газа выдѣлилась въ рабочемъ пространствѣ печи.

2) Опреѣлить какую часть, употребленный на неполное горѣніе газовъ, воздухъ составляетъ отъ того количества, которое потребовалось бы для полного горѣнія.

РѢШЕНІЕ.

1) Въ 1 куб. м. газа содержится слѣдующее количество углерода:

$$(0,055 + 0,082 + 0,073) \times 0,54 = 0,1134 \text{ kgr.}$$

Въ 1 куб. м. продуктовъ горѣнія содержится углерода:

$$(0,071 + 0,031) \times 0,54 = 0,0551 \text{ kgr.}$$

Слѣдовательно одному куб. м. газа соотвѣтствуетъ

$$\frac{0,1134}{0,0551} = 2,06 \text{ куб. м.}$$

продуктовъ горѣнія.

Теплопроизводительная способность 1 куб. м. газа будетъ:

$$CO \dots\dots\dots 0,082 \times 3062 = 251 \text{ Cal.}$$

$$CH^4 \dots\dots\dots 0,073 \times 8598 = 627 \text{ »}$$

$$H^2 \dots\dots\dots 0,398 \times 2613 = 1040 \text{ »}$$

$$\text{Всего} \dots\dots 1918 \text{ Cal.}$$

Теплопроизводительная способность 1 куб. м. продуктовъ горѣнія:

$$CO \dots\dots\dots 0,071 \times 3062 = 217 \text{ Cal.}$$

$$H^2 \dots\dots\dots 0,116 \times 2613 = 303 \text{ »}$$

$$\text{Всего} \dots\dots 520 \text{ Cal.}$$

А такъ какъ объемъ продуктовъ горѣнія, соотвѣтствующій 1 куб. м. газа = 2,06 куб. м., то остается неиспользованной тепловой энергіей:

$$520 \times 2,06 = 1071 \text{ Cal.}$$

Въ рабочемъ пространствѣ печи такимъ образомъ выдѣляется всего:

$$1918 - 1071 = 847 \text{ Cal.},$$

составляющая:

$$\frac{847 \times 100}{1918} = 44,2\%$$

всей тепловой энергіи газовъ.

Для полного горѣнія 1 куб. м. газа потребуется слѣдующее количество кислорода:

$$\begin{array}{l} CO \dots\dots\dots 0,082 \times 0,5 = 0,041 \text{ куб. м.} \\ CH^4 \dots\dots\dots 0,073 \times 2,0 = 0,146 \quad \text{»} \\ H^2 \dots\dots\dots 0,398 \times 0,5 = 0,199 \quad \text{»} \\ \hline \text{Всего} \dots\dots\dots 0,386 \text{ куб. м.} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} O^2 \text{ уже находящійся въ газѣ} \dots\dots\dots 0,023 \text{ куб. м.} \\ \text{Добавочнаго кислорода} \dots\dots\dots 0,363 \quad \text{»} \end{array}$$

Соотвѣтствующій объемъ воздуха

$$\frac{0,363}{0,208} = 1,745 \text{ куб. м.}$$

2,06 куб. м. продуктовъ горѣнія потребовали бы добавочнаго кислорода для полного горѣнія:

$$\begin{array}{l} CO \dots\dots\dots 0,071 \times 2,06 \times 0,5 = 0,0731 \text{ куб. м.} \\ H^2 \dots\dots\dots 0,116 \times 2,06 \times 0,5 = 0,1195 \quad \text{»} \\ \hline \text{Всего} \dots\dots\dots 0,1926 \text{ куб. м.} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Уже имѣется } O^2 \dots\dots\dots 0,0070 \text{ куб. м.} \\ \text{Остается добавить } O^2 \dots\dots\dots 0,1856 \quad \text{»} \end{array}$$

чему соотвѣтствуетъ:

$$\frac{0,1856}{0,208} = 0,892 \text{ куб. м. воздуха.}$$

А такъ какъ мы только что вычислили, что для полного горѣнія 1 куб. м. газа потребовалось бы 1,745 куб. м. воздуха, то для неполнаго горѣнія, происходящаго въ рабочемъ пространствѣ, было употреблено:

$$1,745 - 0,892 = 0,853 \text{ куб. м.}$$

воздуха и искомое отношеніе будетъ:

$$\frac{0,853 \times 100}{1,745} = 48,9\%$$

Ясно, что утилизація тепловой энергіи, въ данномъ случаѣ, не изъ экономичныхъ.

Воровки и труба.

Перегорѣвшіе газы, пройдя черезъ регенераторы, имѣютъ температуру въ 150—450°, въ среднемъ 300°. Для расчета сѣченія боровковъ можно взять для скорости газовъ отъ 2 до 3 метровъ въ се-

кунду. Для трубы лучше допустить скорость въ 5 метровъ. Чаше всего высота въ 25—30 метровъ вполне подходяща.

ГЛАВА XI.

Тепловой балансъ мартеновской печи.

Статьи прихода тепла.

- 1) Теплота въ продуктахъ погрузки.
- 2) Теплота въ газѣ при поступленіи въ регенераторы при печи.
- 3) То же для воздуха.
- 4) Теплота соответствующая полному сгоранію газа.
- 5) Теплота выдѣляемая при окисленіи составныхъ частей продуктовъ погрузки.
- 6) Теплота выдѣляемая при образованіи шлака.

Статьи расхода тепла.

- 1) Теплота въ расплавленной стали.
- 2) Теплота поглощенная при возстановленіи желѣза изъ руды.
- 3) Теплота идущая на разложеніе известняка, служащаго флюсомъ.
- 4) Теплота теряемая при испареніи воды.
- 5) Теплота поглощаемая при возстановленіи Fe^2O^3 или Fe^3O^4 изъ руды въ шлакъ подъ видомъ FeO .
- 6) Теплота въ шлакѣ.
- 7) Теплота теряемая отъ неполнаго горѣнія.
- 8) Теплота уносимая газами въ трубу.
- 9) Теплота поглощаемая водою для охлажденія.
- 10) Теплота теряемая теплопроводностью земли.
- 11) Теплота теряемая конвекціей.
- 12) Теплота теряемая излученіемъ.

Статьи прихода тепла.

1. Теплота въ продуктахъ погрузки. Если чугуны погружаются не въ холодномъ, а въ расплавленномъ видѣ, то получается для печи громадное уменьшеніе расхода тепловой энергіи. Въ среднемъ можно положить 275 Cal. на 1 kgr. чугуна. Нужно однако замѣтить, что коэффициентъ использованія тепла въ мартеновской печи будетъ нѣсколько меньше въ случаѣ погрузки горячаго чугуна, такъ какъ поглощеніе тепла горячихъ газовъ (достигающихъ 1900°) про-

исходитъ относительно скорѣе, если имъ приходится дѣйствовать на холодный чугунъ вмѣсто горячаго. Скрапъ обыкновенно погружается холоднымъ. Ферро-марганецъ погружается иногда въ холодномъ, но чаще въ нагрѣтомъ видѣ (градусовъ до 900), для скорѣйшаго растворенія въ металлической ваннѣ.

Известнякъ и руда почти всегда погружаются холодными.

2) Теплота въ газѣ при поступленіи въ регенераторы при печи. Объемъ расходуемаго газа не трудно опредѣлить, зная количество сожженнаго въ теченіи опредѣленнаго времени угля и составъ газа. Можно также приблизительно вычислить количество поступающаго газа, зная сѣченіе газопровода и опредѣливъ, тѣмъ или инымъ способомъ, его скорость и проч.

Зная, кромѣ того, температуру газа, легко вычислить количество содержащейся въ немъ теплоты.

3. Теплота приносимая воздухомъ. Количество воздуха лучше всего вычисляется, сравнивая между собою анализы продуктовъ горѣнія уносимыхъ въ трубу и самихъ газовъ до горѣнія, по извѣстному намъ способу. Нужно однако лишь подсчитать то количество теплоты, которое непосредственно приносится воздухомъ извнѣ, а не то, которое было бы поглощено имъ отъ его предварительнаго нагрѣва теплою теряемой печью подъ тѣмъ или инымъ видомъ.

4. Теплота соответствующая полному сгоранію газа.

Это самая главная статья прихода тепла. Если въ дѣйствительности горѣніе происходитъ неполное то, судя по анализу газовъ покидающихъ печь, выводятъ заключеніе о томъ количествѣ тепла, которое впослѣдствіи выдѣлится въ регенераторѣ, если же и тамъ горѣніе будетъ не полное, то судя по анализу газовъ, уносимыхъ въ трубу, рассчитываютъ потерю тепла. Для процесса самое выгодное чтобы полное горѣніе произошло въ рабочей части печи.

5. Теплота выдѣляемая при окисленіи составныхъ частей продуктовъ погрузки.

Это тоже крупная статья прихода, тѣмъ болѣе, что выдѣляемое при окисленіи *C*, *Si*, *Mn*, *Fe*, *P* и *S* количество тепла непосредственно поглощается металлической ванной.

6. Теплота выдѣляемая при образованіи шлака.

Ее рассчитываютъ приближенно на основаніи извѣстныхъ намъ соображеній.

Статьи расхода тепла.

1. Теплота въ расплавленной стали.

Это одна изъ важнѣйшихъ статей расхода. Самое лучшее произвести калориметрическое наблюденіе въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ.

Можно также судить о количествѣ тепла по температурѣ и составу стали, если имѣются данныя для сравненія. Наблюдались значенія въ 275 и 350 Cal. на каждый kgr.

2. Теплота поглощенная при возстановленіи желѣза изъ руды.

Для окисленія часто употребляютъ желѣзную руду Fe^2O^3 или Fe^3O^4 . На 1 kgr. Fe , возстановленнаго изъ первой, приходится 1746 Cal., а изъ второй 1612 Cal.

3. Теплота, идущая на разложеніе известняка, служащаго флюсомъ.

Чтобы избѣжать пыли отъ употребленія гашеной извести обыкновенно пользуются негашеной, при чемъ поглощается:

451 Cal.	на 1 kgr.	разложившейся	$CaCO^3$
1026	»	»	образовавшейся CO^2
806	»	»	полученной CaO .

4. Теплота теряемая при испареніи воды.

При испареніи воды, сопровождающей руду, скрапъ, или флюсъ, самое лучшее произвести расчетъ, пользуясь для скрытой теплоты испаренія величиной 606,5 Cal. на 1 kgr воды, а въ дальнѣйшемъ поступать съ парами, теоретически полученными при 0^0 , какъ съ другими газами при вычисленіи количества тепла уносимаго въ трубу.

5. Теплота поглощаемая при возстановленіи Fe^2O^3 или Fe^3O^4 изъ руды въ шлакъ подъ видомъ FeO .

Часть желѣза изъ руды не возстановляется полностью, а попадаетъ подъ видомъ FeO въ шлакъ; при этомъ поглощается:

на 1 kgr. Fe	частично возстановленный изъ Fe^2O^3	573 Cal.
» 1 » Fe	» » » Fe^3O^4	439 »

или въ другомъ видѣ:

на 1 kgr. FeO	изъ Fe^2O^3	446 Cal.
» 1 » FeO	» Fe^3O^4	341 »

6. Теплота въ шлакѣ.

Въ обыкновенномъ мартеновскомъ процессѣ количество теплоты, такимъ образомъ теряемое, не особенно велико, но если приходится пользоваться большимъ количествомъ руды, какъ, напримѣръ, въ Монеллевскомъ процессѣ, то эта статья можетъ стать весьма значительною. Въ виду большой разницы въ составѣ шлаковъ и той температуры, при которой они выпускаются, самое лучшее, въ каждомъ частномъ случаѣ, произвести калориметрическое измѣреніе. При при-

близительныхъ расчетахъ можно положить отъ 450—550 Cal. на 1 kgr. шлака.

Вѣсъ шлака можно опредѣлить на основаніи его анализа и извѣстнаго количества *Mn*, *P* или *Fe* попавшаго въ него.

7. Теплота теряемая отъ неполнаго горѣнія.

Ее рассчитываютъ, извѣстнымъ намъ образомъ, на основаніи анализа газовъ уносимыхъ въ трубу и количества этихъ газовъ соотвѣствующихъ 1 тоннѣ стали.

8. Теплота уносимая газами въ трубу.

Количество этихъ газовъ, соотвѣтствующее 1 тоннѣ стали, опредѣляется на основаніи ихъ анализа и извѣстнаго, по расчету, вѣса углерода, долженствующаго въ нихъ находиться. Не надо забыть принять въ расчетъ также и количество паровъ воды сопровождающее эти газы.

9. Теплота поглощаемая водою для охлажденія.

Ее не трудно опредѣлить, зная количество расходуемой воды въ минуту и разницу температуръ при входѣ и выходѣ.

10. Теплота теряемая теплопроводностью земли.

Въ виду неопредѣленности этого количества, сюда относятъ тотъ остатокъ который получится за вычетомъ изъ всѣхъ извѣстныхъ статей прихода — расходъ по другимъ статьямъ.

11 и 12. Теплота теряемая конвекціей и излученіемъ.

Какъ ту, такъ и другую возможно вычислить съ достаточною степенью точности, примѣняя формулы и таблицы сюда относящіяся, какъ то было показано на примѣрѣ съ бессемеровскимъ конверторомъ.

Задача № 22. Мартеновская печь работаетъ при нижеслѣдующихъ условіяхъ:

Вѣсъ холодной завалки при 26°	3745 kgr.
» горячей » » 700° . .	1700 »

Средній составъ завалки:

<i>C</i> — 1,07°/о;	<i>Si</i> — 0,50°/о;	<i>Mn</i> = 1,33°/о.
Расходъ угля въ генераторѣ . . .	1980 kgr.	
Углерода газифицировано	47,13°/о	

Средній анализъ генераторнаго газа:

<i>CO</i> ²	3,81
<i>O</i> ² . .	0,98
<i>CO</i> .	23,82
<i>CH</i> ⁴ . .	0,42
<i>H</i> ² . .	8,75
<i>N</i> ² . .	62,22
	100,000

Воды, сопровождающей 1 куб. м. сухого газа	= 82 gr.
Температура газа при поступлении въ регенераторъ	= 165°
Температура воздуха	= 26°
Воды, сопровождающей 1 куб. м. сухого воздуха	= 12 gr.
Высота барометра	= 717 mm.
Количество полученной стали	= 5191 kgr.

Составъ стали:

C — 0,12%;	Si — 0,04%;	Mn — 0,19%.
Температура стали при выпускѣ	= 1410°	
Теплота въ 1 kgr. стали (калориметр.)	= 277 Cal.	
Количество полученнаго шлака	= 425 kgr.	

Составъ шлака:

SiO^2 — 45,65%;	FeO — 33,60%;	MnO — 18,21%;	CaO — 2,54%.
Температура шлака при выпускѣ	= 1410°		
Теплота въ 1 kgr. шлака (калориметр.)	= 560 Cal.		

Составъ газовъ поступающихъ въ трубу:

CO^2 = 11,12%;	O^2 = 6,78%;	N^2 = 82,10%.
Температура газовъ въ боровкѣ	= 500°.	

На основаніи вышеизложеннаго требуется:

- 1) Составить балансъ матеріаловъ.
- 2) Составить тепловой балансъ.
- 3) Опреѣлнить избытокъ воздуха сверхъ-теоретически необходимаго для горѣнія, а также процентную потерю тепла отъ сего происходящую.
- 4) Опреѣлнить тепловой коэффициентъ полезнаго дѣйствія печи.

Рѣшеніе:

БАЛАНСЪ МАТЕРІАЛОВЪ.

		Сталь.	Шлакъ.	Газы.
Металла всего	5445			
C	58	6	—	52
Si	27	2	25	—
Mn	72	10	62	—
Fe	5288	5173	115	—
Известняка всего	20			
CaO	11	—	11	—
C	2,5	—	—	2,5
O	6,5	—	—	6,5

		Сталь.	Шлакъ.	Газы.
Разъѣдено пода, всего	132			
SiO^2	132	—	132	—
Газовъ генераторныхъ всего	7884			
C	933	—	—	933
O	2003	—	—	2003
H	118	—	—	118
N	4830	—	—	4830
Воздуха всего.	16026			
O	3812	—	80	3732
N	12195	—	—	12195
H	19	—	—	19
Общій вѣсъ	29507	5191	425	23891

Примѣчанія къ балансу матеріаловъ.

Распредѣленіе C , Si , Mn и Fe , находящихся въ 5445 kgr. металла, легко сдѣлать, такъ какъ извѣстно количество и составъ полученной стали. Избытокъ C —52 kgr. попадаетъ въ газы, образуя CO^2 , а избытокъ Si , Mn и Fe идетъ въ шлакъ, образуя SiO^2 , MnO и FeO . Количество употребленнаго известняка не дано въ заданіи, но его легко вывести, зная общій вѣсъ шлака и его анализъ. Дѣйствительно: вѣсъ шлака 425 kgr., содержащихъ 2,54% CaO т.-е. 11 kgr., чему соответствуетъ 9 kgr. CO^2 , содержащихъ, въ свою очередь, 2,5 kgr. C и 6,5 kgr. O , относимыхъ къ газамъ.

Вѣсъ разѣденной части пода — (SiO^2) получается за вычетомъ изъ 425 kgr. вѣса уже опредѣленной части шлака, составляющей 293 kgr.:

SiO^2	$25 \times \frac{60}{28} = 54$ kgr.
MnO	$62 \times \frac{71}{55} = 80$ »
FeO	$115 \times \frac{72}{56} = 148$ »
CaO	$= 11$ »
	Всего. 293 kgr.
Разъѣдено пода.	132 kgr.
	Всего шлака. 425 kgr.

Количество употребленнаго генераторнаго газа опредѣлится слѣдующимъ образомъ: намъ извѣстно, что 47,13% отъ 1980 kgr. угля, т.-е. 933 kgr. C было газифицировано; согласно анализа на 1 куб. м.

сухого газа приходится 0,2805 куб. м. суммы объемов CO^2 , CO и CH^4 , чѣму соотвѣтствуетъ:

$$0,2805 \times 0,54 = 0,1515 \text{ kgr. } C.$$

Слѣдовательно объемъ сухого генераторнаго газа будетъ:

$$\frac{933}{0,1515} = 6160 \text{ куб. м.}$$

А произведя расчетъ:

CO^2	. . .	$6160 \times 0,0381 = 235$	куб. м. =	465	kgr.
O^2$	. . . . .	6160 \times 0,0098 = 60$	»	=	86 »
CO$	. . . . .	6160 \times 0,2382 = 1467$	»	=	1847 »
CH^4$	. . . . .	6160 \times 0,0042 = 26$	»	=	19 »
H^2$	. . . . .	6160 \times 0,0875 = 539$	»	=	49 »
N^2$	. . . . .	6160 \times 0,6222 = 3833$	»	=	4830 »
Всего					<u>6160 куб. м. = 7296 kgr.</u>

Что касается влаги, то по заданію 1 куб. м. сухого газа, при 26° и 717 мм., соотвѣтствуетъ 82 г. воды—6160 куб. м. (при 0° и 760 мм.) превращаются въ 7175 куб. м., а слѣдовательно вѣсъ воды будетъ:

$$\frac{7175 \times 82}{1000} = 588 \text{ kgr.}$$

Общій вѣсъ газа будетъ такимъ образомъ 7884 kgr., а произведя расчетъ мы получимъ для его элементарнаго состава:

C		933	kgr.
O		2003	»
H		118	»
N	. . .	4830	»
Всего		<u>7884</u>	kgr.

Для того чтобы вычислить количество дѣйствительно употребленнаго воздуха, поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Намъ уже извѣстно, что общее количество C въ газахъ будетъ:

$$52 + 2,5 + 933 = 987,5 \text{ kgr.},$$

а такъ какъ, согласно анализа, 1 куб. м. перегорѣвшихъ газовъ содержитъ 0,1112 куб. м. CO^2 , чему соотвѣтствуетъ:

$$0,1112 \times 0,54 = 0,060 \text{ kgr. } C,$$

то слѣдовательно: общій объемъ газовъ уносимыхъ въ трубу будетъ:

$$\frac{087,5}{0,060} = 16458 \text{ куб. м.}$$

Объемъ азота въ этихъ газахъ будетъ согласно анализа:

$$16458 \times 0,8210 = 13512 \text{ куб. м.,}$$

а такъ какъ 3833 куб. м. N^2 поступили въ печь изъ газогенератора, то разница 9679 куб. м. была принесена воздухомъ, служившимъ для горѣнія. Легко видѣть что общій объемъ этого воздуха (при нормальныхъ условіяхъ) будетъ 12220 куб. м., а слѣдовательно объемъ его кислорода 2541 куб. м. По вѣсу же этотъ воздухъ будетъ содержать 12195 kgr. N^2 и 3660 kgr. O^2 . Сюда надо, однако, еще присчитать вѣсъ паровъ воды. При 26° и давленіи 717 mm. объемъ воздуха станетъ 14230 куб. м., а такъ какъ, по заданію, 1 куб. м. этого воздуха сопровождается 12 гр. воды, то общій вѣсъ паровъ воды будетъ:

$$\frac{14230 \times 12}{1000} = 171 \text{ kgr.,}$$

изъ коихъ $H^2 = 19$ kgr., а $O = 152$ kgr. Для баланса матеріаловъ мы будемъ имѣть:

O	. . . . .	3812 kgr.
N	. . . . .	12195 »
H	. . . . .	19 »
Вѣсъ воздуха	. . . . .	<u>16026 kgr.</u>

2) Тепловой балансъ.

Приходъ тепла

Теплота въ завалкѣ	189·210 Cal.	= 2,45%
» » воздухѣ	99·480 »	= 1,29 »
» » газахъ	360·550 »	= 4,68 »
» отъ горѣнія газовъ	6·202·300 »	= 80,44 »
» » окисленія продуктовъ	833·600 »	= 10,81 »
» » образованія шлака	24·200 »	= 0,31 »
Всего	<u>7·709·340 Cal.</u>	= 100,00%

Расходъ тепла

Тепла въ стали	1·437·900 Cal.	= 18,65%
» на разложеніе известняка	9·200 »	= 0,12 »
» въ шлакѣ	238·000 »	= 3,09 »
» уносимая газами въ трубу	3·065·350 »	= 39,76 »
» по другимъ статьямъ	<u>2·958·890 »</u>	= 38,38 »
Всего	<u>7·709·340 Cal.</u>	= 100,00%

ПРИМЪЧАНІЯ КЪ ТЕПЛОВОМУ БАЛАНСУ.

Теплота въ завалкѣ можетъ быть вычислена положивъ, напр., для средней теплоемкости горячей завалки между 0° и 700° — 0,15, а холодной завалки между 0 и 26° — 0,11:

$$\begin{aligned} 1700 \times 0,15 \times 700 &= 178 \cdot 500 \text{ Cal.} \\ 3745 \times 0,11 \times 26 &= 10 \cdot 710 \text{ »} \\ \text{Всего . . .} & \underline{189 \cdot 210 \text{ Cal.}} \end{aligned}$$

Объемъ паровъ воды, сопровождающихъ (при нормальныхъ условіяхъ) $12 \cdot 220$ куб. м. воздуха будетъ:

$$\frac{171}{0,81} = 211 \text{ куб. м.}$$

И расчетъ количества приносимаго тепла влажнымъ воздухомъ, при 26° , дастъ:

$$\begin{aligned} 12 \cdot 220 \times 0,3037 \times 26 &= 98 \cdot 490 \text{ Cal.} \\ 211 \times 0,3439 \times 26 &= 990 \text{ »} \\ \text{Всего . . .} & \underline{99 \cdot 480 \text{ Cal.}} \end{aligned}$$

Расчетъ теплоты приносимой генераторными газами при 165° будетъ:

O^2, CO, H^2, N^2	$5899 \times 0,3075 =$	1814 Cal.
CO^2	$235 \times 0,4063 =$	95 »
CH^4	$26 \times 0,4163 =$	11 »
H^2O	$726 \times 0,3648 =$	265 »
На 1° приходится тепла		2185 Cal.
при 165°	$2185 \times 165 =$	<u>$360 \cdot 525 \text{ Cal.}$</u>

Расчетъ теплоты выдѣляемой при полномъ горѣніи генераторнаго газа будетъ:

CO	$1467 \times 3062 =$	$4 \cdot 492 \cdot 000 \text{ Cal.}$
CH^4	$26 \times 8598 =$	$223 \cdot 500 \text{ »}$
H^2	$539 \times 2613 =$	<u>$1 \cdot 486 \cdot 800 \text{ »}$</u>
Всего		$6 \cdot 202 \cdot 300 \text{ Cal.}$

При окисленіи элементовъ металлической ванны выдѣлится:

C въ CO^2	$52 \times 8100 =$	$421 \cdot 200 \text{ Cal.}$
Si » SiO^2	$25 \times 7000 =$	$175 \cdot 000 \text{ »}$
Mn » MnO	$62 \times 1653 =$	$102 \cdot 500 \text{ »}$
Fe » FeO	$115 \times 1173 =$	<u>$134 \cdot 900 \text{ »}$</u>
Всего		$833 \cdot 600 \text{ Cal.}$

Для вычисленія количества тепла выдѣляемаго при образованіи шлака мы положимъ, что 1 kg. SiO^2 выдѣляетъ при соединеніи съ MnO , FeO и CaO въ среднемъ 130 Cal., что дастъ для 186 kg. SiO^2 :

$$186 \times 130 = 24 \cdot 200 \text{ Cal.}$$

Такимъ образомъ мы покончили съ статьями прихода тепла. Перейдемъ къ статьямъ расхода. Количество тепла въ 5191 kg. будетъ:

$$5191 \times 277 = 1 \cdot 437 \cdot 900 \text{ Cal.}$$

Шлакъ содержитъ:

$$425 \times 560 = 238 \cdot 000 \text{ Cal.}$$

Такъ какъ при разложеніи 20 kg. известняка получается 9 kg. CO^2 , а на 1 kg. CO^2 приходится 1026 Cal., то всего израсходуется:

$$9 \times 1026 = 9 \cdot 200 \text{ Cal.}$$

Для расчета теплоты уносимой газами въ трубу поступаютъ слѣдующимъ образомъ: 16·458 куб. м. газа содержатъ согласно анализа:

CO^2	1·830 куб. м.
O^2 .	1·116 »
N^2 .	13·512 »

и кромѣ того легко рассчитать что объемъ паровъ воды, соответствующихъ всему присутствующему водороду,—около 1500 куб. м. Тогда мы получимъ:

$N^2 + O^2$	$14628 \times 0,3165 =$	4629,8 Cal.
CO^2	$1830 \times 0,4800 =$	878,4 »
H^2O	$1500 \times 0,4150 =$	622,5 »
На 1° приходится тепла		6·130,7 Cal.
при 500°	$6130,7 \times 500 =$	3·065·350 Cal.

3) Избытокъ воздуха опредѣляется слѣдующимъ образомъ. Въ газахъ уносимыхъ въ трубу содержится 1116 куб. м. кислорода, чему соответствуетъ избытокъ воздуха:

$$\frac{1116}{0,208} = 5365 \text{ куб. м.}$$

Такимъ образомъ, въ дѣйствительности требовалось лишь:

$$12220 - 5365 = 6855 \text{ куб. м.}$$

воздуха и избытокъ составляетъ:

$$\frac{5365 \times 100}{6855} = 78\%$$

что очевидно весьма много. На избытокъ воздуха падаетъ слѣдующее количество паровъ воды:

$$171 \times \frac{78}{178} = 75 \text{ kgr.},$$

коихъ объемъ, при нормальныхъ условіяхъ, будетъ:

$$\frac{75}{0,81} = 93 \text{ куб. м.}$$

Избытокъ воздуха, съ сопровождающими его парами воды, уносить въ трубу слѣдующее количество тепла при 500°:

$$\begin{aligned} 5365 \times 0,3165 \times 500 &= 849 \cdot 000 \text{ Cal.} \\ 93 \times 0,4150 \times 500 &= 19 \cdot 300 \text{ »} \\ \hline \text{Всего. . . .} & 868 \cdot 300 \text{ Cal.} \end{aligned}$$

Потеря будетъ:

$$\frac{868 \cdot 300 \times 100}{7 \cdot 709 \cdot 340} = 11,3\%$$

4) Тепловой коэффициентъ полезнаго дѣйствія печи будетъ:

$$18,65 + 0,12 = 18,77\%$$

Задача № 23. Будемъ снова имѣть дѣло съ мартеновской печью предыдущей задачи, производящей 5191 kgr. стали при слѣдующихъ условіяхъ:

	Генераторный газъ.	Воздухъ.	Перегорѣвшій газъ.
CO^2	235 куб. м.	—	1830 куб. м.
O^2	60 »	2541 куб. м.	1116 »
CO	1467 »	— »	— »
CH^4	26 »	— »	— »
H^2	539 »	— »	— »
N^2	3833 »	9679 »	13512 »
H^2O	726 »	211 »	1500 »
	<u>6·886 куб. м.</u>	<u>12·431 куб. м.</u>	<u>17·958 куб. м.</u>

Температура воздуха 26°, генераторнаго газа 165°, перегорѣвшихъ газовъ, уносимыхъ въ трубу, 400°. Избытокъ воздуха 78%. Генераторный газъ и воздухъ, при поступленіи въ печь, имѣютъ 1100°. Продукты горѣнія, поступаая въ регенераторъ 1450°.

Тепловой балансъ тотъ же что и въ задачѣ № 22, имѣется лишь нѣкоторая разница въ статьяхъ расхода тепла, а именно въ виду того, что температура газовъ, уносимыхъ въ трубу, теперь 400° вмѣсто 500°, соответствующая потеря тепла будетъ = 2·412·500 Cal., какъ мы увидимъ далѣе, произведя вычисленіе, вмѣсто 3·065·350 Cal. Очевидно также что расходъ по другимъ статьяммъ, вмѣстѣ взятымъ, также нѣсколько измѣнится и станетъ 3·611·740 Cal. вмѣсто 2·958·890 Cal., такъ какъ общій итогъ прихода и расхода тепла остался безъ измѣненія = 7·709·340 Cal.

Требуется опредѣлить: 1) Тепловой коэффициентъ производительности регенераторовъ.

2) Тепловой коэффициентъ рабочей части печи.

3) Температуру пламени.

4) Какое измѣненіе въ температурѣ пламени произошло бы если-бы не было избытка воздуха?

Рѣшеніе. 1) Продукты горѣнія, поступаая въ регенераторъ при 1450°, приносятъ ему слѣдующее количество тепла:

CO^2	$1 \cdot 830 \times 0,689 =$	1261 Cal.
$O^2 + N^2$	$14 \cdot 628 \times 0,342 =$	5003 »
H^2O	$1 \cdot 500 \times 0,557 =$	836 »
На 1° приходится тепла		7·100 Cal.
при 1450°		10·295·000 Cal.

Тѣ же газы, поступаая въ боровокъ при 400°, уносятъ изъ регенератора:

CO^2	$1 \cdot 830 \times 0,458 =$	838,1 Cal.
$O^2 + N^2$	$14 \cdot 628 \times 0,314 =$	4·593,2 »
$H^2 + O$	$1 \cdot 500 \times 0,400 =$	600,0 »
На 1° приходится тепла		6·031,3 Cal.
при 400°		2·412·500 Cal.

Съ другой стороны, намъ уже извѣстно, что генераторный газъ при 165° приносить въ регенераторъ 360·550 Cal., а уноситъ изъ него при 1100°:

CO^2	$235 \times 0,612 =$	143,8 Cal.
CH^4	$26 \times 0,620 =$	16,1 »
O^2, N^2, H^2, CO	$5899 \times 0,333 =$	1964,4 »
H^2O	$726 \times 0,505 =$	366,6 »
На 1° приходится тепла		2·490,9 Cal.
при 1100°		2·740·000 Cal.

Такимъ образомъ регенераторъ передалъ газу:

$$2 \cdot 740 \cdot 000 - 360 \cdot 550 = 2 \cdot 379 \cdot 450 \text{ Cal.}$$

Для воздуха намъ уже извѣстно, что при 26° регенераторъ получаетъ $99 \cdot 480 \text{ Cal.}$, а теряетъ при 1100° :

$O^2 + N^2$	$12 \cdot 220 \times 0,333 =$	4070 Cal.
H^2O	$211 \times 0,405 =$	85 »
		$4 \cdot 155 \text{ Cal.}$
На 1° приходится тепла		$4 \cdot 155 \text{ Cal.}$
при 1100°		$4 \cdot 570 \cdot 500 \text{ Cal.}$

Воздуху передается регенераторомъ:

$$4 \cdot 570 \cdot 500 - 99 \cdot 500 = 4 \cdot 471 \cdot 000 \text{ Cal.}$$

Въ общей сложности регенераторы передали газу и воздуху:

$$2 \cdot 379 \cdot 450 + 4 \cdot 471 \cdot 000 = 6 \cdot 850 \cdot 450 \text{ Cal.}$$

Для вычисленія теплового коэффициента регенераторовъ, можно исходить изъ различныхъ соображеній, въ зависимости отъ того, какое количество тепла мы отнесемъ къ приходу регенераторовъ, тогда какъ полезный расходъ остается одинъ и тотъ же, а именно $6 \cdot 850 \cdot 450 \text{ Cal.}$

Во-первыхъ, можно отнести къ приходу полностью все количество тепла, приносимое перегорѣвшими газами при 1450° , $10 \cdot 295 \cdot 000 \text{ Cal.}$

Во-вторыхъ, разницу между этимъ количествомъ и теплотою уносимую въ трубу при 400° т.-е.

$$10 \cdot 295 \cdot 000 - 2 \cdot 412 \cdot 500 = 7 \cdot 882 \cdot 500 \text{ Cal.,}$$

и наконецъ въ третьихъ: нѣчто среднее между обоими количествами, если исходить изъ слѣдующихъ соображеній. Само собою разумѣется: что первый случай уже потому не можетъ соответствовать истинному тепловому коэффициенту регенераторовъ, что мы не обратили вниманіе на теплоту теряемую газами, уносимыми въ трубу, что же касается второго случая, то можно допустить, что тѣ $2 \cdot 412 \cdot 500 \text{ Cal.}$ теряемые газами, уходящими изъ регенераторовъ въ трубу при 400° , могли бы быть уменьшены, если-бы газы уходили при болѣе низкой температурѣ, напр., 300° , что вполнѣ достаточно для хорошей тяги. Въ послѣднемъ случаѣ расчетъ даетъ потерю въ $1 \cdot 777 \cdot 400 \text{ Cal.}$ и слѣдовательно приходъ тепла будетъ:

$$10 \cdot 295 \cdot 000 - 1 \cdot 777 \cdot 400 = 8 \cdot 517 \cdot 600 \text{ Cal.}$$

Тепловой коэффициентъ регенераторовъ будетъ въ послѣднемъ случаѣ:

$$\frac{6 \cdot 850 \cdot 450 \times 100}{8 \cdot 517 \cdot 600} = 80,5\%$$

Во второмъ случаѣ онъ былъ бы слишкомъ великъ, а именно:

$$\frac{6 \cdot 850 \cdot 450 \times 100}{7 \cdot 882 \cdot 500} = 87\%$$

А въ первомъ случаѣ безусловно слишкомъ малъ:

$$\frac{6 \cdot 850 \cdot 450 \times 100}{10 \cdot 295 \cdot 000} = 66,5\%$$

2) Тепловой коэффициентъ рабочей части печи. Расчетъ производится слѣдующимъ образомъ:

Теплота въ нагрѣтомъ газѣ	2 · 740 · 000 Cal.
» » воздухъ	4 · 570 · 500 »
» выдѣляемая при горѣніи	6 · 202 · 300 »
	Всего . . . 13 · 512 · 800 Cal.
Теплота, уносимая газами при 1450°.	10 · 295 · 000 Cal.
» остающаяся въ рабочей части печи	3 · 217 · 800 »

Искомый тепловой коэффициентъ будетъ слѣдовательно,

$$\frac{3 \cdot 217 \cdot 800 \times 100}{13 \cdot 512 \cdot 800} = 23,8\%$$

Другой способъ, сравнить между собою двѣ мартеновскія печи, это взять для каждой изъ нихъ отношеніе между полезно поглощенной теплотою (металлической ванной и шлакомъ) и общимъ количествомъ теплоты принесеннымъ и выдѣленнымъ въ рабочей части печи. Для данного случая мы получимъ:

$$\frac{1 \cdot 447 \cdot 100 \times 100}{13 \cdot 512 \cdot 800} = 10,7\%$$

3) Температура пламени будетъ отношеніе между общимъ количествомъ тепла 13 · 512 · 800 Cal. и тѣмъ количествомъ тепла, которое приходится на 1° температуры въ продуктахъ горѣнія. Такъ какъ послѣднее количество есть также функція температуры, то t опредѣляется изъ уравненія (квадратнаго):

$$\begin{aligned} CO^2 \dots\dots 1 \cdot 830 (0,37 + 0,00022 t) &= 677 + 0,4026 t \\ O^2 + N^2 \dots\dots 14 \cdot 628 (0,303 + 0,000027 t) &= 4428 + 0,3950 t \\ H^2O \dots\dots 1 \cdot 500 (0,34 + 0,00015 t) &= 510 + 0,2250 t \\ \text{На } 1^\circ \text{ приходится тепла} \dots\dots &= 5615 + 1,0226 t \end{aligned}$$

Слѣдовательно,

$$t = \frac{13 \cdot 512 \cdot 800}{5615 + 1,0226 t} = 1810^{\circ}.$$

4) Предположимъ теперь, что лишь теоретически необходимое количество воздуха для горѣнія участвуетъ въ процессѣ. Вычислимъ, какую температуру достигнуть продукты горѣнія.

Намъ уже извѣстно, что 78% избытка воздуха приносятъ съ собою 93 куб. м. H^2O , слѣдовательно, если этого избытка не будетъ, то объемъ паровъ воды въ продуктахъ горѣнія будетъ не 1500 куб. м., а 1407 куб. м.

Одновременно будутъ отсутствовать лишніе 5365 куб. м. воздуха и составъ продуктовъ горѣнія будетъ:

$$CO^2 — 1830 \text{ куб. м.}; \quad N^2 — 9263 \text{ куб. м.}$$

и

$$H^2O — 1407 \text{ куб. м.}$$

По расчету, аналогичному съ вышеприведеннымъ, мы получимъ въ продуктахъ горѣнія на 1^o температуры:

$$(3962 + 0,8637 t) \text{ Cal.}$$

Съ другой стороны приходъ тепла будетъ нѣсколько меньше $13 \cdot 512 \cdot 800 \text{ Cal.}$, такъ какъ 78% избытка воздуха теперь отсутствуютъ. Нами было вычислено, что прежде воздухъ приносилъ съ собою при $1100^{\circ} — 4 \cdot 570 \cdot 500 \text{ Cal.}$, слѣдовательно въ 78% избытка воздуха содержалось:

$$4 \cdot 570 \cdot 500 \times \frac{78}{178} = 2 \cdot 002 \cdot 000 \text{ Cal.}$$

И общій приходъ тепла будетъ:

$$13 \cdot 512 \cdot 800 — 2 \cdot 002 \cdot 000 = 11 \cdot 510 \cdot 800 \text{ Cal.}$$

Слѣдовательно,

$$t = \frac{11 \cdot 510 \cdot 800}{3962 + 0,8637 t} = 2020^{\circ}.$$

Такимъ образомъ мы видимъ, что устраненіе 78% убытка воздуха повышаетъ температуру пламени въ рабочей части печи на 210° .

Задача № 24. Для нѣкоторыхъ цѣлей пользуются особымъ типомъ регенераторныхъ печей Сименса, въ которыхъ газогенераторъ построенъ подъ подомъ между обоими воздушными регенераторами а газъ поступаетъ въ печь безъ предварительнаго нагрѣва. Такіе печи очень компактны и экономичны, онѣ служатъ въ небольшихъ

заводахъ для плавленія стали или чугуна передъ отливкой. Въ такой печи плавится въ теченіе 4 часовъ 3000 kgr. чугуна, причемъ расходуется 750 kgr. угля. Чугунъ нагружается холоднымъ и выпускается при 1450°, содержа 300 Cal. въ каждомъ kgr. Анализы угля и газовъ слѣдующіе:

Уголь:

$C = 75$	%
$H = 5$	»
$O = 12$	»
$H^2O = 2$	»
Золы = 6	»

Генераторный газъ:

$CO = 20$	%
$CO^2 = 5$	»
$CH^4 = 2$	»
$H^2 = 16$	»
$N^2 = 57$	»

Перегорѣвшій газъ:

$CO^2 = 19$	%
$O^2 = 1,8$	»
$N^2 = 79,2$	»

Наружный воздухъ имѣетъ температуру 0° и сухъ. Для доставленія газогенератору воздуха имѣется паровой вентиляторъ, расходующій 1 kgr. пара на каждые 6 kgr. воздуха, а для полученія 1 kgr. пара расходуется подъ котлами 0,1 kgr. угля. Остается золы съ примѣсью кокса 75 kgr. Температура генераторныхъ газовъ 600°, нагрѣтаго воздуха 1000°. При выходѣ изъ печи перегорѣвшіе газы имѣютъ температуру 1400°, а при входѣ въ трубу 350°.

ТРЕБУЕТСЯ:

- 1) Составить тепловой балансъ.
- 2) Определить тепловой коэффициентъ полезнаго дѣйствія печи.
- 3) То же, но для рабочей части печи.
- 4) То же, но для регенераторовъ.
- 5) Определить теоретическую температуру пламени.

РѢШЕНІЕ.

Тепловой балансъ.

Приходъ тепла:

Отъ сгорания угля въ газогенераторѣ . . .	5 · 248 · 500 Cal.
» » » подъ котлами	398 · 900 »
Всего . . .	<u>5 · 647 · 400 Cal.</u>

РАСХОДЪ ТЕПЛА:

Въ расплавленномъ чугуна	900 · 000 Cal.
Въ продуктахъ горѣнія	768 · 950 »
Потеря отъ кокса въ золѣ	243 · 000 »
На поднятіе пара	398 · 900 »
На всѣ другія статьи	3 · 336 · 550 »
Всего	<u>5 · 647 · 400 Cal.</u>

Примѣчанія въ тепловому балансу.

Расчетъ количества тепла, выдѣляемаго при сгораніи 1 kgr. угля, будетъ слѣдующій:

C	$0,75 \times 8100$	=	6075 Cal.
H	$\left(0,05 - \frac{0,12}{8}\right) \times 34500$	=	<u>1208 »</u>
Всего			7283 Cal.

Потеря при испареніи воды:

	$(0,02 + 0,45) \times 606,5$	=	<u>285 »</u>
Отъ сгоранія 1 kgr. угля		=	6 · 998 Cal.
» 750 »		=	5 · 248 · 500 »

Расчетъ количества тепла, выдѣленнаго углемъ сожженнымъ подъ котлами, производится слѣдующимъ образомъ:

C въ углѣ —	$750 \times 0,75$	=	562,5 kgr.
C въ золѣ =	$75 - 0,06 \times 750$	=	<u>30,0 »</u>
C въ генераторномъ газѣ		=	532,5 kgr.
C въ 1 куб. м. генер. газа =	$0,27 \times 0,54$	=	0,1458 »
Объемъ генер. газа =	$\frac{532,5}{0,1458}$	=	3652 куб. м.
Азота въ генер. газѣ =	$3652 \times 0,57$	=	2082 »
Объемъ употребленнаго воздуха =	$\frac{2082}{0,792}$	=	2629 »
Вѣсъ воздуха =		=	3399 kgr.
C въ 1 куб. м. перегорѣвшихъ газовъ =		=	
	$0,19 \times 0,54$	=	0,1026 »
Объемъ перегорѣвшихъ газовъ =	$\frac{532,5}{0,1026}$	=	5190 куб. м.
N^2 въ перегор. газахъ =	$5190 \times 0,792$	=	4110 »
N^2 изъ воздуха =	$4110 - 2082$	=	2028 »
Объемъ воздуха для горѣнія =	$\frac{2028}{0,792}$	=	2561 »
Вѣсъ этого воздуха =		=	3311 »

Вѣсь пара употребленнаго въ газогенера-
торѣ $\frac{3399}{6} = 567$ куб. м.
Вѣсь употребленнаго угля $= 57$ »
Количество тепла соотвѣтствующее
этому углю $= 57 \times 6998 = 398 \cdot 900$ Cal.

Статьи расхода тепла.

Въ расплавленномъ чугуна
 $300 \times 3000 = 900 \cdot 000$ Cal.

Потеря отъ кокса въ золѣ:
 $30 \times 8100 = 243 \cdot 000$ Cal.

2) Тепловой коэффициентъ полезнаго дѣйствія печи будетъ:

$$\frac{900 \cdot 000 \times 100}{5 \cdot 647 \cdot 400} = 16\%$$

3) Согласно анализа 5190 куб. м. перегорѣвшихъ газовъ будутъ содержать:

CO^2$	. . . . .	5190 \times 0,19 = 986$	куб. м.
O^2$	. . . . .	5190 \times 0,018 = 93$	»
N^2$	. . . . .	5190 \times 0,792 = 4111$	»
Всего			5190 куб. м.

Кромѣ того мы имѣемъ:

Воды въ углѣ	$= 0,47 \times 750$	$= 352$	kg.
Пара		$= 567$	»
Вѣсь воды въ перегорѣвшихъ газахъ		$= 919$	kg.
Объемъ	$= \frac{919}{0,81}$	$= 1135$	куб. м.

При 350° перегорѣвшіе газы уносятся въ трубу:

$O^2 + N^2$	. . . . .	$4204 \times 0,312 = 1311$	Cal.
CO^2$	. . . . .	986 \times 0,447 = 441$	»
H^2O$	. . . . .	1135 \times 0,392 = 445$	»
На 1° приходится тепла . . .			$2 \cdot 197$ Cal.
при $350^\circ =$			$768 \cdot 950$ Cal.

Эти самые газы уносятся изъ рабочей части печи при 1400° .

$O^2 + N^2$	. . . . .	$4204 \times 0,341 = 1433$	Cal.
CO^2$	. . . . .	986 \times 0,678 = 669$	»
H^2O$	. . . . .	1135 \times 0,550 = 624$	»
На 1° приходится тепла . . .			$2 \cdot 726$ Cal.
при $1400^\circ =$			$3 \cdot 816 \cdot 400$ Cal.

Съ другой стороны отъ сгоранія 3652 куб. м. генераторнаго газа въ рабочей части печи выдѣляется:

$$\begin{array}{rcl}
 CO & & 0,20 \times 3062 = 612 \text{ Cal.} \\
 CH^4 & & 0,02 \times 8598 = 172 \text{ »} \\
 H^2 & & 0,16 \times 2613 = 418 \text{ «} \\
 \hline
 \text{Всего 1 куб. м. выдѣляетъ} & = & 1\cdot202 \text{ Cal.} \\
 3652 & \text{»} & = 4\cdot389\cdot700 \text{ »}
 \end{array}$$

Теперь рассчитаемъ то количество тепла, которое приносится генераторными газами:

$$\begin{array}{rcl}
 CO^2 & & 0,05 \times 0,502 = 0,0251 \text{ Cal. на } 1^0 \\
 CH^4 & & 0,02 \times 0,512 = 0,0102 \text{ » » } 1^0 \\
 CO, N^2, H^2 & & 0,93 \times 0,319 = 0,2967 \text{ » » } 1^0 \\
 \hline
 \text{Всего . . .} & 0,3320 \times 600 = 199,2 \text{ Cal.} \\
 3652 \times 199,2 & = 727\cdot480 \text{ Cal.}
 \end{array}$$

Это относится къ сухому генераторному газу. Произведемъ расчетъ для добавочнаго количества тепла приносимаго парами воды:

$$H \text{ въ } 750 \text{ kgr. угля} = 750 \times 0,0522 = 39,15 \text{ kgr.}$$

$$H \text{ въ парѣ } \frac{567}{9} = 63,00 \text{ »}$$

$$\text{Всего } H \text{ въ генераторномъ газѣ} = 102,15 \text{ kgr.}$$

H въ сухомъ генераторномъ газѣ:

$$3652 \times 0,20 \times 0,09 = 65,74 \text{ »}$$

$$H \text{ соотвѣтствующій водѣ} = 36,41 \text{ kgr.}$$

$$\text{Вѣсъ паровъ воды } 36,41 \times 9 = 327,7 \text{ »}$$

$$\text{Объемъ этихъ паровъ } \frac{327,7}{0,81} = 405 \text{ куб. м.}$$

Количество тепла въ парахъ воды:

$$405 \times 0,43 \times 600 = 104\cdot500 \text{ Cal.}$$

Теперь перейдемъ къ количеству тепла приносимаго воздухомъ при 1000^0 :

$$2561 \times 0,330 \times 1000 = 845\cdot130 \text{ Cal.}$$

Такимъ образомъ общее количество тепла, принесенное и выдѣленное, въ рабочей части печи будетъ:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Въ сухомъ генераторномъ газѣ при } 600^0 & . . . & 727\cdot480 \text{ Cal.} \\
 \text{Въ сопровождающихъ парахъ воды} & & 104\cdot500 \text{ »} \\
 \text{Въ воздухѣ при } 1000^0 & & 845\cdot130 \text{ »} \\
 \text{Выдѣляется при горѣннн} & & 4\cdot389\cdot700 \text{ »} \\
 \hline
 \text{Всего} & & 6\cdot066\cdot810 \text{ Cal.}
 \end{array}$$

Изъ этого количества, нами было вычислено, что при 1400° — $3\cdot816\cdot400$ Cal. уносятся изъ рабочей части печи, такъ что будетъ истрачено:

$$6\cdot066\cdot810 - 3\cdot816\cdot400 = 2\cdot250\cdot410 \text{ Cal.}$$

Тепловой коэффициентъ полезнаго дѣйствія рабочей части печи можетъ быть выраженъ отношеніемъ этого затраченнаго количества тепла къ общему притоку тепла $6\cdot066\cdot810$ Cal.

$$\frac{2\cdot250\cdot410 \times 100}{6\cdot066\cdot810} = 37\%.$$

Но еще лучше взять отношеніе между полезно израсходованнымъ тепломъ, для расплавленія чугуна $900\cdot000$ Cal. и только что вычисленнымъ расходомъ тепла въ рабочей части печи $2\cdot250\cdot410$ Cal.

$$\frac{900\cdot000 \times 100}{2\cdot250\cdot410} = 40\%.$$

4) Регенераторы получаютъ, какъ мы видѣли, отъ поступающихъ въ нихъ продуктовъ горѣнія при 1400° — $3\cdot816\cdot400$ Cal., а теряютъ, отъ удаляющихся въ трубу газовъ при 350° — $768\cdot950$ Cal., такъ что притокъ тепла будетъ:

$$3\cdot816\cdot400 - 768\cdot950 = 3\cdot047\cdot450 \text{ Cal.}$$

Полезный же расходъ тепла на нагрѣвъ воздуха до 1000° , какъ намъ извѣстно— $845\cdot130$ Cal., слѣдовательно тепловой коэффициентъ полезнаго дѣйствія регенераторовъ будетъ:

$$\frac{845\cdot130 \times 100}{3\cdot047\cdot450} = 27,7\%.$$

5) Расчетъ теоретической температуры пламени въ рабочей части печи будетъ:

$$\begin{array}{l} CO^2 986 \times (0,37 + 0,00022 t) = 365 + 0,2169 t \\ O^2 + N^2 . . 4204 \times (0,303 + 0,000027 t) = 1274 + 0,1135 t \\ H^2O 1135 \times (0,34 + 0,00015 t) = 386 + 0,1703 t \\ \hline \text{на } 1^{\circ} \text{ приходится тепла. } 2025 + 0,5007 t \end{array}$$

А такъ какъ общій притокъ тепла $6\cdot066\cdot810$ Cal., то температура опредѣлится изъ уравненія:

$$t = \frac{6\ 066\cdot810}{2025 + 0,5007 t} = 2003^{\circ}.$$

Задача № 25. Въ основномъ рудномъ процессѣ 45 тоннъ расплавленнаго чугуна при 1300° воздѣйствуютъ на $13\cdot500$ kg. руды, содержащей 90% Fe^2O^3 и 10% SiO^2 .

Съ рудою вмѣстѣ погружено 900 kgr. гашеной извести. Послѣ окончанія реакціи, минутъ черезъ 20, образовавшійся шлакъ спускается. Анализы чугуна до и послѣ реакціи даютъ:

	Передъ реакціей.	Послѣ реакціи.
<i>C</i>	3,50	3,00
<i>Si</i>	2,00	0
<i>P</i>	0,75	0
<i>Mn</i> .	0,50	0
<i>Fe</i> .	93,25	97,00
	<hr/>	<hr/>
	100,00	100,00

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДѢЛИТЬ:

- 1) Количество возстановленнаго желѣза.
- 2) Вѣсъ и составъ шлака.
- 3) Количество выдѣленной и поглощенной теплоты во время реакціи.

РѢШЕНІЕ. Назовемъ черезъ *X* вѣсъ металлической ванны послѣ реакціи:

Количества окислившихся элементовъ будутъ:

<i>C</i>	$45000 \times 0,035 - 0,03X = (1575,0 - 0,03X)$	kgr.
<i>Si</i>	$45000 \times 0,02 = 900,0$	»
<i>P</i>	$45000 \times 0,0075 = 337,5$	»
<i>Mn</i>	$45000 \times 0,005 = 225,0$	»

Количество кислорода для реакціи:

для <i>C</i>	$(1575 - 0,03X) \frac{16}{12}$	$= (2100,0 - 0,04X)$	kgr.
» <i>Si</i>	$900 \times \frac{32}{28}$	$= 1028,6$	»
» <i>P</i>	$337,5 \times \frac{80}{62}$	$= 435,5$	»
» <i>Mn</i>	$225 \times \frac{16}{55}$	$= 65,5$	»
		<hr/>	
Всего . .	$(3629,6 - 0,04X)$	kgr.	

При возстановленіи 12150 kgr. Fe^2O^3 изъ руды въ FeO выдѣляется кислорода:

$$12150 \times \frac{16}{160} = 1215 \text{ kgr.}$$

всего же намъ требуется для полной реакціи $(3629,6 - 0,04X)$ kgr., *O* — нехватаетъ слѣдовательно:

$$(3629,6 - 0,04X) - 1215 = (2414,6 - 0,04X) \text{ kgr.}$$

кислорода. Этот добавочный кислородъ получится отъ восстановления нѣкотораго количества FeO въ Fe , причемъ, очевидно, на 1 часть O приходится $\frac{56}{16}$ частей восстановленнаго желѣза. Такимъ образомъ количество восстановленнаго желѣза изъ руды будетъ:

$$(2414,6 - 0,04X) \frac{56}{16} = (8451,1 - 0,14X) \text{ kgr.}$$

Для составленія уравненія опредѣлимъ это же количество инымъ путемъ:

$$\begin{array}{rcl} Fe \text{ въ расплавленномъ чугуна } & = & 45000 \times 0,9325 = 41.962,5 \text{ kgr.} \\ Fe \text{ въ металлической ваннѣ послѣ} & & \\ \text{реакціи} & = & \frac{0,97X}{(0,97X - 41.962,5)} \text{ kgr.} \\ \text{Всего восстановлено } Fe & = & \end{array}$$

Приравнивая эти два выраженія получимъ слѣдующее уравненіе:

$$8.451,1 - 0,14X = 0,97X - 41.962,5,$$

откуда,

$$X = \frac{50.413,6}{1,11} = 45.417,7 \text{ kgr.}$$

подставляя X , мы получимъ для количества восстановленнаго Fe — 2.092,7 kgr.

2) Въсѣ и составъ шлака опредѣлится слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{array}{rcl} \text{Всего } Fe \text{ въ рудѣ} & . . & 12.150 \times \frac{112}{160} = 8.505,0 \text{ kgr.} \\ \text{Восстановлено } Fe \text{ изъ руды} & & = \frac{2.092,7}{6.412,3} \text{ kgr.} \\ Fe \text{ перешедшее въ шлакъ} & & = \end{array}$$

Составъ шлака будетъ:

$$\begin{array}{rcl} FeO & & 6412,3 \times \frac{72}{56} = 8.244,4 \text{ kgr.} = 61,1 \% \\ P^2O^5 & . . & 337,5 + 435,5 = 773,0 \text{ »} = 5,7 \% \\ MnO & . . & 225,0 + 65,5 = 290,5 \text{ »} = 2,1 \% \\ CaO & & = 900,0 \text{ »} = 6,7 \% \\ SiO^2 & . . & 1350 + 900 + 1028,6 = 3.278,6 \text{ »} = 24,4 \% \\ \text{Всего} & . . & 13.486,5 \text{ kgr.} = 100,0 \% \end{array}$$

3) Приближенный подсчетъ прихода и расхода тепла въ рудномъ процессѣ будетъ:

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Приходъ тепла.

<i>Si</i> въ <i>SiO²</i>	900	×	7000	=	6·300·000	Cal.
<i>P</i> въ <i>P²O⁵</i>	337,5	×	5892	=	1·988·550	»
<i>Mn</i> въ <i>MnO</i>	225	×	1653	=	371·925	»
<i>C</i> въ <i>CO</i>	212,5	×	2430	=	516·375	»
<i>SiO²</i> въ <i>FeO</i> , <i>SiO²</i> . . .	3278,6	×	148	=	485·233	»
<i>CaO</i> въ <i>3CaO</i> , <i>P²O⁵</i> . . .	900	×	949	=	854·100	»
Всего . . .					<u>10·516·183</u>	Cal.

Расходъ тепла.

<i>Fe²O³</i> въ <i>FeO</i>	8505	×	573	=	4·873·365	Cal.
<i>FeO</i> въ <i>Fe</i>	2092,7	×	1173	=	2·454·737	»
<i>Fe³C</i> въ <i>Fe³ + C</i>	212,5	×	705 (?)	=	149·813	» (?)
<i>FeSi</i> въ <i>Fe + Si</i>	900	×	931 (??)	=	837·900	» (??)
<i>Fe³P</i> въ <i>Fe³ + P</i>	337,5	×	1400 (??)	=	472·500	» (??)
Всего					<u>8·788·315</u>	Cal.

Величины помѣченныя (?) и въ особенности (??) сомнительны и могутъ быть значительно ниже, такъ что превышеніе прихода тепла надъ расходомъ будетъ по крайней мѣрѣ:

$$10·516·183 - 8·788·315 = 1·727·868 \text{ Cal.}$$

чѣмъ достигается повышеніе температуры ванны градусовъ на 100 и даже градусовъ на 150, независимо отъ нагрѣва получаемого извнѣ.

ГЛАВА XII.

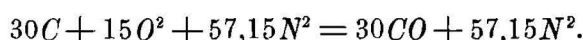
Электрометаллургія желѣза и стали.

Электричество можетъ быть примѣнено для полученія металловъ изъ рудъ либо въ электролитическихъ, либо въ электротермическихъ процессахъ; въ послѣднихъ роль электричества сводится къ полученію высокой температуры, необходимой для металлургическихъ цѣлей. Въ металлургіи желѣза электролитическимъ методомъ пользуются лишь для полученія химически чистаго желѣза по способу Бургесса. Въ настоящее время электротермическимъ методомъ пользуются въ извѣстной мѣрѣ для полученія стали сплавленіемъ чугуна съ желѣзомъ, также для поддержанія чугуна въ расплавленномъ состояніи при одновременномъ окисленіи постороннихъ примѣсей. Доказана также техническая возможность прямого возстановленія желѣза изъ руды съ образованіемъ чугуна.

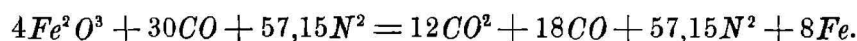
Электротермическое возстановленіе желѣза изъ руды.

При пользованіи электрическимъ токомъ, какъ термическимъ агентомъ, само собою разумѣется необходимъ также особый возстановительный агентъ, а именно углеродъ. Въ обыкновенномъ доменномъ процессѣ углеродъ играетъ, какъ намъ извѣстно, двойную роль: сначала теплого агента, сгорая у фурмъ въ CO , а затѣмъ возстановительнаго агента. Обѣ реакціи могутъ быть приблизительно представлены слѣдующими уравненіями:

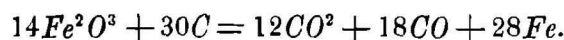
Сгораніе C у фурмъ:



Возстановленіе:



Изъ этихъ реакцій слѣдуетъ, что 360 вѣсовыхъ частей C возстановляютъ 448 вѣсовыхъ частей Fe . Если теперь предположить, что все количество тепла необходимое для реакціи будетъ доставлено электротермическимъ путемъ, то вдуваніе воздуха совершенно не потребуется, а возстановленіе произойдетъ согласно, примѣрно, слѣдующей реакціи:



Итакъ, въ этомъ случаѣ 360 вѣсовыхъ частей C возстановили 1568 вѣсовыхъ частей Fe , т.-е. на одну часть Fe идетъ 0,23 части C ,— приблизительно четвертая часть по вѣсу. Для полученія шлака прибавляется нѣкоторое количество подходящаго флюса, а образующіеся газы могутъ быть утилизированы, хотя бы для предварительнаго нагрѣва руды, чѣмъ, очевидно, сбережется нѣкоторое количество потребной электрической энергіи.

Задача № 26. Имѣется магнитный желѣзнякъ слѣдующаго анализа:

Fe^2O^3 .	60,74	%
FeO	17,18	»
SiO^2	6,60	»
Al^2O^3	1,48	»
CaO	2,84	»
MgO	5,50	»
P^2O^5	0,04	»
S	0,57	»
CO^2	2,05	»
H^2O	3,00	»
	<hr/>	
	100,00	%

Къ этой рудѣ подмѣшивается чистый древесноугольный порошокъ въ количествѣ соотвѣтствующемъ, по углероду, 25% всего желѣза.

Флюсомъ служитъ кварцевый песокъ въ такомъ количествѣ, чтобы получаемый шлакъ содержалъ 33% SiO_2 .

Пусть древесный уголь содержитъ 10% влаги, а золою его пре- небрежемъ. Имѣются кромѣ того слѣдующія заданія:

а) Чугунъ долженъ содержать: C —4%; Si —3,5%; Fe —92,4%.

б) Въ 1 kgr. шлака, при выпускѣ, пусть будетъ 600 Cal., а въ 1 kgr. чугуна 400 Cal.

в) Пусть потери отъ излученія и другія составляютъ 30% отъ общей тепловой потребности печи.

г) Пусть температура удаляющихся газовъ будетъ 300°.

е) Допустимъ, что все Fe перейдетъ въ чугунъ.

ф) Допустимъ, что вся S перейдетъ въ шлакъ.

ТРЕБУЕТСЯ:

1) Определить количества руды, флюса и древеснаго угля соот- вѣтствующихъ 1000 kgr. чугуна.

2) Составить балансъ матеріаловъ.

3) Составить тепловой балансъ.

4) Определить потребное количество электрической энергіи въ килоуаттъ-дняхъ соотвѣтствующее 1 тоннѣ чугуна.

РѢШЕНІЕ.

1) Въ 1000 kgr. чугуна содержится 924 kgr. желѣза, съ другой стороны 1 kgr. руды содержитъ Fe :

$$\begin{array}{rcl} \text{изъ } Fe^2O^3 & & 0,6074 \times \frac{112}{160} = 0,4252 \\ \text{» } FeO & & 0,1718 \times \frac{56}{72} = 0,1336 \\ \text{Всего.} & & \underline{0,5588.} \end{array}$$

Слѣдовательно на образованіе 1000 kgr. чугуна потребуется руды:

$$\frac{924}{0,5588} = 1654 \text{ kgr.}$$

На это количество руды приходится шлакообразующихъ состав- ныхъ частей:

$$\begin{array}{rcl} Al^2O^3 & & 1654 \times 0,0148 & = & 24,6 \text{ kgr.} \\ MgO & & 1654 \times 0,0550 & = & 91,0 \text{ »} \\ CaO & & 1654 \times \left(0,0284 - 0,0057 \times \frac{56}{32} \right) & = & 30,4 \text{ »} \\ SiO^2 & & 1654 \times 0,0660 - 35 \times \frac{60}{28} & = & 34,2 \text{ »} \\ CaS & & 1654 \times 0,0057 \times \frac{72}{32} & = & 21,2 \text{ »} \\ \text{Всего} & & & & \underline{201,4 \text{ kgr.}} \end{array}$$

Назовемъ черезъ x количество прибавляемаго кремнистаго песку, тогда вѣсъ шлака будетъ $(201,4 + x)$ kgr., а количество содержащагося въ немъ $SiO^2 - 34,2 + x$. Такъ какъ намъ желательно получить шлакъ съ 33% SiO^2 , то

$$34,2 + x = 0,33 (201,4 + x),$$

откуда

$$x = 48 \text{ kgr.}$$

Согласно заданія количество углерода соответствующее 1000 kgr. чугуна будетъ:

$$924 \times 0,25 \text{ kgr.} = 231 \text{ kgr.},$$

а такъ какъ C составляетъ лишь 90% древесноугольной пыли, то этой послѣдней потребуется:

$$\frac{231}{0,90} = 257 \text{ kgr.}$$

2) Теперь легко составить балансъ матеріаловъ.

	Погружено.	Чугунъ.	Шлакъ.	Газы.
Руды	1654 kgr.			
Fe^2O^2	1004,6	Fe . . . 703,2	.....	O 301,4
FeO	284,2	Fe . . . 221,0	.....	O 63,2
SiO^2	109,2	Si . . . 35,С	SiO^2 . . 34,2	O 40,0
Al^2O^3	24,6	.....	Al^2O^3 . . 24,6	.....
CaO	46,9	..	CaO . . . 30,4	O 4,7
MgO	91,0	.....	MgO . . . 91,0	.....
P^2O^5	0,6	P 0,3	{ Ca 11,8	O 0,3
S	9,4	.....	{S 9,4	.....
CO^2	33,9	.....	..	CO^2 33,9
H^2O	49,6	.....	.....	H^2O 49,6
Флюса	48 kgr.			
SiO^2	48,0		SiO^2 . . 48,0	.....
Древ. угля.	257 kgr.			
C	231,0	C 40,0	.....	C 191,1
H^2O	26,0	.....	.....	H^2O 26,0
Всего	1959,0 kgr.	999,5	249,4	710,1

3) Приходъ тепла получается отъ электрическаго тока и отъ окисленія углерода, а также отъ образованія шлака, CaS и Fe^3C . Всего переходитъ кислорода въ газы:

$$301,4 + 63,2 + 40,0 + 4,7 + 0,3 = 409,6 \text{ kgr.},$$

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

углерода же выгораетъ 191 kgr. Такъ какъ на образование CO требуется:

$$191 \times \frac{16}{12} = 254,7 \text{ kgr. } O,$$

то остается еще 154,9 kgr. O дающій, съ частью изъ образовавшагося CO , — CO^2 . Количество CO , которое такимъ образомъ окислится, будетъ:

$$154,9 \times \frac{28}{16} = 271,1 \text{ kgr.},$$

а количество образовавшагося CO^2 , вмѣстѣ съ выдѣлившимся изъ руды, будетъ:

$$154,9 + 271,1 + 33,9 = 459,9 \text{ kgr.},$$

что же касается CO , то его останется:

$$191 + 254,7 - 271,1 = 174,6 \text{ kgr.}$$

Назовемъ черезъ x количество тепла, приносимаго электрическимъ токомъ, и пренебрежемъ тѣмъ количествомъ тепла, которое будетъ соответствовать сожженному углероду электродовъ; мы получимъ:

Приходъ тепла.

Отъ электрическаго тока	x Cal.
Окисленіе C въ CO	$191 \times 2430 = 464 \cdot 130$
» CO » CO^2	$271,1 \times 2430 = 658 \cdot 770$
Образованіе шлака	$106,8 \times 150 = 16 \cdot 020$
» CaS	$9,4 \times 2947 = 27 \cdot 700$
» Fe^3C	$40,0 \times 705 = 28 \cdot 200$
Всего	$1 \cdot 194 \cdot 820 + x$ Cal.

Расходъ тепла.

Возстановленіе Fe изъ Fe^2O^3 :	
	$703,2 \times 1746 = 1 \cdot 229 \cdot 790 \text{ Cal.}$
» Fe » FeO :	
	$221,0 \times 1173 = 259 \cdot 230 \text{ »}$
» Si » SiO^2 :	
	$35,0 \times 7000 = 245 \cdot 000 \text{ »}$
» P » P^2O^5 :	
	$0,3 \times 5892 = 1 \cdot 770 \text{ »}$

Возстановленіе C изъ CaO :

$$11,8 \quad 3288 \quad \quad \quad 38 \cdot 800 \quad \gg$$

» CO^2 » руды:

$$33,9 \times 1026 \quad = \quad 34 \cdot 780 \quad \gg$$

Испареніе H^2O :

$$75,6 \times 606,5 \quad = \quad 45 \cdot 850 \quad \gg$$

Теплота въ газахъ при 300^0 :

CO . 174,6 kgr. = 138 куб. м.

$$138 \times 0,311 = 42,9$$

CO^2 . 459,9 » = 232 куб. м.

$$232 \times 0,436 = 101,1$$

H^2O . 75,6 » = 93 куб. м.

$$93 \times 0,385 = 35,8$$

$$\text{Итого. } 179,8 \times 300 = 53 \cdot 940 \text{ Cal.}$$

Теплота въ шлакѣ:

$$249,4 \times 600 \quad = \quad 149 \cdot 640 \quad \gg$$

» чугуиѣ:

$$1000 \times 400 \quad = \quad 400 \cdot 000 \quad \gg$$

Потери отъ излученія и проч.:

$$0,30(1 \cdot 194 \cdot 820 + x) = \frac{358 \cdot 450 + 0,3x}{\dots}$$

$$\text{Всего } 2 \cdot 817 \cdot 250 + 0,3x$$

Для опредѣленія x мы имѣемъ слѣдовательно уравненіе:

$$1 \cdot 194 \cdot 820 + x = 2 \cdot 817 \cdot 250 + 0,3x.$$

Откуда

$$x = 2 \cdot 317 \cdot 760 \text{ Cal.}$$

Общее количество потребной тепловой энергіи будетъ:

$$1 \cdot 194 \cdot 820 + 2 \cdot 317 \cdot 760 = 3 \cdot 512 \cdot 580 \text{ Cal.}$$

Часть тепловой энергіи доставляемая токомъ будетъ:

$$\frac{2 \cdot 317 \cdot 760 \times 100}{3 \cdot 512 \cdot 580} = 66\%.$$

4) Такъ какъ килоуаттъ-секунда = 0,239 Cal., то kw-день будетъ

$$0,239 \times 60 \times 60 \times 24 = 20 \cdot 650 \text{ Cal.,}$$

а слѣдовательно на каждую тонну чугуна приходится:

$$\frac{2 \cdot 317 \cdot 760}{20 \cdot 650} = 112 \text{ kw-дней.}$$

Задача № 27. Въ электрической печи производится плавка обожженного пириттоваго желѣзняка съ добавленіемъ известняка и древесноугольной пыли. Смѣсь содержитъ на каждые 180 kgr. руды — 40 kgr. известняка и 50 kgr. древесно-угольной пыли.

Анализъ матеріаловъ нижеслѣдующій:

Обожженная руда.		Известнякъ.		Древесноугольная пыль.	
Fe^2O^3	65,43%	CaO	52,00%	C	55,90%
NiO	2,84 »	MgO	2,10 »	Летуч. вещ.	28,08 »
CuO	0,51 »	Fe^2O^3	0,60 »	Влаги.	13,48 »
SiO^2	10,96 »	Al^2O^3	0,21 »	Золы	2,54 »
Al^2O^3	3,31 »	SiO^2	1,71 »		
CaO	3,92 »	P^2O^5	0,01 »		100,00%
MgO	3,53 »	SO^3	0,13 »		
SO^3	3,90 »	CO^2	43,24 »		
P^2O^5	0,03 »				
H^2O	5,57 »				
	100,00%		100,00%		

Въ теченіе 56 часовъ 20 минутъ расходуется по 165,65 килоуаттъ электрической энергіи (эффективной). Получается 3300 kgr. никкелеваго чугуна и 2300 kgr. шлака слѣдующаго состава:

Чугунъ.		Шлакъ.	
C	3,05%	SiO^2	16,44%
Si	5,24 »	Al^2O^3	13,86 »
S	0,01 »	CaO	42,87 »
P	0,05 »	MgO	8,80 »
Cu	0,81 »	CaS	13,34 »
Ni	3,94 »	FeO	0,84 »
Fe	86,90 »	Неизвѣстныхъ .	3,85 »
	100,00%		100,00%

ТРЕБУЕТСЯ:

- 1) Составить балансъ матеріаловъ.
- 2) Составить тепловой балансъ.
- 3) Определить тепловой коэффициентъ полезнаго дѣйствія печи.

РѢШЕНІЕ:

Для расчета количества потребной руды можно воспользоваться либо желѣзомъ, либо однимъ изъ элементовъ Ni или Cu , но, въ виду того, что количество послѣднихъ невелико, погрѣшность будетъ слишкомъ велика. Расчетъ приметъ слѣдующій видъ:

<i>Fe</i> въ чугуиъ	$3300 \times 0,8690$	$= 2868$ kgr.
<i>Fe</i> » шлакъ.	$2300 \times 0,0084 \times \frac{56}{72}$	$= 15$ »
Всего <i>Fe</i> 2883 kgr.		
<i>Fe</i> въ рудѣ.	$180 \times 0,7 \times 0,6543$	$= 82,44$ kgr.
<i>Fe</i> » известнякъ.	$40 \times 0,7 \times 0,0060$	$= 0,17$ »
<i>Fe</i> » древесномъ углѣ.	$50 \times 0,7 \times 0,0025$	$= 0,09$ »
<hr/>		
Всего <i>Fe</i> , соответствующаго 180 kgr. руды. . .		82,70 kgr.

Количество потребной руды будетъ слѣдовательно:

$$\frac{2883 \times 180}{82,70} = 6275 \text{ kgr.}$$

Этому количеству руды соответствують:

$$6275 \times \frac{50}{80} = 1743 \text{ kgr. известняка,}$$

$$6275 \times \frac{40}{80} = 1395 \text{ kgr. древеснаго угля.}$$

Для дальнѣйшаго мы предположимъ, что анализъ древесноугольной золы будетъ:

$$Fe^2O^3 = 10\%; CaO = 40\%; MgO = 20\%; MnO = 15\% \text{ и } K^2O = 15\%.$$

Для состава летучихъ веществъ, выдѣляющихся въ размѣрѣ 28,08% изъ древесноугольной пыли мы положимъ:

	Объемный составъ.	Вѣсовой составъ.
CO^2	25%	61,8%
CO	15 »	23,6 »
CH^4	10 »	9,0 »
H^2	50 »	5,6 »
	<hr/>	<hr/>
	100%	100,0%

Полный анализъ древесноугольной пыли будетъ слѣдовательно:

<i>C</i>	55,90%	} 28,08%
CO^2	17,35 »	
CO	6,63 »	
CH^4	2,53 »	
H^2	1,57 »	
H^2O	13,48 »	} 2,54%
Fe^2O^3	0,25%	
CaO	1,02 »	
MgO	0,51 »	
MnO	0,38 »	
K^2O	0,38 »	
	<hr/>	
	100,00%	

БАЛАНСЪ МАТЕРІАЛОВЪ, СООТВѢТСТВУЮЩІЙ 3300 kg. чугуна.

Загрузка.	Чугунъ.	Шлакъ.	Газы.
Fe^2O^3 4106	Fe . . . 2868	FeO . . . 8	O . . . 1230
NiO 178	Ni . . . 130	NiO . . . 12	O . . . 36
CuO 32	Cu . . . 26	.....	O . . . 6
SiO^2 688	Si . . . 173	SiO^2 . . . 317	O . . . 198
Al^2O^3 208	.....	Al^2O^3 . . . 208	.....
CaO 246	.....	CaO . . . 74	O . . . 49
MgO 221	.....	MgO . . . 221	.....
SO^3 245	S . . . —	CaS . . . 221	O . . . 147
P^2O^5 2	P . . . 2	.....	O . . . —
H^2O 349	.....	.....	H^2O . . 349
Руды обожженной. . . 6275			
CaO 725	.....	CaO . . . 724	O . . . 1
MgO 29	.....	MgO . . . 29	.....
Fe^2O^3 9	.....	FeO . . . 8	O . . . 1
Al^2O^3 3	.....	Al^2O^3 . . . 3	.....
SiO^2 24	.....	SiO^2 . . . 24	.....
P^2O^5 . . . . . —	.....	P^2O^5 . . . —	.....
SO^3 2	.....	CaS . . . 2	.....
CO^2 603	.....	.....	CO^2 . . 603
Известняка 1395			
C 974	C . . . 101	.....	C . . . 873
CO^2 302	.....	.....	CO^2 . . 302
CO 115	.....	.....	CO . . 115
CH^4 44	.....	.....	CH^4 . . 44
H^2 28	.....	.....	H^2 . . 28
H^2O 235	.....	.....	H^2O . . 235
Fe^2O^3 4	.....	Fe^2O^3 . . . 4	.....
CaO 18	.....	CaO . . . 18	.....
MgO 9	.....	MgO . . . 9	.....
MnO 7	.....	MnO . . . 7	.....
K^2O 7	.....	K^2O . . . 7	.....
Древеснаго угля. . . . 1743			
C 30	.....	.....	C . . . 30
Электрода. 30	.....	.....	.....
Всего. 9443	3300	1895	4248

Между вычисленнымъ вѣсомъ и составомъ шлага и его дѣйстви-
тельнымъ вѣсомъ и составомъ получается нѣкоторая разница, про-
исходящая отъ всевозможныхъ неточностей, при взвѣшиваніи продук-
товъ и ихъ анализѣ.

2) Приступимъ къ составленію теплого баланса.

Окисленіе C въ CO : всего въ газы переходитъ $873 + 30 = 903$ kgr. C выдѣляя, при образованіи CO :

$$903 \times 2430 = 2 \cdot 194 \cdot 300 \text{ Cal.}$$

Окисленіе части CO въ CO^2 : намъ извѣстно, что въ газы переходитъ всего 1669 kgr. кислорода, на лицо имѣется 903 kgr. углерода, требующій для образованія CO всего,

$$903 \times \frac{16}{12} = 1204 \text{ kgr. } O,$$

остаётся слѣдовательно неиспользованнымъ 465 kgr. O , продолжающимъ окисленіе. Такимъ образомъ, количество CO дающее CO^2 будетъ:

$$465 \times \frac{28}{16} = 814 \text{ kgr.},$$

а выдѣляющееся при этомъ количество тепла

$$814 \times 2430 = 1 \cdot 978 \cdot 000 \text{ Cal.}$$

Теплота электрическаго тока: 1 килоуаттъ-секунда соотвѣтствуетъ 0,239 Cal. Токъ дѣйствуетъ въ продолженіе 56 часовъ 20 минутъ или $202 \cdot 800$ секундъ, слѣдовательно всего выдѣлится:

$$165,65 \times 202 \cdot 800 \times 0,239 = 8 \cdot 028 \cdot 900 \text{ Cal.}$$

Остальныя статьи прихода тепла, какъ-то образованіе: Fe^3C , — CaS и шлака ($SiO^2 + Al^2O^3 = 552$ kgr.) легко вычислимы и не требуютъ разъясненій.

Статьи расхода тепла.

Остановимся подетальнѣе на опредѣленіи количества тепла, уносимаго газами, допустивъ ихъ температуру $= 500^0$. Количество CO въ газахъ будетъ:

$$(903 + 1204 - 814) + 115 = 1408 \text{ kgr.}$$

а количество CO^2 :

$$(814 + 465) + 603 + 302 = 2184 \text{ kgr.}$$

Кромѣ того имѣется:

$$CH^4 = 44 \text{ kgr.}, \quad H^2 = 28 \text{ kgr.} \quad \text{и} \quad H^2O = 584 \text{ kgr.},$$

а общій ихъ вѣсъ

$$= 4248 \text{ kgr.}$$

Переходя отъ вѣса къ объему, мы получимъ:

$$\begin{array}{rcl}
 CO & & \frac{1408}{1,26} = 1117 \text{ куб. м.} \\
 CO^2 & & \frac{2184}{1,98} = 1103 \quad \text{»} \\
 CH^4 & & \frac{44}{0,72} = 61 \quad \text{»} \\
 H^2 & & \frac{28}{0,09} = 310 \quad \text{»} \\
 H^2O & & \frac{584}{0,81} = 721 \quad \text{»} \\
 \text{Всего} & & \underline{\hspace{1cm}} 3312 \text{ куб. м.}
 \end{array}$$

На 1° температуры въ предѣлѣ 0°—500° придется, слѣдовательно, тепла:

$$\begin{array}{rcl}
 CO & & 1117 \times 0,304 = 339 \text{ Cal.} \\
 CO^2 & & 1103 \times 0,480 = 530 \quad \text{»} \\
 CH^4 & & 61 \times 0,490 = 30 \quad \text{»} \\
 H^2 & & 310 \times 0,304 = 94 \quad \text{»} \\
 H^2O & & 721 \times 0,415 = 299 \quad \text{»} \\
 \text{Всего} & & \underline{\hspace{1cm}} 1292 \text{ Cal.} \\
 \text{а на } 500^\circ & & 646 \cdot 000 \text{ Cal.}
 \end{array}$$

Опредѣлимъ, попутно, неиспользованную тепловую способность этихъ газовъ:

$$\begin{array}{rcl}
 CO & & 1117 \times 3062 = 3 \cdot 420 \cdot 200 \text{ Cal.} \\
 CH^4 & & 61 \times 8598 = 524 \cdot 500 \quad \text{»} \\
 H^2 & & 310 \times 2613 = 810 \cdot 000 \quad \text{»} \\
 \text{Всего} & & \underline{\hspace{1cm}} 4 \cdot 754 \cdot 700 \text{ Cal.}
 \end{array}$$

Тепловой балансъ печи представится въ слѣдующемъ видѣ:

Приходъ тепла.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Тепловая энергія электрическаго тока} & & = 8 \cdot 028 \cdot 900 \text{ Cal.} \\
 \text{Окисленіе } C \text{ въ } CO & & = 2 \cdot 194 \cdot 300 \quad \text{»} \\
 \text{» } CO \text{ въ } CO^2 & & = 1 \cdot 978 \cdot 000 \quad \text{»} \\
 \text{Образованіе } Fe^3C & & 101 \times 705 = 71 \cdot 200 \quad \text{»} \\
 \text{» } CaS & & 99 \times 2947 = 291 \cdot 800 \quad \text{»} \\
 \text{» шлага} & & 552 \times 150 = 82 \cdot 800 \quad \text{»} \\
 \text{Всего} & & \underline{\hspace{1cm}} 12 \cdot 647 \cdot 000 \text{ Cal.}
 \end{array}$$

Расходъ тепла.

Возстановленіе <i>Fe</i> изъ <i>Fe²O³</i>	2868	1746	=	5 · 007 · 500 Cal.
» <i>Ni</i> » <i>NiO</i> .	130	× 1051	=	136 · 600 »
» <i>Cu</i> » <i>CuO</i> .	26	× 593	=	15 · 400 »
» <i>Si</i> » <i>SiO²</i>	173	× 7000	=	1 · 211 · 000 »
» <i>S</i> » <i>SO³</i> .	99	× 2872	=	284 · 300 »
» <i>P</i> » <i>P²O⁵</i> .	2	× 5895	=	11 · 800 »
» <i>Ca</i> » <i>CaO</i> .	124	× 3288	=	407 · 700 »
» <i>FeO</i> » <i>Fe²O³</i>	19	× 446	=	8 · 500 »
Выдѣленіе <i>CO²</i> изъ известняка .	603	× 1026	=	618 · 700 »
Испареніе воды.	584	× 606,5	=	354 · 200 »
Теплота уносимая газами			=	646 · 000 »
Теплота въ чугуиъ			=	1 · 320 · 000 »
Теплота въ шлакѣ			=	1 · 380 · 000 »
Потери отъ излученія и проч.			=	1 · 245 · 300 »
				12 · 647 · 000 Cal.
Всего .				

Замѣтимъ, что къ 12 · 647 · 000 Cal., составляющимъ общій приходъ тепла, нужно еще добавить 4 · 754 · 700 Cal., соотвѣтствующія неиспользованной тепловой энергіи газовъ, такъ что всего мы располагали 17 · 401 · 700 Cal.; изъ нихъ можно считать полезно израсходованной ту энергію, которая вызвала всѣ возстановительныя реакціи; выдѣлила *CO²* изъ известняка и испарила воду, т.-е. всего 8 · 055 · 700 Cal. Остальныя статьи расхода могутъ быть болѣе или менѣе сокращены и до извѣстной степени возвращены печи, поэтому за тепловой коэффициентъ полезнаго дѣйствія печи можно принять:

$$\frac{8 \cdot 055 \cdot 700 \times 100}{17 \cdot 401 \cdot 700} = 46\%.$$

Полученіе стали въ электрическихъ печахъ.

Существуютъ три метода для электрическаго полученія стали. Во-первыхъ, электрическая печь можетъ служить лишь для расплавленія прутьевъ цементированной стали, замѣняя тигли. Во-вторыхъ, она можетъ замѣнить тигельную или мартеновскую печь, какъ аппаратъ, въ которомъ сплавляютъ чистое желѣзо и чугуиъ, и, наконецъ, въ-третьихъ, можетъ поддерживать чугуиъ въ расплавленномъ состояніи въ то время какъ посторонніе элементы окисляются, добавленіемъ руды, напоминая рудный процессъ въ мартеновской или тигельной плавкѣ.

По сравненію съ тигельнымъ процессомъ электрическая плавка имѣетъ слѣдующія выгоды: 1) большее количество металла, обрабатываемаго въ одинъ пріемъ; 2) отсутствіе графитовой обкладки, чѣмъ достигается лучшій контроль надъ углеродомъ и кремніемъ, попадающимъ въ сталь; 3) достиженіе болѣе высокой температуры, позволяющей получение сильно основного шлака, чѣмъ улучшается выдѣленіе сѣры. По сравненію съ Мартеновскою печью электрическая имѣетъ, во-первыхъ, то преимущество, что газы не находятся въ постоянномъ соприкосновеніи съ металломъ, а во-вторыхъ, возможно достиженіе болѣе высокой температуры. Съ коммерческой точки зрѣнія выгода электрическаго процесса, по сравненію съ тигельнымъ, вызывается экономіей, получаемой на тигляхъ, а по сравненію съ мартеновскимъ, можетъ получиться выгода при наличности недорогой электрической энергіи, на примѣръ: при годовой стоимости 1 лошадиной силы долларовъ въ 10 и при цѣнѣ на уголь выше чѣмъ долларовъ 5 за тонну.

Нужно еще обратить вниманіе на слѣдующую сторону дѣла: при нагрѣваніи тѣла, вызванномъ горѣніемъ, скорость поглощенія тепла приблизительно пропорціональна разности температуръ, а потому въ началѣ процесса коэффициентъ полезнаго дѣйствія нагрѣва значительно больше чѣмъ, въ концѣ.

Такъ, на примѣръ, если средній коэффициентъ полезнаго дѣйствія, при нагрѣваніи металлической завалки, въ мартеновской печи, отъ 0° до 1500°, будетъ 25%, то онъ примѣрно распределится слѣдующимъ образомъ.

При повышеніи температуры:

отъ 0° до 500°	. . .	45%
» 500° » 1000°	. . .	27%
» 1000° » 1500°	. . .	3%

Съ другой стороны, если бы нагрѣваніе производилось электричествомъ, то передача тепла производилась бы все время съ равною скоростью, не зависящей отъ температуры и если бы не было потерь отъ излученія и теплопроводности, то коэффициентъ полезнаго дѣйствія нагрѣва былъ бы = 100%. Въ хорошо спроектированной электрической печи потери отъ излученія и проч. достигаютъ 15—25%; а слѣдовательно коэффициентъ полезнаго дѣйствія будетъ 85—75%.

Въ зависимости отъ цѣны на уголь и на электрическую энергію, наиболѣе экономическимъ можетъ оказаться тотъ или иной способъ, причемъ возможно ихъ комбинировать, напр., предварительно подогрѣвъ металлъ до извѣстной температуры, употребляя уголь, а закончивъ — электричествомъ.

Примѣръ. Стальные прутья должны быть расплавлены въ электрической печи. Въ 1 kg. расплавленной стали содержится 300 Cal. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія электрической печи 75%. Выгодно ли предварительно подогрѣть прутья градусовъ до 750 (вишнево-красное каленіе) въ угольной печи, съ коэффициентомъ полезнаго дѣйствія = 25%, если стоимость 1 тонны угля, теплообразующей способности въ 8500 Cal., 5 долларовъ, а годовая стоимость 1 килоатта — 10 долларовъ?

При 750° 1 kg. стали содержатъ 88 Cal., т.-е. около 29% всего потребнаго количества тепла. Чтобы доставить ихъ электричествомъ, требуется израсходовать:

$$\frac{88}{0,75} = 117 \text{ Cal.}$$

или

$$\frac{117}{0,239} = 490 \text{ килоаттъ секундъ,}$$

а такъ какъ 1 килоаттъ-годъ стоитъ 10 долларовъ = 1000 центовъ, то электрическая энергія обойдется:

$$\frac{490 \times 1000}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 0,0155 \text{ центовъ.}$$

Съ другой стороны для полученія 88 Cal. въ угольной печи требуется:

$$\frac{88}{8500 \times 0,25} = 0,0414 \text{ kg. угля,}$$

стоимость коихъ будетъ:

$$\frac{500 \times 0,0414}{1000} = 0,0207 \text{ центовъ.}$$

Итакъ, мы видимъ, что въ данномъ случаѣ выгоднѣе не производить предварительнаго подогрѣванія въ угольной печи.

Задача № 28. Въ индукціонной электрической печи, мощностью въ 170 килоаттъ, получается суточно 4,7 тоннъ стали, сплавленіемъ чугуна и желѣза, при чемъ 1 kg. расплавленной стали содержитъ 350 Cal.

ТРЕБУЕТСЯ:

1) Определить потребное количество электрической энергіи въ килоаттъ-часахъ на 1 тонну полученной стали.

2) Определить тепловой коэффициентъ полезнаго дѣйствія печи.

3) Если одна треть матеріаловъ будетъ погружена въ расплавленномъ состояніи, принося съ собою 275 Cal. на 1 kg., то какова будетъ суточная производительность печи при этихъ условіяхъ и

какое количество электрической энергии, въ килоуатт-часахъ, придется на 1 тонну стали?

Рѣшеніе.

- | | | | |
|----|-----------------------------|---|---------------|
| 1) | Энергія для 4,7 тоннъ | = | 170 kw-дней |
| | » » 1 тонны | = | 36,2 » |
| | » » 1 » | = | 0,10 kw-лѣтъ |
| | » » 1 » | = | 869 kw-часовъ |
| 2) | 1 kw-часъ = 0,239 × 60 × 60 | = | 860 Cal. |
| | 869 kw-часовъ | = | 747.340 » |

Тепла въ 1 тоннѣ стали:

$$350 \times 1000 = 350 \cdot 000 \text{ Cal.}$$

Слѣдовательно, коэффициентъ полезнаго дѣйствія будетъ:

$$\frac{350 \cdot 000 \times 100}{747 \cdot 340} = 47\%.$$

3) Такъ какъ на $\frac{2}{3}$ kgr. холоднаго металла приходится $\frac{1}{3}$ kgr. — горячаго, то этимъ сберегается на каждый kgr. стали:

$$275 \times \frac{1}{3} = 92 \text{ Cal.}$$

и остается доставить:

$$350 - 92 = 258 \text{ Cal.}$$

Очевидно, что производительность увеличится въ отношеніи $\frac{350}{258}$, т.-е. станетъ:

$$4,7 \times \frac{350}{258} = 6,4 \text{ тоннъ въ сутки,}$$

а на 1 тонну стали придется электрической энергии:

$$\begin{aligned} \frac{170}{6,4} &= 26,6 \text{ kw-дней} \\ &= 0,07 \text{ kw-лѣтъ} \\ &= 638 \text{ kw-часовъ.} \end{aligned}$$

Задача № 29. Въ электрическую печь погружаютъ 2500 kgr. расплавленнаго чугуна, приносящаго съ собою по 250 Cal. на каждый kgr., также 500 kgr. желѣзной руды, нагрѣтой до 500°, т.-е. содержащей по 77 Cal. на 1 kgr. и 50 kgr. известняка въ ненагрѣтомъ видѣ. Пусть 1 kgr. стали содержитъ 400 Cal., а 1 kgr. шлака 600 Cal. Процессъ продолжается 1 часъ и потеря на излученіе и проч. составляетъ 250 · 000 Cal.

Передъ окончаніемъ процесса добавляютъ 10 kgr. холоднаго ферро-марганца. Количество полученной стали = 2631 kgr.

Составъ матеріаловъ слѣдующій:

Чугунъ.	Руда.	Известнякъ.	Ферро-марг.	Сталь.
<i>Fe</i> 96,656%	<i>Fe²O³</i> 85,95%	<i>CaO</i> 53,74 %	<i>Mn</i> 80%	<i>Fe</i> 99,60%
<i>C</i> 2,700 "	<i>FeO</i> 8,96 "	<i>CO²</i> 42,44 "	<i>C</i> 4 "	<i>C</i> 0,11 "
<i>Si</i> 0,600 "	<i>SiO²</i> 5,50 "	<i>MgO</i> 0,17 "	<i>Fe</i> 16 "	<i>Si</i> 0,11 "
<i>Mn</i> 0,025 "	<i>MnO</i> 0,63 "	<i>SiO³</i> 3,14 "		<i>Mn</i> 0,15 "
<i>S</i> 0,007 "	<i>Al²O³</i> 0,76 "	<i>Fe³O³</i> 0,18 "	100%	<i>S</i> 0,02 "
<i>P</i> 0,012 "	<i>CaO</i> 2,23 "	<i>Al²O³</i> 0,32 "		<i>P</i> 0,01 "
	<i>MgO</i> 0,97 "	<i>P²O⁵</i> 0,006 "		
<hr/> 100,000%	<hr/> 100,00%	<hr/> 99,997%		<hr/> 100,00%

ТРЕБУЕТСЯ:

- 1) Составить балансъ матеріаловъ.
- 2) Опреѣлить вѣсъ и составъ шлака.
- 3) Составить тепловой балансъ.
- 4) Опреѣлить количество потребной электрической энергии и ея стоимость на 1 тонну стали, при годовой стоимости 1 килоуатта въ 25 долларовъ.

1) БАЛАНСЪ МАТЕРІАЛОВЪ.

Погружено.	Сталь.	Шлакъ.	Газы.
<i>Fe</i> 2416,4	<i>Fe</i> ..2416,4	. . . . .	. . . . .
<i>C</i> 67,5	<i>C</i>... ..2,5	. . . . .	<i>C</i> 65,0
<i>Si</i> 15,0	<i>Si</i> .....2,9	<i>SiO²</i> 25,9	. . . . .
<i>Mn</i> 0,6	. . . . .	<i>MnO</i> 0,8	. . . . .
<i>S</i> 0,2	<i>S</i> 0,2	. . . . .	. . . . .
<i>P</i> 0,3	<i>P</i> 0,3	. . . . .	. . . . .
Всего чугуна . . . 2500,0kg.	. . . . .	. . . . .	. . . . .
<i>Fe²O³</i> 429,7	<i>Fe</i> 203,1	<i>FeO</i> 125,6	<i>O</i> 85,8
<i>FeO</i> 19,8	. . . . .	<i>FeO</i> 19,8	. . . . .
<i>SiO²</i> 27,5	. . . . .	<i>SiO²</i> 27,5	. . . . .
<i>MnO</i> 3,2	. . . . .	<i>MnO</i> 3,2	. . . . .
<i>Al²O³</i> 3,8	. . . . .	<i>Al²O³</i> 3,8	. . . . .
<i>CaO</i> 11,2	. . . . .	<i>CaO</i> 11,2	. . . . .
<i>MgO</i> 4,8	. . . . .	<i>MgO</i> 4,8	. . . . .
Всего руды 500,0kg.	. . . . .	. . . . .	. . . . .
<i>CaO</i> 26,8	. . . . .	<i>CaO</i> 26,8	. . . . .
<i>MgO</i> 0,1	. . . . .	<i>MgO</i> 0,1	. . . . .
<i>SiO²</i> 1,6	. . . . .	<i>SiO²</i> 1,6	. . . . .
<i>Fe²O³</i> 0,1	. . . . .	<i>FeO</i> 0,1	<i>O</i>
<i>Al²O³</i> 0,2	. . . . .	<i>Al²O³</i> 0,2	. . . . .
<i>CO²</i> 21,2	. . . . .	. . . . .	<i>CO²</i> 21,2
Всего известняка 50,0kg.	. . . . .	. . . . .	. . . . .
<i>Fe</i> 1,6	. . . . .1,6	. . . . .	. . . . .
<i>C</i> 0,4	. . . . .0,4	. . . . .	. . . . .
<i>Mn</i> 8,0	. . . . .3,9	<i>MnO</i> 5,3	. . . . .
Всего феро-марг. 10,0kg.	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Всего погружено 3060,0kg.	2631,3kg.	256,7kg.	172,0kg.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

3) Составъ шлака будетъ:

SiO^2	. . . . .	55,0 kgr.	=	21,4%
Al^2O^3	. . . . .	4,0 »	=	1,5 »
CaO	. . . . .	38,0 »	=	14,8 »
MgO	. . . . .	4,9 »	=	1,9 »
FeO	. . . . .	145,5 »	=	56,8 »
MnO	. . . . .	9,3 »	=	3,6 »
Всего	. . . . .	256,7 kgr.		100,0%

3) Тепловой балансъ:

Приходъ тепла.

Теплота развиваемая электрическимъ токомъ:		x Cal.
Окисленіе C въ CO$	. . . . .	65 \times 2430 = 157 \cdot 950$ »
» Si » SiO^2$	. . . . .	12,1 \times 7000 = 84 \cdot 700$ »
» Mn » MnO$	. . . . .	4,7 \times 1653 = 7 \cdot 770$ »
Теплота образованія шлака	. . . . .	$59 \times 150 = 8 \cdot 850$ »
» въ расплавленномъ чугуна		$2500 \times 250 = 625 \cdot 000$ »
» » нагрѣтой рудѣ	. . . . .	$500 \times 77 = 38 \cdot 500$ »
Всего	. . . . .	$x + 922 \cdot 770$ Cal.

Расходъ тепла.

Теплота въ стали	. . . . .	$2631 \times 400 = 1 \cdot 052 \cdot 400$ Cal.
» » шлакѣ	. . . . .	$257 \times 600 = 154 \cdot 200$ »
Возстановленіе FeO изъ Fe^2O^3$	. . . . .	386,7 \times 446 = 172 \cdot 470$ »
» Fe » FeO$	. . . . .	203,1 \times 1173 = 238 \cdot 240$ »
Разъединеніе Fe^3C$	. . . . .	65 \times 705 = 45 \cdot 830$ »
Теплота въ газахъ при 500° :		
$CO = 151,7$ kgr. = $120,4$ куб. м. $\times 0,32 \times 500$		= $19 \cdot 260$ »
Потеря отъ излученія и проч.:		= $250 \cdot 000$ »
Всего	. . . . .	$1 \cdot 932 \cdot 400$ Cal

Слѣдовательно теплота, развиваемая электрическимъ токомъ будетъ:

$$x = 1 \cdot 932 \cdot 400 - 922 \cdot 770 = 1 \cdot 009 \cdot 630 \text{ Cal.}$$

4) Такъ какъ 1 килоуаттъ развиваетъ въ часъ 860 Cal., то электрическая энергія печи будетъ:

При годовой стоимости 1 килоуатта въ 25 долларовъ 1 кв-часъ обойдется въ:

$$\frac{25}{365 \times 24} = 0,002854 \text{ доллара}$$

и стоимость всей потребной энергии будетъ:

$$0,002854 \times 1174 = 3,35 \text{ доллара,}$$

а одна тонна стали обойдется:

$$\frac{3,35}{2,631} = 1,273 \text{ доллара.}$$

Задача № 30. Электролитическій процессъ происходитъ при слѣдующихъ условіяхъ:

Суточное осажденіе чистаго желѣза 25 тоннъ.

Поверхностная напряженность тока: 110 амперъ на 1 кв. м.

Аноды имѣютъ ширину въ 50 см. и погружены на 75 см.; ихъ толщина въ свѣжемъ видѣ 3 мм.

Катоды 50×75 , при толщинѣ въ 1 мм.

Допустимое изнашиваніе анодовъ 90%.

На катодахъ осаждаютъ слой въ 15 мм. съ каждой стороны.

Размѣры чановъ слѣдующіе: глубина 1 метръ, изъ коихъ наполненіе жидкостью 90 см., ширина 60 см., внутренняя длина 2 метра.

Разстояніе между анодами и катодами около 6 см.

Составъ электролита слѣдующій: сѣрноокислой закиси желѣза ($FeSO^4, 7H^2O$)—10%; сѣрноокислаго аммонія ($(NH^4)^2SO^4$)—5%; остальное вода. Удѣльный вѣсъ электролита 1,1; сопротивленіе 1 куб. см. 20 омъ.

Паденіе потенціала въ проводникахъ и соединеніяхъ 0,3 вольта на каждый чанъ.

Главный проводникъ расчитанъ на 2 ампера на каждый кв. мм. сѣченія.

Годовая стоимость 1 килоуатта—25 долларовъ.

ТРЕБУЕТСЯ:

1) Определить число анодовъ и катодовъ въ каждомъ чанѣ, число всѣхъ чановъ и ихъ распредѣленіе.

2) Увеличивъ погруженную часть на 10%; получимъ полную поверхность анодовъ и катодовъ, определить ихъ вѣсъ, принявъ за удѣльный вѣсъ прокатнаго желѣза — 7,9.

3) Определить потребное количество сѣрноокислой закиси желѣза и сѣрноокислаго аммонія для начала процесса.

4) Определить паденіе потенціала между электродами при началѣ и при окончаніи процесса; паденіе потенціала относящееся къ

одному чану; какая требуется разность потенциаловъ при началѣ процесса и во время операци.

5) Опреѣлнить сѣченіе главнаго провода.

6) Какое время потребується для растворенія анода (90%₀)?

7) Какое время потребується для осажденія допустимой толщины желѣза (удѣльнаго вѣса = 7,6) на катодъ?

8) Опреѣлнить количество потребной электрической энергіи и ея стоимость отнесенную къ 1 тоннѣ желѣза.

Рѣшеніе. Такъ какъ 1 амперъ выдѣляетъ въ теченіе 1 секунды 0,00001036 гр. водорода, то 110 амперъ выдѣлитъ въ теченіе сутокъ слѣдующее количество желѣза:

$$0,00001036 \times 110 \times \frac{56}{2} \times 60 \times 60 \times 24 = 2757 \text{ гр.},$$

а для полученія 25 тоннъ поверхность электродовъ должна быть:

$$\frac{25 \times 1.000.000}{2757} = 9068 \text{ кв. м.}$$

Въ виду того, что осажденіе происходитъ съ двухъ сторонъ на катоды площадью въ $0,75 \times 0,5 = 0,375$ кв. м., то число катодовъ будетъ

$$\frac{9068}{2 \times 0,375} = 12.090.$$

Назовемъ черезъ x число катодовъ въ каждомъ чанѣ, тогда число анодовъ будетъ $(x + 1)$, а общая толщина всѣхъ электродовъ одного чана въ мм.

$$x + 3(x + 1) = 4x + 3.$$

Число промежутковъ между анодами и катодами будетъ $2x$ и, беря для нихъ по 60 мм., получимъ для всего пространства, занимаемаго ими,— $120x$. Если сюда прибавить общую толщину электродовъ, то получимъ длину чана т.-е. 2 метра.

Слѣдовательно:

$$124x + 3 = 2000,$$

откуда:

$$x = 16,1.$$

Беря для числа катодовъ $x = 16$, получимъ для числа анодовъ 17, а слѣдовательно, при началѣ процесса, точное разстояніе между катодами и анодами будетъ:

$$\frac{2000 - 16 - 3 \times 17}{2 \times 16} = 60,4 \text{ мм.}$$

Такъ какъ общее число катодовъ 12·090, а въ каждомъ чанѣ ихъ 16, то слѣдовательно число чановъ будетъ:

$$\frac{12090}{16} = 756.$$

Распредѣленіе этихъ чановъ по группамъ будетъ разобрано далѣе.

2) Вѣсъ одного анода будетъ:

$$75 \times 50 \times 0,3 \times 7,9 \times 1,1 = 9776 \text{ гр.},$$

а вѣсъ погруженной части 8888 гр. Вѣсъ катодовъ, имѣющихъ втрое меньшую толщину, будетъ по 3259 гр. каждый.

Вѣсъ 17 анодовъ одного чана будетъ:

$$9,776 \times 17 = 166,2 \text{ kgr.}$$

а вѣсъ 16 катодовъ:

$$3,259 \times 16 = 52,1 \text{ kgr.}$$

Для всѣхъ 756 чановъ мы будемъ имѣть при началѣ процесса:

$$\text{Вѣсъ анодовъ} \quad . \quad . \quad 166,2 \times 756 = 125 \cdot 647 \text{ kgr.}$$

$$\text{Вѣсъ катодовъ} \quad . \quad . \quad 52,1 \times 756 = 39 \cdot 388 \quad \gg$$

3) Объемъ жидкости въ чанѣ будетъ:

$$0,9 \times 0,6 \times 2 = 1,08 \text{ куб. м.}$$

Вѣсъ этой жидкости:

$$1,08 \times 1000 \times 1,1 = 1188 \text{ kgr.}$$

Слѣдовательно вѣса растворенныхъ солей желѣза и аммонія будутъ:

$$Fe SO^4 7H^2O = 118,8 \text{ kgr.}$$

$$(NH^4)^2SO^4 = 59,4 \quad \gg$$

а для всѣхъ 756 чановъ:

$$\text{Сѣрноокислая закись желѣза} = 89,8 \text{ тоннъ}$$

$$\text{Сѣрноокислый аммоній} = 44,9 \text{ тоннъ.}$$

4) Разстояніе между анодомъ и катодомъ 6,04 ст.; черезъ каждый квадратный метръ поверхности электродовъ проходятъ 110 амперъ, слѣдовательно черезъ 0,375 кв. м.—41,25 амперъ.

Если мы пренебрежемъ тѣмъ токомъ, который проходитъ съ обоихъ сторонъ анода и снизу по электролиту, то сопротивленіе электролита между двумя сосѣдними электродами будетъ:

$$\frac{20 \times 6,04}{75 \times 50} = 0,0322 \text{ омъ.}$$

Но правильнѣе увеличить нѣсколько площадь прохода тока, прибавивъ по 5 см. съ обоихъ сторонъ и снизу. Такимъ образомъ новая площадь будетъ:

$$(75 + 5) \times (50 + 10) = 4800 \text{ кв. см.},$$

слѣдовательно сопротивление будетъ:

$$\frac{20 \times 6,04}{4800} = 0,0252 \text{ ома},$$

а на 41,25 амперъ это составитъ паденіе потенциала въ $0,0252 \times 41,25 = 1,04$ вольта.

При окончаніи процесса на катодъ осадилось 15 мм. желѣза съ каждой стороны; если пренебречь раствореніемъ анода, то новое разстояніе между электродами будетъ 4,54 см. и слѣдовательно сопротивление будетъ:

$$\frac{20 \times 4,54}{4800} = 0,0189 \text{ ома},$$

а паденіе потенциала:

$$0,0189 \times 41,25 = 0,78 \text{ вольта.}$$

Какъ въ первомъ, такъ и во второмъ случаѣ надо прибавить по 0,3 вольта на паденіе потенциала въ проводникахъ и соединеніяхъ, такъ что для одного чана требуется слѣдующая разность потенциаловъ:

При началѣ процесса	1,34	вольта
При концѣ процесса	1,08	»
Во время операціи	1,21	»

Предположимъ теперь что мы расположимъ чаны въ 4 группы изъ 189 каждая. Разность потенциаловъ у генераторовъ должна тогда быть:

При началѣ процесса	254	вольтъ
При концѣ процесса	204	»
Во время операціи	229	»

5) На каждый чанъ приходится слѣдующее число амперъ:

$$0,75 \times 0,5 \times 2 \times 16 \times 110 = 1320,$$

слѣдовательно сѣченіе главнаго провода будетъ:

$$\frac{1320}{2} = 660 \text{ кв. мм.}$$

6) Погруженная въ жидкость часть анода вѣситъ 8888 гг., а такъ какъ допустимое раствореніе составляетъ 0,9 этого вѣса, то каждый анодъ смѣняется послѣ потери въ вѣсѣ = 8000 гг.

На каждый промежуточный анодъ приходится по $2 \times 41,25 = 82,5$ амперъ, каковыя растворяютъ въ теченіе 1 секунды

$$0,00001036 \times \frac{56}{2} \times 82,5 = 0,0239316 \text{ gr. Fe}$$

Продолжительность службы анодной пластинки будетъ слѣдовательно:

$$\frac{8000}{0,0239316} = 334 \cdot 286 \text{ сек.} = 93 \text{ часа.}$$

7) Всѣхъ допустимаго отложенія на катодной пластинкѣ будетъ:

$$75 \times 50 \times 2 \times 1,5 \times 7,6 = 85500 \text{ gr.}$$

Время за которое токъ въ 82,5 амперъ отложить это количество будетъ:

$$\frac{85 \cdot 500}{0,0239316} = 3 \cdot 572 \cdot 675 \text{ сек.} = 41 \text{ день } 8,5 \text{ час.}$$

8) На каждую изъ 4 группъ расходуется 1320 амперъ при 229 вольтахъ, т.-е.:

$$\frac{1320 \times 229}{1000} = 302,28 \text{ килоуаттъ.}$$

Всего расходуется слѣдовательно 1209 килоуаттъ.

При годовой стоимости 1 кв. въ 25 долларовъ, потребная электрическая энергія обойдется въ сутки:

$$\frac{25 \times 1209}{365} = 83 \text{ доллара,}$$

а слѣдовательно расходъ на 1 тонну стали будетъ:

$$\frac{83}{25} = 3,32 \text{ доллара.}$$

Сканувала Онуфрієнко М. М.

НБ
УДУНТ
(ІПБТ)