

66.041
П54

К. А. ПОЛЯКОВ

ПЕЧИ И АППАРАТЫ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОЧИСТКИ
СЕРНИСТОГО ГАЗА

66.041

АППАРАТУРА СЕРНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

П54

Выпуск IV

К. А. ПОЛЯКОВ

Д Е П

ПЕЧИ И АППАРАТЫ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОЧИСТКИ
СЕРНИСТОГО ГАЗА

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

46093

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР



ОПТИ • ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА • 1938

В книге дается описание конструкций, монтажа и эксплуатации печей и аппаратов для получения и очистки сернистого газа. Описываются также аппараты, встречающиеся в цветной металлургии и могущие быть источниками получения сернистого газа. Дается характеристика работы отдельных аппаратов с указанием их достоинств и недостатков и приводится большое количество практических сведений, относящихся к их работе.

Книга рассчитана на ИТР основной химической и сульфитцеллюлозной промышленности, работающих как на производстве, так и в проектных организациях, а также на студентов вузов соответствующих специальностей.

К Ч И Т А Т Е Л Ю

ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРОСИТ ПРИСЫЛАТЬ ВАШИ ЗАМЕЧАНИЯ И ОТЗЫВЫ ОБ ЭТОЙ КНИГЕ ПО АДРЕСУ: МОСКВА, НОВАЯ ПЛ. 10, ПОДЪЕЗД 11, ГЛАВНОЙ РЕДАКЦИИ ХИМИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Отв. редактор М. А. Григорук.

Технич. редактор Е. М. Акимова.

ГРХЛ № 929. Договор № 6182. Индекс ХМ-22-5-3. Тираж 1700 экз. Сдано в набор 11/XI 1937 г. Подп. в печ. 10/IV 1938 г. Формат бумаги 62 × 94¹/₁₆. Уч.-авт. л. 26. Печ. л. 23¹/₈. Заказ № 1732. Уполн. Главлита № В-26045.

3-я тип. ОНТИ. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из главнейших агрегатов в производстве серной кислоты являются печи и аппараты для получения и очистки сернистого газа.

При наблюдении за рядом сернокислотных систем с несомненностью выясняется, что довольно часто основными причинами ненормальной работы систем являются неверный выбор типа аппаратов, неправильные монтаж и эксплуатация печей и аппаратов для получения и очистки сернистого газа.

Стахановское движение сыграло и играет огромную роль в увеличении производительности агрегатов, в которых получается сернистый газ. Из сопоставления паспортной и фактической производительности, как это видно из дальнейшего описания, производительность аппаратов возросла на 50—60% и выше.

Настоящая книга имеет целью осветить ряд вопросов, связанных с монтажом и эксплуатацией этих аппаратов, и дать средства для критической оценки типов аппаратов, применяемых в производстве серной кислоты для получения сернистого газа.

Кроме печей, применяемых специально для получения сернистого газа, в книге дается описание аппаратов цветной промышленности, которые могут служить источником получения сернистого газа, пригодного для получения серной кислоты.

Использование газов цветной металлургии до последнего времени задерживалось в химической промышленности. В 1938 г. будет строиться ряд сернокислотных заводов, которые будут работать на отходящих газах медеплавильной и цинковой промышленности.

При описании аппаратов, их монтажа и эксплуатации мы пользовались не только имеющейся по этому вопросу советской и иностранной литературой, но и практическими данными, собранными нами при эксплуатации и монтаже ряда химических заводов.

Выражаю глубокую признательность инж. В. Г. Недригайлову и А. А. Васильеву, представившим весьма ценные практические данные в части монтажа и эксплуатации работающих печей для получения сернистого газа, а также инж. М. Н. Второву за ценные советы и указания.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	7
Применение и выработка серной кислоты	—
Сернистый газ, его свойства и применение	9
Пути использования серусодержащего сырья в 3-м и 4-м пятилетия	10
 ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ПОЛУЧЕНИЕ СЕРНИСТОГО ГАЗА	
<i>Глава первая. Источники получения сернистого газа</i>	<i>13</i>
I. Серный колчедан	14
II. Флотационный колчедан	19
III. Углистый колчедан	21
IV. Отходящие газы металлургических печей	22
1. Газы медеплавильных печей	23
2. Газы цинковых печей	25
V. Сера	27
1. Самородная сера	—
2. Химические методы получения серы	29
VI. Гипс и другие виды сырья	33
<i>Глава вторая. Основы обжига колчедана</i>	<i>35</i>
I. Теория горения серного колчедана	—
II. Количество и состав газа, получаемого при горении колчедана	38
III. Количество огарка, получаемого при горении колчедана	43
IV. Материальный баланс колчеданной печи на 1 кг сжигаемого колчедана	44
V. Теплотворная способность колчедана	46
VI. Теплоемкость газов	48
VII. Температура горения колчедана	51
1. Теоретическая температура	—
2. Практическая температура	54
VIII. Тепловой баланс механической печи „Г“	57
Литература	59
<i>Глава третья. Печи для получения сернистого газа</i>	<i>60</i>
I. Ручные печи	61
II. Механические печи	62
1. Первая механическая печь Мак-Дугаль	63
2. Механические печи Геррестгофа	64
3. 10-тонная печь Гумбольдта	71
4. Печь „Г“	74
5. Печь ВХЗ	80
6. Печи Гумбольдта с железным валом	94
7. Печи Льюри	98
8. Печь Брак-Моритца	103
9. Печи Ведже	108
III. Печи для сжигания пылевидного колчедана	120
IV. Вращающиеся печи	130
1. Устройство и работа вращающейся печи	131
2. Вращающиеся печи фирмы „Кемико“	140

Стр.

Глава четвертая. Печи для обжига медных руд и плавки меди как поставщики сернистого газа	149
I. Предварительный обжиг	150
1. Печь Николье-Геррасгофа	151
II. Обжиг на штейн	156
1. Отражательные печи	157
2. Ватер-жакеты	—
III. Получение черновой меди	160
1. Конверторы	161
Глава пятая. Механические печи других конструкций	162
I. Печи ранних конструкций	—
1. Печи с водяным охлаждением вала и гребков	—
2. Печь Шерффенберга	163
3. Печи с несколькими вертикальными валами	164
4. Печи с вращающимся подом	165
5. Печи с винтообразным подом	166
6. Четырехугольные печи без центрального вала	—
II. Печи для обжига цинковых руд	167
1. Печь Спирле	168
III. Вращающиеся печи для обжига гинса	171
IV. Печи для сжигания серы	176
V. Печи для сжигания газоочистительной массы	183
VI. Аппараты для разложения нефтяных гудронов	184
Глава шестая. Утилизация огарка колчеданных печей	186
I. Извлечение меди	187
II. Агломерация огарка	192
Глава седьмая. Пуск и эксплуатация печей для сжигания колчедана	195
I. Пуск смонтированных механических печей	—
II. Пуск и остановка работающих механических печей	201
III. Пуск и остановка печей пылевидного обжига	202
IV. Эксплуатация механических печей	203
1. Сжигание колчедана	—
2. Сжигание флотационного колчедана	222
3. Сжигание углистого колчедана	225
4. Время пребывания и количество колчедана в печи	228
V. Эксплуатация печей пылевидного обжига	229
VI. Сжигание влажных флотационных хвостов в печах пылевидного обжига	232
Глава восьмая. Контроль работы печного отделения	236
I. Анализ серного колчедана	—
1. Отбор проб	—
2. Определение влаги	237
3. Определение серы в колчедане	238
4. Определение меди	239
5. Определение мышьяка	—
6. Определение содержания органических примесей в углистых колчеданах	240
II. Анализ колчедана и огарка печного отделения	—
III. Анализ печного газа	241
1. Определение SO_2	—
2. Определение O_2	245
3. Определение пыли и SO_3	247
IV. Измерение температуры печных газов	248
V. Измерение скорости движения газов в газоходах	249

	Стр.
Глава девятая. Газоходы, транспорт колчедана и огарка в печных отделениях	253
I. Газоходы печных отделений	—
II. Подача колчедана к печам и удаление огарка	263
1. Подача колчедана на печи	—
2. Удаление огарка	265
Глава десятая. Монтаж печей	273
I. Монтаж печей Гумбольдта	274
II. Монтаж печей Ведже	279
III. Потребность в рабочей силе при монтаже механических печей	284
IV. Футеровка печей	286
V. Технические условия на керамику для механических печей	292
Глава одиннадцатая. Критическая оценка различных типов печей	294
Литература	300
 ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ОЧИСТКА ПЕЧНЫХ ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ 	
Глава первая. Механическая очистка газов	302
I. Пылеосадительные камеры	303
II. Циклоны	312
Глава вторая. Электрическая очистка газов	318
I. Теоретические основы	319
1. Форма электродов, напряжение поля	—
2. Ионизация и коронный разряд	324
3. Выбор рода тока для электроочистки	328
4. Заряжение пыли	329
5. Движение пыли в электрическом поле и время осаждения	330
II. Электрическая аппаратура	334
1. Трансформатор, выпрямитель и переключатель	—
2. Автотрансформатор и защитное сопротивление	337
3. Схема повысительно-выпрямительной подстанции	338
4. Электрофильтры	342
5. Огарковые электрофильтры	345
6. Включение и выключение агрегатов	356
7. Уход за установкой	358
8. Показатели и причины неправильной работы электрофильтров	359
III. Пуск и обслуживание камер	361
Литература	363
Предметный указатель	364

ВВЕДЕНИЕ

ПРИМЕНЕНИЕ И ВЫРАБОТКА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Серная кислота является одним из важнейших химических продуктов. Достаточно дать простое перечисление основных областей применения серной кислоты, чтобы увидеть, какое огромное место она занимает в народном хозяйстве. Главным образом она идет на производство минеральных удобрений: суперфосфата, преципитата, сульфата аммония (около 62% всей вырабатываемой серной кислоты). Серной кислотой пользуются и другие отрасли промышленности — нефтепереработная (15%), металлургическая (8%), текстильная и т. д.

Серная кислота расходуется также на производство различных ее солей. Так, при действии серной кислоты на поваренную соль (хлористый натрий) получается сульфат натрия, применяемый при производстве сернистого натрия и в стекольном деле; одновременно получается также и соляная кислота, которая идет на производство хлористого цинка и других химических продуктов. Действием серной кислоты на прокаленную глину получают сернокислый глинозем, применяемый для очистки воды, а также в крашении и в бумажной промышленности.

Действуя на железо и медь серной кислотой, можно получить в первом случае железный, а во втором — медный купорос, которые применяются для борьбы с вредителями полей и садов.

При обработке плавикового шпата купоросным маслом получается фтористый водород, который, поглощаясь водой, образует плавиковую кислоту. Взаимодействием фтористого водорода с содой получается фтористый натрий. При действии плавиковой кислоты на глинозем и соду образуется криолит, применяемый в качестве плавня при электротермическом производстве алюминия.

Серная кислота применяется также при производстве уксусной кислоты, для чего, так называемый, древесный порошок, содержащий 60—80% ацетата кальция, разлагается купоросным маслом.

Для получения хромпика калиевого или натриевого, хромистый железняк в смеси с содой и известью подвергается окислительному обжигу, после чего выщелачиванием получается водная вытяжка монохромата натрия или калия; при действии серной кислоты монохромат переходит в бихромат, который и является товарной продукцией.

В лакокрасочной промышленности серная кислота применяется в производстве литопона, бланфикса и титановых белил.

Нефтяные продукты (бензин, керосин, смазочные масла) для удаления из них вредных примесей подвергаются обработке серной

кислотой. Крепкая серная кислота применяется в производстве взрывчатых веществ, а потому сернокислотные заводы имеют большое значение в деле обороны страны.

Серная кислота применяется еще в производстве органических красок, а также при травке железных изделий перед лужением, в производстве искусственного волокна и т. д.

В дореволюционной России производство серной кислоты было крайне незначительным: в 1913 г. например было произведено всего лишь 110 тыс. т серной кислоты.

В СССР в 1936 г. было произведено серной кислоты 1 300 тыс. т, т. е. почти в 12 раз больше. Особенно быстро и неуклонно шло у нас увеличение выработки серной кислоты с 1929 г., в связи с развитием производства минеральных удобрений.

В капиталистических странах, за исключением Японии, в последние годы в связи с промышленным кризисом и обнищанием крестьянских масс в этих странах производство серной кислоты значительно упало и в 1934 г. еще не достигло уровня 1929 г.

Таблица 1

Производство серной кислоты
(в тыс. т в моногидрате)

Страны	Годы							
	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936
США	4815	4430	3412	2550	2985	3175	3700	4350
Германия	1704	1468	1100	935	1207	1400	1567	1680
СССР	254	356	450	552	619	775	1000	1300
Япония	819	—	—	1057	1169	1200	1720	2010
Франция	1073	866	650	600	670	750	875	—
Англия	967	850	710	785	789	886	936	1043
Италия	835	831	633	562	705	780	800	960
Испания	403	461	460	440	—	436	436	—
Польша	243	193	125	102	122	142	124	139

О 1934 г. в связи с ростом военной промышленности увеличивается выпуск серной кислоты и в капиталистических странах.

В табл. 1 приводятся данные по производству серной кислоты (в тыс. т в моногидрате).

В ближайшие годы у нас особенно резко должно вырасти производство серной кислоты. Выполнение боевой задачи, поставленной товарищем Сталиным в декабре 1935 г. на совещании передовых комбайнеров и комбайнерок, «довести в ближайшем будущем, года через 3—4, ежегодное производство зерна до 7—8 млрд. пудов» требует огромного количества минеральных удобрений, а вместе с тем и серной кислоты, играющей важнейшую роль в производстве этих удобрений. В 1936 г. было выработано ~ 1300 тыс. т, а в 1937 г. выработано до 2 млн. т серной кислоты.

Для выработки такого огромного количества серной кислоты

работают тысячи печей и аппаратов, в которых сжигается разнообразнейшее серусодержащее сырье, дающее сернистый газ, в результате переработки которого получается серная кислота.

СЕРНИСТЫЙ ГАЗ, ЕГО СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

При всех способах производства серной кислоты ее получают из сернистого газа. Чистый сернистый газ, или сернистый ангидрид, представляет собой едкий газ с острым запахом. Он в 2,26 раза тяжелее воздуха (1 м³ газа при 0° и 760 мм давления весит 2,93 кг). При охлаждении и сжатии он может быть превращен в жидкость, кипящую при -10°. Сернистый газ очень вреден для здоровья человека. Отравления им проявляются в том, что появляется головокружение, кашель, слабость и т. п. При более тяжелых случаях отравления наблюдается выделение мокроты с кровью, одышка и потеря сознания.

Сернистый газ применяется главным образом для производства серной кислоты. Он находит также применение для производства бисульфита кальция, необходимого при производстве бумаги по сульфитцеллюлозному способу, для производства бисульфита натрия и калия, применяемых главным образом при белении ткани и ситцепечатании. Сернистый газ также необходим при производстве гидросульфита натрия, сульфита натрия и калия, гипосульфита натрия, хлорсульфоновой кислоты, хлористого сульфурила, пиросульфита натрия и калия и т. п.

Путем восстановления сернистого газа из него получают элементарную серу. Из газов, получаемых в печах и содержащих 8—10% SO₂, может быть получен 100%-ный сернистый газ, превращаемый затем в жидкий продукт, перевозимый в стальных баллонах под давлением и находящий применение для беления шерсти, шелка, для консервирования фруктов и т. д.

Непосредственная реакция между SO₂ и кислородом в газовой фазе даже при высоких температурах идет чрезвычайно медленно и прикладного значения в промышленности не имеет.

Окисление SO₂ на практике осуществляется при помощи окислов азота NO₂ и N₂O₄; при этом высшие окислы азота переходят в окись азота NO, которая в дальнейшем снова за счет кислорода воздуха окисляется в высшие окислы.

Другой путь переработки SO₂ состоит в ускорении реакции между SO₂ и O₂ под влиянием твердых катализаторов: платины, окислов ванадия и др. Оба эти метода окисления SO₂ составляют сущность камерного, башенного и контактного способов получения серной кислоты.

Печи и аппараты, в которых производится обжиг сернистых руд и получается сернистый газ, работают в сернокислотной, цветной и сульфитцеллюлозной промышленности. Первоначально сернистые руды обжигались в ручных печах, обслуживание которых требовало применения тяжелого ручного труда.

Первые механические печи для сжигания колчедана были пред-

ложены 60 лет назад в Англии братьями Мак-Дугаль, но вследствие конструктивных недостатков эти печи стали широко применяться лишь с 90-х годов прошлого столетия, когда Герресгоф (Америка) усовершенствовал их конструкцию.

Значительные преимущества механических печей способствовали их широкому внедрению, и в настоящее время ручные печи встречаются лишь единицами.

В последнее время появились печи пылевидного обжига и вращающиеся. Эти печи несмотря на ряд недостатков имеют и некоторые преимущества по сравнению с механическими печами, а поэтому также применяются при получении сернистого газа.

Описанию серусодержащего сырья и аппаратов, в которых получается сернистый газ, посвящается данная книга.

ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕРУСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В 3-м И 4-м ПЯТИЛЕТИИ

Ассортимент серусодержащего сырья для получения сернистого газа уже в настоящее время весьма разнообразен и в 3-м пятилетии возможное количество этого сырья будет значительно превышать потребность в нем потребителей. Поэтому правильный выбор сырья и соотношения между отдельными видами его является первоочередной и ответственной задачей. По нашему мнению при использовании серусодержащего сырья в 3-м и 4-м пятилетии необходимо руководствоваться следующими положениями.

В первую очередь должны быть использованы отходящие газы всех цинкоплавильных заводов и газы, получаемые при обжиге медных концентратов и полиметаллических руд, и в дальнейшем газы конверторов и ватержакетов медеплавильной промышленности. Использование газов цветной промышленности необходимо не только потому, что они являются сырьем для производства серной кислоты, но и из санитарно-гигиенических соображений.

Потребность действующих заводов в серусодержащем сырье будет покрываться флотационным колчеданом, шпиритными концентратами и рядовым колчеданом. Рядовой колчедан в 3-м пятилетии вряд ли должен специально добываться и он будет отбираться только лишь при разработке медных колчеданов.

В интересах перехода на местное сырье на заводах Центра и Украины должны быть использованы максимально местные углистые колчеданы. В 3-м пятилетии как сырье для производства серной кислоты должен быть освоен гипс. Важность освоения гипса учитывается теми соображениями, что он является местным сырьем для ряда районов, дефицитных в отношении другого серусодержащего сырья (Северный Край, Поволжье).

Кроме того производственное освоение гипса дает возможность в дальнейшем практически подойти к проблеме использования фосфогипса.

В 3-м пятилетии мы будем иметь значительное количество серы, получаемой при производстве меди. Элементарная сера должна быть использована для повышения мощности тех действующ-

щих заводов, где для этого требуется повысить концентрацию сернистого газа, поступающего в систему (цинковые заводы). Для этого при указанных заводах должны быть построены печи, сжигающие серу.

В дальнейшем сера (как высококачественное сырье) должна применяться в производствах, в которых необходим чистый газ (контактные системы, бумажное производство и т. д.).

Серная кислота, употребляемая для очистки нефтепродуктов, переходит полностью в кислые гудроны, из которых она должна обратно регенерироваться, как это делается в США. Сернокислотные установки, работающие при заводе очистки нефти, должны использовать SO_2 , получаемый при разложении гудронов, и потреблять новое серусодержащее сырье только в количестве, необходимом для пополнения потерь в производстве.

Отходящие газы топок при теплоцентралях очень бедны сернистым газом, но количество этих газов громадное и при полном улавливании SO_2 из этих газов в конце 3-го пятилетия можно было бы получить более миллиона тонн серной кислоты. Кроме того улавливание SO_2 из отходящих газов топок совершенно необходимо по санитарно-гигиеническим соображениям. Во всяком случае, SO_2 отходящих газов электроцентралей Москвы, Московской области и Донбасса должен быть полностью уловлен, что должно дать не менее 450—500 тыс. т серной кислоты в год.

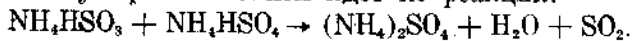
Необходимость использования бедных сернистым ангидридом газов обуславливает чрезвычайную важность проблемы концентрирования слабых газов. В ряде исследовательских институтов разрабатываются разнообразные методы улавливания SO_2 из газов низких концентраций. Первую группу этих методов можно характеризовать как группу, извлекающую весь сернистый ангидрид в виде 100%-ного SO_2 . Сюда относятся методы, в которых применяются поглотители с большим температурным перепадом растворимости SO_2 . По каждому из этих методов SO_2 извлекается из газов раствором поглотителя при низкой температуре, а затем при нагревании раствора выделяется 100%-ный сернистый ангидрид. В качестве рабочих жидкостей в этой группе методов применяются вода, растворы сульфит-бисульфит аммония, диатрий фосфата, сульфата аммония, ксилитина.

К этой же группе относятся методы с применением прокалики реагентов во вращающихся печах. Сюда относится аммиачный метод с регенерацией аммиака, получающегося при разложении сульфата аммония по реакции:



Полученный при разложении аммиак вместе с SO_2 из газов поступает в башню, где циркулирует раствор сульфит-бисульфит аммония. По мере увеличения в циркуляционном растворе концентрации бисульфита часть раствора отводится и разлагается бисуль-

фатом аммония, полученным в печи. Взаимодействие бисульфит аммония с сульфатом аммонием идет по реакции:



Чистый сернистый газ отводится для переработки в серную кислоту или серу, а сульфат аммония возвращается обратно в печь для разложения. По магниевому методу SO_2 поглощается пульпой $\text{Mg}(\text{OH})_2$, а затем при прокаливании смеси сульфата и сульфита магния выделяется высокопроцентный сернистый ангидрид. По калиевому методу SO_2 поглощается сульфитом калия, а при прокालке бисульфита калия выделяется 100%-ный SO_2 .

Ко второй группе методов относятся такие, которые наряду со 100%-ным SO_2 дают другие продукты. Сюда прежде всего относится аммиачный метод с получением сульфата аммония. По этому методу SO_2 поглощается раствором сульфит-бисульфит аммония. Раствор по мере насыщения бисульфит аммонием выводится из цикла и обрабатывается серной кислотой. При этом получается 100%-ный SO_2 и сульфат аммония. За границей имеется несколько таких установок, работающих на хвостовых газах контактных заводов. Такая же установка работает при одном контактном заводе в СССР.

Следующим методом этой группы является комбинированный метод «Газоочистки» и Теплотехнического института. По этому методу топочные газы проходят через ряд орошаемых слабой кислотой башен. В растворе находится катализатор (пирролизит и соли железа), при помощи которого часть (половина) SO_2 топочных газов окисляется до серной кислоты. Остатки SO_2 поглощаются в скрубберах, орошаемых известковым молоком или пульпой $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Обработкой сульфита кальция или магния, получаемого в последних башнях, слабой серной кислотой, продуцируемой в первых башнях, получается 100%-ный SO_2 и гипс или сернокислый, магний.

К третьей группе методов относятся методы, переводящие весь сернистый газ непосредственно в серную кислоту. Сюда относится каталитический метод газоочистки, представляющий собой первую часть вышеописанного комбинированного метода. Сюда также относятся методы окисления SO_2 при помощи озона и в высокочастотном электрическом поле.

Представляет интерес метод Ивановского химико-технологического института, по которому SO_2 поглощается аммиаком, а затем сульфит аммония с применением давления разлагается на сульфат аммония и элементарную серу.

Обогащение сернистого газа, очевидно, будет целесообразно проводить и в отношении более богатых газов (газы от разложения гипса, отходящие газы металлургических печей). Газы этого рода возможно обогащать наиболее простым методом — водной абсорбцией. Этим методом в частности обогащается газ от обжига гипса в Англии на одном из заводов. Обогащение этих газов значительно упростит их использование на серную кислоту, а также даст возможность получать из них элементарную серу.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПОЛУЧЕНИЕ СЕРНИСТОГО ГАЗА

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ИСТОЧНИКИ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРНИСТОГО ГАЗА

Сернистый газ получают методом обжига и сжигания сернистого и медистого колчеданов, флотационных хвостов, цинковой обманки, элементарной серы, газоочистительной массы, гипса, сероводорода и кислых гудронов.

Печи в медеплавильной и цинковой промышленности, имеющие основной целью переработку этих руд на медь и цинк, дают в большинстве случаев сернистый газ, вполне пригодный для производства серной кислоты.

Применение того или иного вида сырья для получения серной кислоты зависит исключительно от экономических соображений.

Главнейшим сырьем в сернокислотной промышленности является колчедан. Второе место занимают газы медеплавильных и цинковых печей. Третье место принадлежит сере. Сера является с технической точки зрения лучшим сырьем для получения серной кислоты. Она не содержит мышьяка; при ее сжигании отсутствуют побочные продукты обжига; очистка газа, получаемого при сжигании серы, весьма проста, а потому сера является прекрасным сырьем при получении серной кислоты контактным методом. Этот вид сырья применяется главным образом в США и Англии; у нас в СССР применение его намечается в ближайшем будущем.

Газоочистительная масса для получения серной кислоты применяется главным образом в Англии и отчасти в Германии, т. е. в тех странах, где развито получение чистого коксового газа и где другие виды сырья сравнительно дороги.

Гипс и кислые гудроны в качестве сырья для получения серной кислоты применяются лишь в единичных установках. Еще реже для этой цели сжигают сероводород.

В США половина серной кислоты вырабатывается из колчедана, а остальное количество почти в равных соотношениях из серы и газов цветной промышленности.

В Польше и Бельгии главная масса серной кислоты — до 80% — получается из газов при обжиге цинковой обманки.

В Германии 70% серной кислоты получается из колчедана и 30% из газов цветной промышленности.

В Англии на долю колчедана приходится около 55%, а остальное количество серной кислоты получается из серы, газоочистительной массы и газов, получаемых при обжиге цинковой обманки.

В СССР серная кислота вырабатывается главным образом из

серного колчедана, добытого или непосредственно из рудников (рядовой колчедан), или при флотации медистых колчеданов (флотационные хвосты), или наконец из углистого колчедана, полученного при обогащении угля. Другие виды сырья имеют пока что небольшое применение.

Участие различного вида сырья в СССР в процентах выработанной серной кислоты приведено в табл. 2.

Таблица 2

Годы	Рядовой колчедан	Флотационный колчедан	Угlistый колчедан	Газы медеплавильных и цинковых печей
1933	56,2	31,9	7,5	4,4
1934	51,4	36,6	7,4	4,6
1935	57,1	30,5	6,7	5,7
1936	44,4	43,8	6,3	5,5
1937 (план)	42,8	47,8	4,8	4,6

Сера и гипс как сырье для производства серной кислоты в настоящее время у нас в СССР не применяются. Газоочистительная масса за последние 10 лет имеет небольшое применение на заводах Московской области и в Донбассе.

Газы, получаемые при обжиге цинковой обманки, утилизируются в настоящее время на трех заводах, а получаемые при обжиге медистых руд — лишь на одном.

Осуществляемые и проектируемые постройки медеплавильных и цинковых заводов предусматривают комплексное использование сырья, т. е. металла и серы.

1. СЕРНЫЙ КОЛЧЕДАН

Серный колчедан в химически чистом виде имеет формулу FeS_2 и содержит 53,46% S и 46,54% Fe. В природе колчедан, отвечающий такому составу, не встречается. Он обычно содержит примеси и количество серы в нем колеблется в пределах от 30 до 50%; чаще всего встречается колчедан с содержанием в нем серы от 40 до 45%.

Примеси, сопровождающие колчедан, весьма разнообразны. Они состоят из сернистых соединений Cu, Zn, As, Pb, Sb и Se, сернокислых и углекислых соединений Ca, Mg, Ba, Cu, из окислов алюминия, кремнезема и других пород. Кроме того в колчедане почти всегда встречаются в весьма незначительных количествах золото и серебро.

Содержание меди в колчедане варьирует от следов до 4 и даже 6%. Богатый медью колчедан обычно содержит значительное ко-

личество простых и двойных солей меди. При содержании меди свыше 1% колчедан считается медистым и поступает на обогащение, где разделяется на концентрат с содержанием меди от 12 до 18% и флотационные хвосты. Последние содержат незначительный процент меди и после сушки могут быть перерабатываемы в серную кислоту.

Свинца содержится не свыше 1%, цинка до 3%, а иногда и выше.

Колчеданы, содержащие Pb и Zn, подвергаются флотации; из них получают соответствующие концентраты и флотационные хвосты. Цинк и свинец обычно сопровождаются медью. За редким исключением в колчедане присутствует селен, содержание которого колеблется от следов до 400 г на 1 т. При селенистом колчедане получаемая кислота окрашивается в красно-бурый цвет. При производстве сульфитной целлюлозы примесь селена вредна.

Колчедан иногда содержит золото и серебро. Содержание серебра нередко достигает 50 г, а золота 10 г на 1 т. Среднее содержание серебра 3—10 г и золота 1—2 г на 1 т.

В состав породы, сопровождающей колчедан, входят углекислые и сернокислые соли Ca, Mg и Ba, Al_2O_3 , SiO_2 , разнообразные минералы, асбест, гипс, кварц и пр.

В табл. 3¹ приведен анализ колчеданов различных месторождений в СССР и за границей.

Серный колчедан встречается в природе в двух модификациях: пирита и марказита. Пирит (железный или серный колчедан) кристаллизуется в правильной системе, имеет металлический блеск и зеленовато-серый цвет. Пирит залегает в сплошных массах, состоящих из весьма мелких кристаллов. Уд. вес его от 4,8 до 5,2. Твердость 6—6,5. Марказит (лучистый колчедан) встречается значительно реже, он кристаллизуется в ромбической системе, окрашен светлее пирита и очень часто содержит углистые включения.

Удельный вес марказита от 4,5 до 4,88, твердость та же, что и для пирита. 1 м³ колчедана весит около 2,5 (в кусках) — 2,35 (мелкий) т.

Колчедан принадлежит к числу минералов, достаточно распространенных в природе. Самые мощные месторождения находятся в Испании и Португалии. В этих двух странах добывается колчедана больше, чем во всех остальных странах вместе взятых. В табл. 4 приводятся данные о добыче колчедана в главнейших странах мира.

По запасам колчедана СССР занимает второе место после Испании и Португалии. По Уралу запасы² медного колчедана по категориям А и В составляют 55,627 млн. т и по категории С — 36 млн. т, всего 92 млн. т. В эти 92 млн. т не включены 15 млн. т чистого серного колчедана. В общем ресурсы сульфидных руд

¹ П. М. Лукьянов, Курс химической технологии минеральных веществ.

² По данным конференции Цветметзолото на I/I 1932 г.

Таблица 3

Месторождения	S	Fe	Cu	As	Zn	Pb	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Кировградское	47,41	43,48	1,73		0,58	следы	1,17	0,98	1,72	2,74
Белорецкое	46,23	42,09	1,52		1,53	—	1,14	0,91	1,60	4,95
Красноуральское	41,53	37,20	1,68		0,80	0,25	н. о. 1	н. о.	н. о.	до 17
Завотское	44,01	42,10	до 5		—	—	н. о.	—	н. о.	н. о.
Шафтанское	46—48	49,2	2,5		—	—	н. о.	—	н. о.	1,8
Дегтиро-Резинское	43—49	н. о. 1	1,8		—	—	н. о.	—	н. о.	н. о.
Дегтиро-Сысертское	44—48	до 0,9	до 0,9		—	—	н. о.	—	н. о.	н. о.
Соймонское 2	42—49	35,8	н. о. 5		до 4	до 0,4	н. о.	—	до 7,4	2—14
Дзержинский (б. Конюхон- ское)	42,0	35,0	н. о. 2,8		н. о. 3	н. о. 1,0	0,27	0,26	1,9	6,3
Ворошиловский (б. Смирнов- ское) 3	43,0	36,5	н. о. 2,8		н. о. 2,5	—	до 0,8	до 0,4	2,5	7
Испания Rio-Tinto 4	48—49	40,41	н. о. 0,5	0,3	н. о. 0,8	0,18	н. о.	—	н. о.	4,05
Tharsis	49,5	44,0	0,7	0,5	0,25	0,80	н. о. 0,18	—	н. о. 0,15	4,05
San-Miguel	50,01	43,45	0,34	0,10	0,30	0,40	н. о. 0,18	—	н. о.	1,3
Португалия Ramaron	48,5	42,0	до 0,7	0,5	до 1,8	0,7	н. о.	—	н. о.	5—6
Норвегия Sullfelma	45,0	43,0	2,8	0,08	2,00	0,03	н. о. 0,45	0,33	н. о.	10,0
Швеция Fabun	41,42	39,0	0,32	0,012	4,60	1,19	н. о. 0,45	—	н. о.	6,4
США Virginia	49,5	43,5	0,5	—	—	—	н. о.	—	н. о.	н. о.
Франция Saint-Bel	49,0	43,0	следы	0,02	следы	0,2	1,17	следы	н. о.	н. о.

1 н. о. — означает: не определялось.

2 Содержит BaSO₄ до 70%.

3 То же до 80%.

4 Содержит Bi до 0,37%.

5 Порода.

Таблица 1
РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

46093

Годы
Страны

Годы	1925	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935
Канада	13 173	70 087	48 619	57 418	47 210	53 164	10 040	—
Кипр	170 270	295 772	242 316	202 993	162 414	215 000	202 864	—
Франция	197 917	194 421	197 642	192 730	180 745	168 415	155 106	—
Германия	223 241	351 894	289 729	227 655	175 208	—	230 141	—
Италия	65 000	193 393	162 560	141 442	86 763	—	—	—
Япония	583 737	664 543	717 239	645 759	516 961	736 500	812 391	—
Норвегия	312 027	618 716	561 375	560 341	726 042	903 129	1 057 908	—
Португалия	624 375	739 597	730 951	359 951	727 020	884 578	980 898	—
Испания	262 137	384 350	400 200	287 190	237 860	210 852	219 391	—
немецкая	5 040	5 329	19 710	22 147	1 370 350	1 571 940	1 473 036	—
шведская	3 681 482	4 270 181	3 903 573	3 111 699	754 978	646 971	599 377	438 000
Швеция	69 873	72 055	60 438	57 610	71 530	86 290	100 572	—
США	172 819	338 801	353 084	336 158	189 748	288 874	439 446	506 215

МИРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

1 Минеральная промышленность The mineral industry за 1935 год.

Урала без вкрапленников могут быть выражены приблизительной цифрой 110 млн. т по всем трем категориям, кроме категории С₂.

На Кавказе запасы медных сульфидных руд по категориям А + В + С составляют 1,1 млн. т и сернистого колчедана 4,7 млн. т, вкрапленников ~ 50 млн. т.

В Сибири запасы минусинской группы определяются ~ 4 млн. т колчедана.

В Средней Азии на месторождениях Джез-Казган, Каунрад, Алмалык общее количество сульфидных руд (по преимуществу окисленных медных руд), которые в будущем явятся также источником сернокислотной промышленности, составляет цифру, более 180 млн. т.

Серная кислота из этих руд может быть получена или путем непосредственного сжигания безмедистого рядового колчедана, или путем сжигания флотационных хвостов, полученных после обогащения, или же наконец путем утилизации сернистого газа медеплавильных и цинковых печей.

Кроме этого имеются еще большие запасы углистых колчеданов, которые также с успехом могут быть использованы для получения серной кислоты.

Серный колчедан добывается на Урале главным образом на рудниках: Белореченском Кировградском, III Интернационала, расположенных по Горнозаводской ж. д. В Капштымском районе около Карабаппа добывается бесселенистый колчедан, идущий исключительно для бумажной промышленности.

Большую добычу в будущем следует ожидать на Дегтярском (Ревдинском) месторождении, где серный колчедан будет попутно получаться при добыче медной руды. Колчедан этого месторождения представляет собой кусковую руду. Часть же колчедана имеется здесь в виде сыпучки, т. е. мелкого колчедана с богатым содержанием серы. Зюзелевский рудник находится в 4 км от Полевского завода и может быть отнесен также к группе Дегтярских серно-колчеданных месторождений. По данным разведок 1934 г. запасы колчедана здесь по категориям А + В превышают 2 млн. т. В районе Красноуральска, ст. Верхняя, имеется возможность восстановить Андреевский рудник с 4,5-миллионным запасом серного колчедана.

Из кавказских месторождений серного колчедана в настоящее время эксплуатируются: Чарагидзор, находящийся в 35 км от ст. Ганджа Закавказской ж. д., и Кедабек, расположенный в 51 км от ст. Долляр той же дороги.

Потребное количество колчедана для производства серной кислоты по годам второй пятилетки выразилось следующими цифрами (в тыс. т):

Годы	Количество колчедана	Годы	Количество колчедана
1933	588	1936	1020
1934	720	1937	1400
1935	820		

Из этого количества, как это видно из табл. 2 (стр. 14), потребление флотационного колчедана возрастает, а рядового уменьшается.

II. ФЛОТАЦИОННЫЙ КОЛЧЕДАН

Флотационный колчедан получается при обогащении медистых колчеданов. Медистый колчедан состоит из различных минералов. Главнейшими минералами являются: пирит FeS_2 , халькопирит CuFeS_2 , медный колчедан CuFeS , медный блеск Cu_2S , кавеллин CuS и др. Кроме этого колчедан всегда сопровождается породой, состоящей из бессернистых минералов: кварца, SiO_2 , известняка, глины и др., а также и минералов, хотя и содержащих серу, но в соединениях, из которых в обычных печах нельзя получить сернистого газа: гипс, ангидрит, барит и др.

Общее содержание меди в колчедане варьирует от следов до 4 и даже 6%. При содержании в колчедане меди выше 1,5% он может быть непосредственно подвергнут переработке в специальных медеплавильных печах, пачер-жакетах и конверторах, в которых получают черновую медь, а газы, получаемые в этих печах, как содержащие SO_2 , могут быть переработаны в серную кислоту.

В последнее время небогатые медью колчеданы подвергают обогащению методом флотации. Флотационный процесс обогащения представляет крупнейшее завоевание техники текущего столетия в области обогащения полезных ископаемых. Процесс флотации впервые получил промышленное применение в 1912 г. в США на предприятии Butte and Superior в Монтане для обработки свинцово-цинковых руд. Флотация руд имеет широкие перспективы для своего применения в СССР. В настоящее время уже работают Мизурская флотационная фабрика на Кавказе и Риддеровская на Алтае по обработке свинцово-цинковых руд, Красноуральская, Кировградская, Пышминская и Карабашская флотационные фабрики по обработке комплексных медистых пиритов.

Процесс флотации состоит в энергичной агитации воздухом смеси из измельченной руды и воды (пульпы) в присутствии некоторого количества масла и других реагентов. При этом условии пульпа насыщается воздухом, а частицы сульфидов, самородных металлов, вследствие молекулярного сцепления прилипают к пузырькам воздуха и с помощью последних поднимаются на поверхность воды, образуя пену. Частицы же пустой породы, как например кварца, полевого шпата, известняка и др., смачиваются водой и падают на дно или остаются во взвешенном состоянии в воде. Образующаяся пена непрерывно или периодически удаляется из флотационной машины вместе с заключающимися в ней сульфидами.

Разделение различных минералов при флотации отнюдь не зависит от удельных весов различных минералов: всплывают наиболее тяжелые — сульфиды, а оседают наиболее легкие — пустая порода и окислы. Флотация заключается таким образом в разделе-

нии веществ, смачивающихся водой, от несмачивающихся водой и прилипающих к пузырькам воздуха.

Всплывающие частицы руды, отделенные флотацией от породы, называются концентратами, а не всплывающие, осаждающиеся на дно, хвостами.

Для образования пены и уменьшения смачивания частиц концентрата в пульпу прибавляют масло (до 0,1%), которое обволакивает тонким слоем отдельные частицы минералов. При продувании через пульпу воздуха образуются воздушные пузырьки, прилипающие к масляным частицам минералов, которые и выносят эти частицы на поверхность. Пустая порода и окисленные руды не покрываются масляной пленкой, смачиваются водой и падают на дно. Поэтому окисленные руды невозможно обогащать флотацией.

Кроме масла добавляют в пульпу другие реагенты, которые понижают способность прилипания минеральных частиц к пузырькам воздуха. Важнейшим из таких реагентов в современной флотации служит всплыванию пирита и цинковой обманки. Это дает возможность всплыванию пирита и цинковой обманки. Это дает возможность отделить пирит от халькопирита других медьсодержащих руд.

При введении извести в пульпу халькопирит всплывает наверх, а пирит вместе с породой осаждается на дно. В результате разделения получается богатый медью концентрат и флотационные хвосты, содержащие незначительный процент меди и состоящие преимущественно из пирита и пустой породы. Содержание серы в хвостах составляет от 30 до 43% и зависит от количества пустой породы, находящейся во флотируемой руде. Флотационные хвосты путем вторичной флотации возможно разделить на пирит и породу, что позволяет получить перефлотационные хвосты с содержанием серы до 50%. При вторичной флотации пирит всплывает наверх и является в данном случае концентратом.

Полученные хвосты в дальнейшем подвергают обезвоживанию в сгустителях Дорра и фильтрации на вакуум-фильтрах. После фильтрации хвосты содержат 13—15% влаги. Для удаления этой влаги хвосты подвергают сушке в горизонтальных вращающихся сушильных барабанах. Сушка производится обычно до содержания влаги в 4—5%, для печей же пылевидного обжига процент влаги доводится до 0,5—1%. Сушка хвостов является необходимой операцией на месте их получения, так как влажные хвосты смерзаются и перевозка их становится невозможной. Кроме того транспортировать сырье с 15% баласта (воды) также экономически невыгодно.

Флотационные хвосты в ближайшие годы будут главным сырьем сернокислотных заводов и других потребителей колчедана.

В 1937 г. химзаводы могли бы получить пиритного концентрата и флотационных хвостов 1,1 млн. т.

III. УГЛИСТЫЙ КОЛЧЕДАН

Углистый колчедан залегает в виде прослоек в угольных районах: подмосковном, донецком и кизеловском. Запасы углистого колчедана огромны. Если исходить из работы Украинского Механобра, который определяет для донецких углей (наиболее бедных колчеданом) возможный выход пиритов в размере 1% от общей массы угля, то запасы колчедана по Донбассу следует считать до 350 млн. т. По московскому району ~ 50 млн. т и столько же по Уралу. Но поскольку углистый колчедан может добываться только попутно с углем, то, несмотря на колоссальные запасы, добыча и потребление углистого колчедана могут развиваться лишь пропорционально добыче угля.

Уголь подмосковного бассейна содержит в среднем 2% серного колчедана. При ежегодной добыче угля в количестве 5 млн. т и отборе колчедана всего лишь 1% добыча его могла бы достигнуть 50 тыс. т в год; в действительности же она составляет всего лишь 20—25 тыс. т. Добыча углистого колчедана в Донбассе в настоящее время не превышает 40—45 тыс. т.

Исходя из плановой добычи угля, потенциально можно было бы получить по всем годам второй пятилетки следующее количество углистого колчедана (табл. 5).

Таблица 5

Отбор колчедана из угля производится большей частью вручную, но некоторые районные электростанции при размоле угля для пылевидного сжигания устанавливают механизированную воздушную сепарацию колчедана от угля. Подобная установка работает на Каширской электростанции. При 2-й очереди Каширской ГЭС

Районы	Годы		
	1935	1936	1937
Подмосковный бассейн: 2% от добычи угля.	140	176	220
Донбасс: 1% от добычи угля.	660	720	800
Кизел: 3% от добычи угля.	120	156	195
	920	1052	1215

и при Сталиногорской ТЭЦ намечается строительство обогащательных установок для углистого колчедана мощностью ~ 50 тыс. т углистого колчедана в каждой из этих точек. В целом баланс углистого колчедана подмосковного бассейна складывается таким образом, что потребность в подмосковном углестом колчедане может быть почти покрыта механизированной сепарацией в Каширской ГЭС и Сталиногорской ТЭЦ со сравнительно небольшим добавлением колчедана, отобранного вручную на рудниках.

Углистый колчедан можно обогащать также и мокрым путем. В настоящее время такая установка работает в Сталиногорске. Процесс обогащения состоит в следующем: колчедан размалы-

вается и передается на специальные промывные столы, где уголь (как более легкий) уносится водой, а колчедан (как более тяжелый) остается. Отмытый колчедан содержит не более 6—8% угля. Размер частиц такого колчедана ~ 3 мм. Полное освобождение колчедана от угля требует сложных специальных установок и поэтому экономически невыгодно.

В Донбассе достаточно довести отборку углистого колчедана до 0,25% от добычи угля, чтобы с избытком покрыть потребность сернокислотных заводов УССР.

Содержание угля в необогащенном углистом колчедане составляет 12%, а обогащенный колчедан содержит 40—45% серы и 5—6% угля. Необогащенный углистый колчедан Донбасса содержит до 15% угля, а обогащенный 10%.

Содержание угля в углистых колчеданах вследствие повышения температуры печей и недостатка кислорода в газах не позволяет применять углистый колчедан в количестве 100%. Обычно его смешивают с рядовым серным колчеданом или флотационными хвостами с тем, чтобы содержание угля в смеси не превосходило 5%.

IV. ОТХОДЯЩИЕ ГАЗЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Сырьем для сернокислотной промышленности могут служить газы металлургических печей, получаемые при обжиге медистых колчеданов и цинковой обманки с целью получения из них меди и цинка.

Газы металлургических печей используются для производства серной кислоты во многих странах. Утилизация этих газов имеет не только экономическое, но и гигиеническое значение, так как выпускаемый свободно в атмосферу сернистый газ пагубно влияет на людей, животных и растительность.

Совершенно не верен взгляд на медистый колчедан лишь как на сырье для медеплавильной промышленности. По данным Севгипроцветмета руда Дегтяринского месторождения в среднем содержит: меди 1,09%, серы 44—46% и железа 38—40%. Общая промышленная стоимость этих элементов составляет сумму ~ 13 млрд. руб., причем из этой стоимости на долю меди падает 8,2%, на серу 79,8% и на железо 10,9%. Таким образом стоимость химического сырья — серы — является основной, значительно превосходящей стоимость всех прочих компонентов. Комплексное использование сырья, извлечение всех его полезных компонентов, в данном случае меди, серы и железа, имеет большое народнохозяйственное значение и должно дать большой экономический эффект.

Отходящие газы цветной металлургии представляют собой важнейшую часть проблемы комплексного использования химикометаллургического сырья.

Методы обжига медистых и цинковых руд отличаются между собой и поэтому с целью полного освещения возможности утилизации сернистого газа, получаемого в том и другом случае, опишем

отдельно получение и возможности утилизации SO_2 в медеплавильной и цинковой промышленности.

1. Газы медеплавильных печей

Получение меди из медистого колчедана производится на заводах СССР по двум схемам.

По первой из них медистый колчедан перерабатывается первоначально в ватер-жакетных печах. Если загружать в печи один лишь медистый колчедан, то может быть получен газ, содержащий SO_2 от 5 до 8%, кислорода от 8 до 12% и CO_2 от 1 до 4%. Такой газ пригоден для получения из него серной кислоты обычными методами. Но в действительности газ такой концентрации на наших заводах почти не получается, так как параллельно с медистым колчеданом в ватер-жакеты загружают так называемые вкрапленники, в которых содержится медь, но почти отсутствует сера. В этом случае приходится добавлять значительное количество топлива, вследствие чего концентрация сернистого газа падает, а углекислого газа и азота увеличивается. Главной же причиной невысокой и колеблющейся концентрации сернистого газа, получаемого при выплавке меди, является примитивная конструкция дверок в верхней части ватер-жакетов. Через эти дверки происходит загрузка шихты, наблюдение за процессом и шуровка верхнего слоя загруженной руды. Через неплотности этих дверок подсасывается значительное количество воздуха, а во время их открытия для загрузки и шуровки концентрация сернистого газа падает до 2,5—2 и даже до 1,5%.

Непостоянная и порою низкая концентрация сернистого газа делает его утилизацию не всегда экономически выгодной и поэтому сернокислотные системы при ватер-жакетах у нас в СССР и за границей устанавливаются не всюду.

В СССР первая установка на ватер-жакетных газах была построена на Полевском заводе в 1927 г., а вторая — в Кировграде (Урал) в 1929 г. Путем устройства соответствующих загрузочных коробок для шихты и специальных дверок для шуровки и наблюдений возможно значительно сократить подсосы воздуха и этим самым создать более благоприятные условия для утилизации сернистого газа.

При плавке руды в ватер-жакетах получается медный штейн, содержащий 13—25% меди и 12—25% серы. Медный штейн подвергается дальнейшей переработке в конверторах (бессемеровании), в которых происходит окисление железа и серы, что достигается вдуванием воздуха в конверторы при давлении ~ 1 ат. Образовавшаяся при этом окись железа шлакуется вводимым вместе с шихтой флюсом (кремнеземом).

Содержание SO_2 в конверторном газе весьма различно и зависит от периода его работы и конструкции напыльника¹ над конвертором. При остановке конвертора, задаче шихты, сливании

¹ Труба в виде зонта, отводящая газ из конвертора.

меди и шлака конвертор не дает газа, содержащего SO_2 . Время, в которое конвертор не выдает газа, составляет от 20 до 40 и даже 50% от общего времени, необходимого для процесса бессемерования. Средний состав газа у горловины конвертора во время его работы, т. е. в момент окисления серы и отшлакования железа, с небольшим отклонением в ту и другую сторону бывает:

SO_2	12 — 14%	O_2	0,2 — 0,8%
SO_3	0,5 — 1%	N_2	83 — 86%

Такая концентрация газа после ее разбавления воздухом вполне пригодна для производства серной кислоты. Практически же, вследствие неплотного прилегания напыльника к горловине конвертора, концентрация сернистого газа значительно падает. Эта концентрация в зависимости от величины расстояния напыльника до горловины конвертора и величины разрежения, создаваемого вентилятором, отсасывающим конверторные газы, колеблется от 2 до 10%. При правильной конструкции напыльника и соответствующей тяге возможно получить газ, содержание в котором SO_2 будет вполне достаточно для нормальной работы сернокислотных систем.

В Мансфельде (Германия) получаемые из конверторов газы перерабатываются в серную кислоту камерным и башенным способами, и хотя интенсивность этих систем не велика¹, но все же достаточна настолько, что эти установки являются экономически выгодными.

Так как в момент остановки дутья при сливе шлака и меди, а также при задаче шихты конверторные газы не содержат сернистого газа, то для нормальной работы сернокислотных систем, работающих на конверторных газах, необходимо, чтобы число конверторов было возможно большим и во всяком случае не менее двух.

Температура газа у горловины конвертора колеблется в пределах 1000—1200°. Черновая медь, получаемая в конверторах, содержит 98,9—99,3% меди.

После открытия метода обогащения медистых колчеданов флотацией большинство медеплавильных заводов, в особенности работающих на руде с небольшим содержанием меди, стали вводить у себя этот метод. При наличии медных концентратов, полученных при флотации медистых руд и содержащих от 12 до 20% меди, переработка их на медь осуществляется в три приема.

Первоначально концентраты обжигают в обжиговых печах, почти ничем не отличающихся от обычных печей, применяемых в сернокислотной промышленности. Газ из этих печей имеет равномерный состав и содержит 6—7% SO_2 и 9—10% кислорода. Этот газ несколько беднее нормального, так как халькопирит CuFeS_2 , находящийся в концентрате, содержит меньше серы, чем пирит FeS_2 , и при его сжигании выгорает лишь часть серы, остальная же сера остается связанной с медью.

¹ Камерной 3 кг и башенной 12 кг с 1 м³.

Обоженный концентрат, содержащий 12—20% серы, совместно с флюсами обжигают в отражательных печах. Этот обжиг ведут на топливе и поэтому содержание SO_2 в газах отражательных печей всего лишь 1,5—2%. Содержание же CO_2 достигает 12—15%. Такой бедный содержанием SO_2 газ известными в настоящее время методами экономически не выгодно применять для получения серной кислоты и поэтому его всюду выпускают в атмосферу. В отражательных печах из шихты не выжигают полностью серы и отшлаковывают лишь часть железа. Полученный штейн в дальнейшем перерабатывают на черновую медь в конверторах, как описано выше.

В данное время в СССР утилизация сернистого газа, получаемого в конверторах и при обжиге концентрата, не производится, но при всех новых медеплавильных заводах такая утилизация его всюду предусматривается.

При переработке медистых колчеданов по схеме: руда, ватер-жакет, конверторы из ватер-жакетных и конверторных газов можно получить на каждую тонну черновой меди 30 т серной кислоты в моногидрате. При переработке же руды по схеме: руда, флотационная фабрика, обжигочный цех, отражательный цех и конверторы на каждую тонну меди возможно получить лишь 10 т серной кислоты, так как остальная сера не выжигается, а остается во флотационных хвостах. Флотационные хвосты, как выше было сказано, являются для производства серной кислоты таким же сырьем, как и колчедан, и поэтому при работе медеплавильных заводов по второй схеме имеется большая возможность разделить руду на составные элементы и в соответствии с экономическими соображениями перерабатывать эти элементы там, где это наиболее выгодно.

2. Газы цинковых печей

В качестве сырья для производства цинка применяются: цинковая руда и цинковые концентраты, содержащие Zn , S , Pb , Fe , и другие сопровождающие их металлы и минералы.

Цинк содержится в руде и в концентратах, главным образом в виде цинковой обманки ZnS . Химически чистая цинковая обманка содержит 33% серы и 67% цинка, а в концентратах серы содержится всего 20—30%, а цинка 45—55%. Добываемая руда подвергается обогащению и полученные концентраты поступают на цинковые заводы для получения из них цинка, а иногда и свинца.

Состав концентратов наиболее интересных месторождений в СССР и за границей дан в табл. 6 (в % на сухой вес).

Обжиг концентратов производится в механических печах, работающих непрерывно, вследствие чего получаемый при этом сернистый газ имеет постоянную концентрацию и вполне пригоден для производства серной кислоты. При обжиге концентратов образуется ZnSO_4 , для разложения которого необходима более высокая температура, чем та, которую можно получить, обжигая их в обыч-

Таблица 6

№ по пор.	Название завода или обогатительной фабрики	Zn	Pb	Fe	S	Cu	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	As	Sb	Mn	Cd	Проч.	Au г/т	Ag г/т
1	Риддер	45	6	7	31,1	1,3	1,0	0,8	1,4	6	—	0,05	0,1	—	—	—	—
2	Алагирцик	45	4	9	29,1	0,45	2,5	—	—	—	—	—	—	—	9,95	—	—
3	Уралцик (проект) . .	46,88	—	12,1	35,76	3,60	следа	0,11	0,94	0,34	—	—	—	—	0,11	—	—
4	III Интернационал . .	45,5	0,16	13,05	35,84	2,24	0,11	0,1	0,74	0,48	—	0,087	0,03	0,007	1,55	—	—
5	Карпушка	50,5	10,32	10,27	34,5	2,24	0,13	0,32	0,13	0,28	—	0,039	0,006	0,009	1,85	—	—
6	Тетюха	45	2,73	12,22	31,4	1,0	1,08	0,09	3,35	2,67	—	—	0,13	—	—	—	—
7	Тубо-Невада	50,7	2,95	12,8	30,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,15	0,85	385
8	Ист-Сен-Дун (из района Трех Штат)	54	2,2	1,5	29,3	0,1	1,1	0,15	0,35	10,3	—	—	следа	1	—	—	—
9	Тасмания	53,6	6,1	5	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,3	—	—
10	Грет-Фоллс	52,3	3,9	5,1	29,5	0,45	—	—	—	—	—	—	—	—	3,9	0,84	286
11	Тимбер-Бут	58	1,4	4,5	31,5	0,57	—	—	—	—	0,16	—	0,26	—	3,5	—	175
12	Анаконда (Монтана) . .	54,8	5,9	3,9	29,8	0,58	—	—	—	—	0,12	—	0,23	—	4,7	—	415
13	Юта	43,8	18,1	6,1	27,2	0,2	—	—	—	—	0,06	—	0,12	—	4,4	—	250
14	Трейл	47	3	12	37	0,18	—	—	—	—	0,03	0,05	0,31	0,24	0,5	—	20

Примечание. 1 — из проекта; 2 — из проекта; 3 — из проекта; 4 и 5 — из отчета Механобра; 6 — из проекта Константинского завода; 7 — из Eng. and Mining World 1930 г.; 8 — материалы бюро Уиллера; 9 — бюллетень американского цинкового к-та 1928 г.; 10 — материалы бюро Уиллера; 11, 12 и 13 — отчет Г. К. Маковского — эл. фабрики являются поставщиками завода Грет-Фоллс; 14 — то же.

ных колчеданных печах; поэтому обжиг концентратов производят с вводом дополнительного топлива.

В некоторых конструкциях печей топочные газы смешиваются с обжиговыми, вследствие чего концентрация сернистого газа бывает не выше 5—5,5%. Для получения же более концентрированного газа обжиг концентрата иногда производят в муфельных печах или же в печах, где топочные газы с нижних этажей отсасываются отдельным вентилятором таким образом, чтобы они не смешивались с газом верхних этажей.

После обжига концентратов получается огарок, содержащий большое количество цинка, а в некоторых случаях и свинец. Состав концентратов (в %) после их обжига дан в табл. 7.

Таблица 7

Завод или фабрика	Zn	Pb	Fe	S ₂	S _{so}	Cu	As	Sb	Mn	Cd	Проч.	Выход
Риддер	49,6	6,6	7,7	0,2	2	1,4	—	0,06	0,1	—	10,30	90,8
Алагирские	47,85	4,25	9,55	0,35	3,4	0,48	—	—	—	—	13,22	94
Уралский	53,53	—	13,35	0,5	2,5	4,11	—	—	—	—	1,72	87,5
Ш Интернационал	45,77	0,14	13,21	0,22	8,22	2,20	—	0,033	0,035	0,009	0,9	—
Грэт-Фолдс	59,8	3,7	5,5	0,2	2,7	0,52	0,12	0,045	0,39	0,21	9,251	88
Карпушиха	52,14	11,29	10,23	0,09	7,00	2,35	—	0,046	0,028	0,008	0,74	—
Анаконда	59,8	4,3	3,9	0,4	2,2	0,53	0,113	0,043	0,35	0,13	12,751	—

V. СЕРА

Сера как сырье для сернокислотной промышленности применяется лишь в немногих странах. Значительное количество серы расходуют США, где имеются мощные ее месторождения. Относительно большое количество серы для производства серной кислоты потребляет Англия.

Потребление серы для производства серной кислоты, несмотря на ее более высокую стоимость, объясняется тем, что транспорт серы выгоднее транспорта серного колчедана. Кроме того сера как сырье для получения серной кислоты контактным способом имеет значительные преимущества перед колчеданом; при применении серы отпадает сложная очистка газа от пыли и мышьяка, получается более концентрированный печной газ и отсутствуют объемистые отбросы.

1. Самородная сера

Самородная сера никогда не встречается в чистом виде: она обычно содержит от 15 до 80% серы и сопровождается гипсом, каменной солью, песком, глиной и другими породами.

Залежи серы, имеющие мировое значение, находятся в США (86% мировой добычи) и Италии на острове Сицилии. Япония

также обладает мощными месторождениями серы. Известны месторождения серы в Испании, Турции, Китае и Египте.

В СССР по данным геологоразведки последних пяти лет имеются также значительные месторождения самородной серы. Наиболее крупные месторождения находятся в Средней Азии. К ним относятся: Шор-Су в 38 км от Коканда, Чангырташская группа в 18 км от г. Джулал-Абад. Указанные месторождения обладают серными рудами со средним содержанием 15—25% серы, залегающими в известковых и мергелистых породах, а также в виде конгломератных серных руд, представляющих собой гальку, цементированную серой. Гаурдагское месторождение, находящееся в 50 км от ст. Чаршанга Ср.-Аз. ж. д. Содержание серы в руде составляет от 5 до 30%. Здесь сера находится в гипсовых и известковых породах. Кенемехское месторождение (Галды) содержит в руде в среднем 30—34% серы. Находится в 80 км от железной дороги. Каракумское месторождение содержит 30—40% серы в песчанистой руде. Находится в 220—250 км от Ашхабада.

По данным проф. Уклонского условный геологический запас серы для Средней Азии принимается в 140 млн. т. Кроме этого имеются месторождения серы в Крыму, Северном Кавказе, в Закавказье, на Сахалине, на Камчатке, а также и в Забайкалье.

По Средневожскому месторождению (Алексеевское, Водино и др. в 20—30 км от г. Куйбышева) и по Волжско-Астраханскому району запасы серы определяются в размере 80 млн. т. Волжские месторождения содержат серу в битуминозных известково-гипсовых породах.

До сего времени сера получается почти исключительно путем выработки естественных месторождений, причем выработка серы в значительных количествах производится только в нескольких государствах (США, Италия и Япония), которые являются монополистами на мировом рынке.

Методы добычи серы весьма разнообразны и зависят от содержания серы в руде, состава сопровождающих пород и глубины залегания.

В Америке в штатах Техас и Луизиана, где сера залегает в виде мощных пластов (до 40 м) на глубине от 150 до 300 м от поверхности земли, серу добывают методом Фраша. По этому способу сера приводится в жидкое состояние перегретым паром под землей и в расплавленном состоянии через буровые скважины по особым трубам выкачивается нагретым и сжатым воздухом на земную поверхность, где и застывает в особых сборниках.

Метод Фраша связан с большим расходом топлива и воды, что далеко не всегда имеется вблизи месторождений. Кроме того по этому методу можно извлечь не более 25% залегающей серы. Для разведанных месторождений в СССР метод Фраша может быть применим лишь для Галды.

В Сицилии и на материке Италии выплавка серы из руд производится главным образом в печах Калькарони и Жилля. Топливом в этих печах служит сера, содержащаяся в руде. Развиваемое

при горении серы тепло выплавляет остальную серу, находящуюся в той же руде. Для выплавки серы применяются также аппараты, обогреваемые паром.

Другие методы получения серы, как например применение печей, использующих в качестве горючего углеродистое топливо, экстрагирование сероуглеродом или хлористым кальцием при эксплуатации в широком масштабе показали себя недостаточно рентабельными. В настоящее время в итальянской и сицилийской практике получение серы в печах Жилля остается доминирующим.

В некоторых случаях выплавка серы производится в автоклавах Вите при помощи пара под давлением 4—5 ат.

Способ выплавки серы в автоклавах не может конкурировать с выплавкой серы в печах Жилля. Это объясняется тем, что часть серы при этом методе остается в породе. Кроме того простота процесса сжигания самой серы и процесса выплавки серы в печах побуждает отказываться от других способов выплавки.

Выплавленная в печах сера носит название сырцово́й или комо́вой. Эта сера весьма чиста и содержит примесей максимум 1%. Для получения абсолютно чистой серы комовую серу очищают в особых печах путем сублимирования или дистилляции. Сера, полученная таким путем, носит название черенко́вой или литро́ванной.

Многие серные руды поддаются легко обогащению. В этом случае руду размалывают и отделяют серу от породы методом флотации. Из полученного концентрата серу выплавляют острым паром в вертикальных котлах. Этим методом работают у нас в СССР. Подобные обогатительные фабрики работают у нас в Крыму и в Средней Азии (Шор-Су и Кара-Кумы), а также в Алексеевке (в 40 км от г. Куйбышева).

2. Химические методы получения серы

До последнего времени сера получалась почти исключительно путем выработки естественных месторождений. С пуском же в конце 1931 г. в Норвегии на заводе Локен-Верке серно-медного завода по методу, разработанному Лена́ндером, появилась на мировом рынке химическая сера.

Для нас, располагающих большими запасами медистого серного колчедана (Урал), исключительный интерес представляет норвежский метод получения серы.

По этому методу серный завод Локен-Верке производит 200 т серы в сутки или ~ 70 тыс. т в год. Из этого количества Норвегия потребляет 15 тыс. т, а остальные 55 тыс. т экспортируются в другие страны. Завод работает на медистых колчеданах локенского месторождения. Колчедан, содержащий 43% серы и 2—2,5% меди, перерабатывается на штейн и элементарную серу.

Переработка колчедана производится в ватер-жакетах, устройство которых почти аналогично работающим на наших медеплавильных заводах. Верх ватер-жакета совершенно закрыт и не

имеет колпака, которым снабжены наши уральские ватер-жакетные печи. Каждая печь имеет по три загрузочных отверстия. Эти отверстия находятся на полу колошниковой площадки и имеют двойные конусные запоры, через которые производят загрузку печи колчеданом, флюсами и коксом. Количество кокса в шихте и количество вдуваемого воздуха регулируется таким образом, чтобы сернистый газ, образующийся в нижней части печи, восстанавливался в верхней до элементарной серы CS_2 , COS , H_2S . В дальнейшем печные газы по газоходам направляются в наполненную катализатором камеру, в которой происходит реакция разложения соединений серы. Пройдя реакционные камеры, газ, содержащий 350—370 г элементарной серы в 1 м³, направляется в паровые котлы. Здесь газ охлаждается и оставляет котел с температурой, близкой к 150°; при этом почти вся элементарная сера переходит в капельно-жидкое состояние и часть ее в виде жидкости вытекает из котла. Последнее количество серы из газа задерживается пластинчатыми электрофильтрами. Выделенная в паровых котлах и электрофильтрах сера имеет чистоту 99,8% и содержит лишь ~ 0,03% мышьяка. Столь низкое содержание мышьяка объясняется ничтожным его содержанием в руде. Одновременно с получением элементарной серы завод в тех же ватер-жакетах выплавляет штейн, содержащий 35% меди.

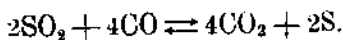
По сообщению фирмы Otcla Grube Aktiebolag на 1 т серы расходуется: колчедана с содержанием 41—42% серы — 3 т; кокса, считая на сухой вес, 0,3 т, известняка 0,25 т, кварца 0,55 т. Процент извлечения меди и утилизации серы в установке равен 80. Норвежский способ дает возможность получать серу настолько дешево, что она может конкурировать с натуральной американской серой, добываемой по методу Фраша. На выгодность этого способа производства серы указывает и то обстоятельство, что по этому же способу пущен второй завод серы и медистого штейна в Испании; такого же типа завод строится в Португалии; наконец аналогичный завод для производства серы предполагается построить в Швеции.

Низкая себестоимость серы, получаемой по норвежскому методу, объясняется тем, что сера здесь является побочным продуктом выплавки медного штейна из медистых колчеданов в ватер-жакетных печах. Благодаря этому себестоимость серы в основном складывается из стоимости излишнего кокса, расхода рабочей силы, энергии и амортизации установки, предназначенной для переработки ватер-жакетного газа в серу.

При выработке меди из блявинских руд норвежским методом по данным Гипроцветмета будет получена сера по цене 30—40 руб. за 1 т. Завод по этому методу заканчивается постройкой и будет пущен в текущем году.

Химическую серу можно получить также восстановлением SO_2 в генераторе, наполненном древесным углем, до S , COS , CS_2 , H_2S . Полученную газовую смесь направляют в камеру, наполненную катализатором (боксит, шамотная насадка). Одновременно с газом

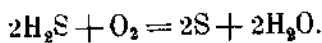
в ту же камеру поступает и сернистый газ, отбираемый частично по пути к генераторам. В каталитической камере происходит реакция разрушения соединения серы, и общий процент восстановления SO_2 до элементарной серы достигает 70—75. Восстановленная сера в дальнейшем собирается в холодильниках и электрофильтрах. Полученная сера содержит примеси угля, огарка и золы в общей сложности 2—3%. Эти примеси легко удаляются путем расплавления и фильтрации серы. Вместо древесного угля в качестве восстановителя может быть применен генераторный газ, содержащий CO , который восстанавливает SO_2 по следующей обратимой реакции



Дальнейшая переработка газа тождественна с предыдущей. Метод восстановления генераторным газом осуществлен на одном из заводов Урала в Кировграде; этот метод экономически менее выгоден, чем норвежский.

Серу можно еще получить из сероводорода, при очистке коксового газа, из сульфидов, сульфатов и колчедана.

Метод окисления сероводорода до серы разработан К л а у с о м. По этому методу получаемый сероводород пропускают через печи, наполненные катализатором (боксит, железная руда), где H_2S сгорает по реакции

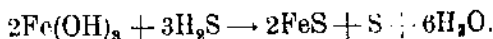


Эта реакция экзотермична и поэтому для своего осуществления не требует топлива.

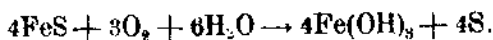
По способу К л а у с а в СССР перерабатывают H_2S в серу сероуглеродные заводы. При получении сероуглерода получается газ, содержащий CS_2 , H_2S , CO_2 , CO , COS . Этот газ после конденсации сероуглерода разбавляют воздухом и направляют в печь К л а у с а.

Каменный уголь содержит от 1,5 до 5% серы, которая при коксовании угля в количестве 40—50% переходит в газообразное состояние — главным образом в H_2S . Элементарная сера из коксовых газов может быть извлечена в процессе их очистки. Все существующие многочисленные способы очистки коксового газа, независимо от характера и состава газа, а также и метода получения из него серы, могут быть разделены на две категории — сухая и мокрая очистка, т. е. очистка в твердой и жидкой фазах.

Из сухих способов наиболее часто применяется очистка коксового газа через окись железа (болотная руда), смешанную с влажными опилками. Происходящая здесь реакция сопровождается выделением свободной серы:



В дальнейшем FeS кислородом воздуха окисляется в $\text{Fe}(\text{OH})_3$, выделяя серу:

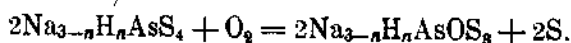


Полученная масса (ламинговая масса) содержит 40—60% серы. Эту серу извлекают экстрагированием (бензол, сероуглерод) или выплавкой.

Мокрые способы заключаются в промывке коксового газа водным раствором щелочи, в которой обычно содержится мышьяк, железо, красная кровяная соль и т. д. В последние годы за границей одним из наиболее распространенных мокрых способов является мышьяково-щелочный способ «Тайлокс». При этом методе белый мышьяк As_2O_3 растворяют в щелочи (Na_2CO_3 или NH_3). Этот раствор подают на верх скруббера, в нижнюю часть которого поступает коксовый газ. Здесь происходит поглощение сероводорода с образованием средних и кислых сульфомышьяковистых солей. Отсюда жидкость, поглотившая сероводород, подается насосом в регенератор, куда поступает и сжатый воздух. При продувании раствора воздухом происходит окисление трехвалентного мышьяка в пятивалентный с образованием окисульфомышьяковой соли. С этого момента наступает нормальный ход процесса, заключающийся в том, что в скруббере кислород окисульфомышьяковой соли замещается серой с образованием сульфомышьяковой соли, а в регенераторе один атом серы замещается кислородом с выделением элементарной серы. Происходящую в скруббере реакцию можно представить в следующем виде:

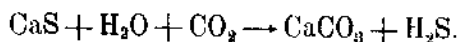


а реакцию в регенераторе можно представить в виде:

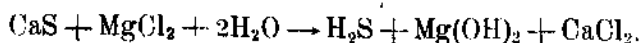


Продувание жидкости в регенераторе сопровождается пенообразованием, и выделяющаяся сера в виде эмульсии собирается в приемном баке, откуда по мере накопления она направляется в центрофугу для отделения от раствора. Раствор же соли окисульфомышьяковой кислоты снова поступает в скруббер.

В прошлом большие количества серы получали из сернистого кальция через сероводород по методу Чанкса. По этому методу водный раствор CaS подвергался действию CO_2 под давлением



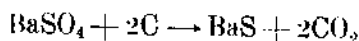
По методу Шаффнер-Гельбита сероводород получается действием на CaS хлористым магнием при температуре несколько выше 100° по реакции



Получаемый в том и другом случае сероводород перерабатывался в серу по методу Клауса, описанному выше.

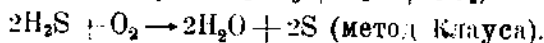
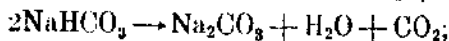
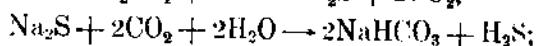
Получение серы из сульфатов Ca и Ba возможно при восстановлении их до сернистых соединений с последующим получением

из них сероводорода путем обработки по методу Чанкса или Шэффнер-Гельбита. Получение CaS и BaS происходит по реакции



во вращающихся шахтных и пламенных печах.

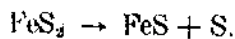
Восстановлением Na_2SO_4 и последующей обработкой Na_2S уголекислотой возможно одновременное получение соды и серы из сульфата натрия по реакциям:



Этот метод получения соды и серы представляет собой важную проблему для Кара-Богаз-Гола, где сульфат натрия (мирабилит) получается из водных растворов залива Кара-Богаз-Гол.

При нагревании серного колчедана при недостатке воздуха от колчедана отщепляется один атом серы.

В последнее время над вопросом получения серы из колчедана возгонкой работали сотрудники Унхима под руководством проф. Шабалина. По методу Унхима процесс обжига колчедана в печи разделяется на две основные фазы: в верхней части печи происходит подогрев колчедана и отщепление 1 атома серы от пирита



Образовавшееся в верхней части печи сернистое железо в нижней части печи сгорает до SO_2 и Fe_2O_3 .

По способу проф. Шабалина на Урале работает опытная установка. Этим методом можно выделить в форме элементарной серы ~ 50% от всей серы, заключающейся в колчеданах. После выделения серы печной газ, как содержащий SO_2 , может быть переработан в серную кислоту.

VI. ГИПС И ДРУГИЕ ВИДЫ СЫРЬЯ

Сернокислый кальций в природе встречается или в безводном виде, известный под названием ангидрита CaSO_4 , или в виде гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Во время войны в Германии был разработан метод получения из гипса серной кислоты и цемента.

Диссоциация сернокислого кальция начинается при 950° и достигает максимума при 1375° . Подвергая действию высокой температуры смесь, состоящую из гипса, угля, глины и песка, во вращающейся печи удастся получить газы, содержащие 8—9% SO_2 и 1—1,5% кислорода. Этот газ вследствие малого содержания кислорода пригоден для производства серной кислоты после его разбавления воздухом. При этом разбавлении содержание SO_2 падает и составляет 4—5%. Невысокое содержание в газе SO_2 и не-

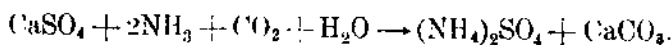
обходимость тратить для обжига топливо делают нерентабельным получение серной кислоты по этому методу. Параллельное получение с серной кислотой цемента может создать экономические предпосылки для создания этих производств в районах, потребляющих серную кислоту и цемент, но не имеющих дешевого серо-содержащего сырья, годного для производства серной кислоты.

В СССР имеются богатейшие месторождения гипса; из них на первом месте стоят Архангельские по реке О. Двине в 230 км от Архангельска. Второе место занимают Балахнинские месторождения в Горьковском крае. Значительные залежи имеются около Казани и на Украине в районе Артемовска.

Газоочистительная масса, как мы видели выше, получается при очистке коксового газа. Она является не только сырьем для получения из нее серы, но чаще всего сжигается с целью получения серной кислоты. В СССР с развитием коксования и улавливания сероводорода также будут получаться большие количества газоочистительной массы.

Наконец крупным источником сырья для серной кислоты могут быть отходы тех производств, где применяемая серная кислота переходит в отбросы. Большой интерес представляют отходы, получающиеся при производстве фосфорнокислых удобрений (преципитат, аммофос, двойной суперфосфат). Эти отходы (фосфогипс) получаются при обработке фосфоритов серной кислотой в производствах преципитата, двойного суперфосфата и аммофоса.

В Германии и Америке из этого фосфогипса получают значительные количества сульфата аммония путем насыщения взмученного в воде гипса аммиаком и углекислотой:

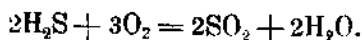


Для получения по этому методу сульфата аммония может быть использован и природный гипс.

На нефтеперерабатывающих заводах при очистке нефти серной кислотой в огромных количествах получают кислые гудроны. Эти гудроны содержат от 15 до 45% серной кислоты. Получаемая при регенерации кислых гудронов серная кислота содержит значительное количество примесей, затрудняющих процесс ее концентрирования.

В США кислые гудроны сжигаются во вращающихся печах, а получаемый в этом случае при диссоциации серной кислоты сернистый газ перерабатывается в серную кислоту. Параллельно с SO_2 получается мелкий коксик, который может идти на отопление вращающихся печей для сжигания тех же гудронов. Расход коксика на отопление печей составляет 25—30% от всего количества коксика, получаемого в печах при сжигании гудронов.

При сжигании сероводорода в избытке воздуха получается сернистый газ:

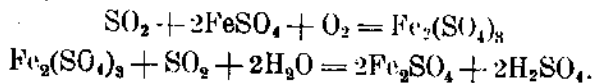


Полученный таким образом газ применяется для получения серной кислоты очень редко. Этот метод может найти применение там, где имеется большое количество дешевого сероводорода, получаемого в виде отброса (при очистке уфимской нефти).

Источником получения серной кислоты может служить сульфат железа, который при нагревании разлагается на окись железа и сернистый газ, перерабатываемый в дальнейшем в серную кислоту.

При сжигании угля в топках паровых котлов сера угля превращается в сернистый газ, который с отходящими газами выбрасывается в трубу. Если бы переработать сернистый газ, выбрасываемый одними лишь теплоцентралями Москвы, можно было бы получить в год $\sim 0,4$ млн. т моногидрата серной кислоты. Выпускаемый в атмосферу SO_2 создает антисанитарные условия жизни для населения и губит растительность. Вопросами очистки дымовых газов занимается научный институт треста «Газоочистка». Опыты ведутся в двух направлениях: 1) очистка газа растворами солей железа или марганца и 2) окисление SO_2 в SO_3 в электрическом разряде высокого напряжения.

Дымовые газы с содержанием SO_2 0,4—0,5% после очистки от золы проходят через скрубберы, орошаемые растворами солей железа или марганца. В результате получается серная кислота концентрации 35—40%. Получение кислоты очевидно идет по следующей реакции



Остаток газа поглощается известковым молоком. Полученный сульфит кальция разлагается слабой серной кислотой, продуцируемой в скрубберах. В результате получается почти 100%-ный сернистый газ и гипс.

Опытная установка, которая будет работать по этому методу, осуществлена в Каннире.

Работы по окислению SO_2 в электрическом разряде показали, что этим методом тоже можно получить серную кислоту концентрации 30—35%.

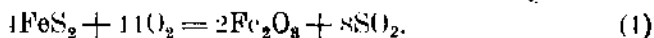
ГЛАВА ВТОРАЯ

ОСНОВЫ ОБЖИГА КОЛЧЕДАНА

1. ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ СЕРНОГО КОЛЧЕДАНА

Для процесса обжига колчедана^{*} необходим кислород не только для окисления серы в сернистый газ, но и для окисления железа до Fe_2O_3 . Сжигание колчедана производят со значительным избытком кислорода, так как в дальнейшем в камерных и контактных системах он необходим для окисления SO_2 в SO_3 .

Основная и суммарная реакция горения колчедана выражается следующим уравнением:



Часть SO_2 при избытке воздуха и наличии колчеданного огарка как катализатора окисляется в SO_3 . Количество образующегося SO_3 при горении колчедана в механических печах зависит от работы печей. Реакция окисления SO_2 в SO_3 является обратимой реакцией, подчиняющейся закону равновесия. Скорость этой реакции зависит от концентрации SO_2 , O_2 , температуры и наличия катализаторов (в данном случае Fe_2O_3). В печных газах содержится обыкновенно 2—7% SO_3 от всего SO_2 . Это количество зависит от состава колчедана, конструкции печи и других условий процесса горения.

Присутствие SO_3 создает условия для образования сульфатов железа, меди и других металлов, входящих в состав колчедана. Образование сульфата всегда имеет место, если при наличии окиси металла диссоциационная упругость сульфата того же металла меньше парциального давления SO_3 . При повышении температуры упругость диссоциации сульфатов увеличивается: когда она превысит парциальное давление SO_3 , происходит распад сульфатов на окислы металлов и SO_3 .

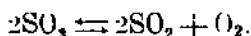
Сульфат железа в условиях работы колчеданных печей диссоциирует нацело и поэтому в огарке все железо находится в виде окислов. Упругость диссоциации сульфатов меди, цинка, свинца меньше, чем железа, и поэтому эти сульфаты диссоциируют частично и то только лишь к концу процесса горения колчедана. В огарке всегда имеются основные сернокислые соединения этих металлов. CuSO_4 начинает заметно разлагаться при температуре в 650° , а ZnSO_4 при 670° . Полное же разложение этих сульфатов происходит при более высокой температуре. Диссоциация PbSO_4 и CaSO_4 начинается при более высокой температуре, чем сульфатов Cu и Zn .

Стойкость сульфатов является причиной того, что не вся сера, входящая в состав колчедана, может быть использована для получения сернистого газа: часть этой серы остается в составе огарка в виде тех или иных образовавшихся сульфатов. К такой неиспользованной сере относится и та сера, которая входит в состав сернокислых соединений щелочноземельных металлов. Эти соединения почти всегда имеются в колчеданах и они диссоциируют при температурах, превышающих температуру горения колчедана. Присутствие в колчедане углекислых соединений ведет также к потере серы, так как под действием SO_2 углекислые соединения легко переходят в сернокислые.

В составе колчеданного огарка всегда имеется не успевшая сгореть сера в виде сульфидов. Эта сера путем мер, направленных к нормальному горению колчедана, может быть сведена до минимума: в отличие от сульфатной серы, потеря которой является

почти неизбежной и зависит в первую очередь от состава колчедана и температуры горения колчедана. На практике содержание серы в огарке нередко удается снизить до 1%: работа колчеданных печей считается нормальной, если содержание серы в огарке не превышает 1,5%.

Присутствием в печи Fe_2O_3 , являющейся катализатором, объясняется образование в ней SO_3 . В механических печах значительный процент SO_3 образуется в середине печи (третий — четвертый свод), где температура газа равна 400—450°. В верхних сводах, т. е. во втором и первом, где температура достигает 700°, происходит диссоциация SO_3 .



Как выше уже сказано, данная реакция обратима; равновесие в условиях работы колчеданных печей наступает при содержании 2—7% SO_3 от всего количества SO_2 ; по отношению печного газа это составляет 0,4—0,6%.

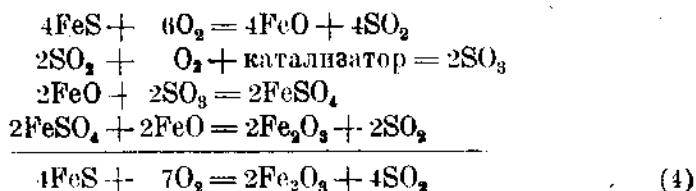
Горение колчедана Барвик объясняет теорией промежуточных реакций. Известно, что FeS_2 прежде всего разлагается по реакции



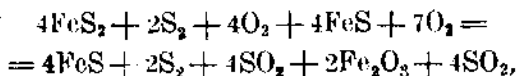
Выделившаяся сера сгорает в SO_2 в газовой фазе по реакции



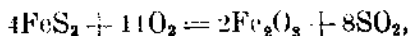
а твердый FeS , по Барвику, окисляется в Fe_2O_3 и SO_2 , проходя через ряд промежуточных реакций:



Умножив уравнения (2) и (3) на 2 и сложив их с уравнением (4), получим



что после сокращения дает



т. е. суммарную реакцию (1).

Суммарной реакцией (1) пользуются обыкновенно при всех расчетах в колчеданных печах. Реакцией (2) пользуются для получения серы из колчедана.

II. КОЛИЧЕСТВО И СОСТАВ ГАЗА, ПОЛУЧАЕМОГО ПРИ ГОРЕНИИ КОЛЧЕДАНА

Допустим, что в колчедане выгорает $P\%$ серы, тогда при сжигании 1 кг колчедана стóит серы

$$\frac{P_s}{100} = 0,01 P_s \text{ кг.}$$

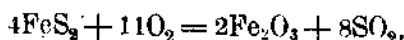
Количество полученного SO_2 найдем из соотношения:

$$\begin{array}{ccc} \text{S} & \rightarrow & \text{SO}_2 \\ 32,06 & & 64,06 \\ 0,01P_s & & x \\ x = \frac{0,01P_s \cdot 64,06}{32,06} = 0,02P_s \text{ кг} \end{array}$$

и по объему

$$V'_{\text{SO}_2} = \frac{22,4}{64,06} \cdot 0,02P_s = 0,007 \cdot P_s \text{ м}^3. \quad (1)$$

Пользуясь суммарным уравнением горения колчедана



определим теоретическое количество кислорода, потребного для горения колчедана. Для получения 8 молей SO_2 необходимо 11 молей кислорода, а для $0,007 P_s$ количество кислорода найдем из соотношения:

$$\begin{array}{l} 11 : 8 = x : 0,007P_s \\ x = \frac{0,007P_s \cdot 11}{8} = 0,009625 \cdot P_s \text{ м}^3. \end{array} \quad (2)$$

Эта величина дает теоретическое количество кислорода, необходимого для сжигания 1 кг колчедана при выгорании в нем P_s серы.

В действительности кислорода дается в печь значительно больше, так как окисление колчедана на основе закона действия масс идет быстрее при избытке кислорода и кроме того в серно-кислотном производстве в дальнейшем кислород необходим для последующего окисления SO_2 в SO_3 .

Обозначим отношение количества поступающего в печь кислорода к теоретическому через α , т. е.

$$\frac{O_{\text{факт.}}}{O_{\text{теор.}}} = \alpha,$$

тогда

$$\begin{array}{l} \frac{O_{\text{факт.}}}{0,009625 \cdot P_s} = \alpha \\ O_{\text{факт.}} = 0,009625 \cdot P_s \cdot \alpha \text{ м}^3. \end{array} \quad (3)$$

Воздух содержит по объему $O = 21,31\%$ и $N = 78,69\%$; отсюда теоретическое количество поступающего в печь воздуха будет равно:

$$V_{\text{теор.}} = \frac{0,009625 \cdot P_s \cdot 100}{21,31} \text{ м}^3 = 0,04517 \cdot P_s \text{ м}^3,$$

а фактическое

$$V_{\text{факт.}} = \frac{0,009625 \cdot P_s \cdot \alpha \cdot 100}{21,31} = 0,04517 \cdot P_s \cdot \alpha \text{ м}^3. \quad (4)$$

Коэффициент избытка воздуха равен

$$\frac{V_{\text{факт.}}}{V_{\text{теор.}}} = \frac{0,04517 \cdot P_s \cdot \alpha}{0,04517 \cdot P_s} = \alpha.$$

Вычитая из формулы (3) формулу (2), получим

$$\begin{aligned} V'_o &= O_{\text{факт.}} - O_{\text{теор.}} = 0,009625 P_s \alpha - 0,009625 P_s = \\ &= 0,009625 P_s (\alpha - 1) \text{ м}^3. \end{aligned} \quad (5)$$

Левая часть формулы (5) представляет избыточное количество кислорода, которое остается в печных газах, а правая часть дает то же количество, в зависимости от степени выгорания колчедана и коэффициента избытка воздуха.

Количество поступающего азота и остающегося неизменным в печных газах определим на основании его процентного содержания в воздухе, пользуясь формулой (4):

$$V'_N = \frac{0,04 \cdot 17 \cdot P_s \cdot \alpha \cdot 78,69}{100} = 0,03555 \cdot P_s \cdot \alpha \text{ м}^3. \quad (6)$$

Общий объем газовой смеси равен:

$$\begin{aligned} V'_{\text{газ}} &= (1) + (5) + (6) = V'_{\text{so}_2} + V'_o + V'_N = \\ &= 0,007 \cdot P_s + 0,009625 \cdot P_s (\alpha - 1) + 0,03555 P_s \alpha = \\ &= (0,04517 P_s \alpha - 0,002625 P_s) \text{ м}^3. \end{aligned} \quad (7)$$

Процентное содержание SO_2 в газовой смеси будет равно:

$$\begin{aligned} V_{\text{so}_2} &= \frac{V'_{\text{so}_2} \cdot 100}{V'_{\text{so}_2} + V'_o + V'_N} = \frac{0,007 \cdot P_s \cdot 100}{0,04517 P_s \alpha - 0,002625 P_s} = \frac{0,7}{0,04517 \alpha - 0,002625} \\ V_{\text{so}_2} &= \frac{15,5}{\alpha - 0,058}. \end{aligned} \quad (8)$$

Зависимость между V_{so_2} и α можно представить также и в виде:

$$\alpha = \frac{15,5}{V_{\text{so}_2}} + 0,058. \quad (9)$$

Формулы (8) и (9) дают возможность при определенном процентном содержании в газовой смеси SO_2 определить α и наоборот.

При α , равном 1, т. е. при даче в печь теоретического количества воздуха, содержание SO_2 будет максимальным и будет равно для колчедана 16,45%.

При работе механических печей содержание SO_2 в газовой смеси колеблется от 5,25 до 8,5%. В этом случае α будет равна в пределах от 3 до 1,878. Обычно содержание SO_2 равно 7%, при этом $\alpha = 2,2$.

В зависимости от α и содержания SO_2 меняется также процент O и N . Процентное содержание O_2 по объему определяется из формул (5) и (7)

$$V_{\text{O}} = \frac{0,009625 \cdot P_s (\alpha - 1) \cdot 100}{0,04517 \cdot P_s \cdot \alpha + 0,002625 \cdot P_s} = \frac{(\alpha - 1) \cdot 100}{4,7\alpha + 0,272} \quad (10)$$

Зависимость между содержанием в газовой смеси V_{O} и V_{SO_2} можно определить, подставив значение α из формулы (9) в формулу (10).

Произведя все необходимые сокращения, получим:

$$V_{\text{O}} = 21,31 - 1,296 \cdot V_{\text{SO}_2} \quad (11)$$

Процентное содержание N в газовой смеси определяется из соотношения

$$V_{\text{N}} = 100 - (V_{\text{SO}_2} + V_{\text{O}}).$$

Подставив значение V_{O} из формулы (11), получим:

$$V_{\text{N}} = 78,69 + 0,296 V_{\text{SO}_2} \quad (12)$$

Общий объем газа, получаемого при сжигании 1 кг колчедана, в зависимости от содержания SO_2 в газе согласно формуле (1) будет равен:

$$V_{\text{пол}} = \frac{0,007 P_s \cdot 100}{V_{\text{SO}_2}} = \frac{0,7 P_s}{V_{\text{SO}_2}} \cdot \text{м}^3 \quad (13)$$

Из этой формулы видно, что общий объем газа обратно пропорционален концентрации SO_2 в газе.

Подставляя в формулу (4) значение α из формулы (9), получим:

$$\begin{aligned} V_{\text{факт.}} &= 0,04517 P_s \left(\frac{15,5}{V_{\text{SO}_2}} + 0,058 \right) \cdot \text{м}^3 = \\ &= \left(\frac{0,7}{V_{\text{SO}_2}} + 0,00262 \right) P_s \cdot \text{м}^3, \end{aligned} \quad (14)$$

т. е. фактический расход воздуха на 1 кг колчедана, в зависимости от концентрации SO_2 и степени выгорания S в колчедане.

Пользуясь выведенными формулами, решим следующий пример. Определить состав газа, объемы газа, получаемого и идущего на горение воздуха при сжигании 1 кг колчедана. Колчедан содержит 45% серы, степень ее выгорания 43%. Печной газ содержит 8% SO_2 .

Абсолютное количество получаемого SO_2 определится из формулы (1):

$$V_{\text{SO}_2} = 0,007 \cdot P_s = 0,007 \cdot 43 = 0,301 \text{ м}^3.$$

Коэффициент избытка воздуха определим из формулы (9):

$$\alpha = \frac{15,5}{8} + 0,058 \approx 2.$$

Абсолютные количества кислорода, поступающего в печь и находящегося в печных газах, определяются из формул (3) и (5).

Общий объем печных газов можно определить по формулам (7) и (13).

Согласно формуле (13)

$$V_{\text{газ}} = \frac{0,7 \cdot P_s}{V_{\text{SO}_2}} = \frac{0,7 \cdot 43}{8} = 3,76 \text{ м}^3.$$

Количество воздуха, поступающего в печь, может быть вычислено по одной из формул (4) или (14):

$$V_{\text{факт.}} = \left(\frac{0,7}{V_{\text{SO}_2}} + 0,00262 \right) P_s = \left(\frac{0,7}{8} + 0,00262 \right) 43 = 3,876 \text{ м}^3.$$

Процентное содержание в газовой смеси по объему кислорода определяется по одной из формул (10) или (11):

$$V_{\text{O}_2} = 21,31 - 1,296 \cdot V_{\text{SO}_2} = 10,942\%.$$

Содержание азота может быть определено по разности или по формуле (12):

$$V_{\text{N}_2} = 78,69 + 0,296 V_{\text{SO}_2} = 78,69 + 0,296 \cdot 8 = 81,058\%.$$

Таким образом печной газ при 43% выгорания серы и 8% содержания SO_2 в печном газе будет иметь следующий состав:

SO_2	8,000%
O_2	10,942%
N_2	81,058%
	100%

В печах, как выше было сказано, кроме SO_2 образуется также некоторое количество и SO_3 . В проектных расчетах принимают, и это близко к действительности¹, что количество SO_3 равно 5% от всего SO_2 .

Обозначим процентное содержание SO_3 в печном газе через V_{SO_3} . При образовании SO_3 из SO_2 100 объемов газа сократятся до $100 - 0,5 V_{\text{SO}_3}$, и объем газа из 1 кг будет равен [согласно формуле (13)]

$$V_{\text{газ}} = \frac{0,7 \cdot P_s (100 - 0,5 V_{\text{SO}_3})}{(V_{\text{SO}_2} + V_{\text{SO}_3}) \cdot 100} \text{ м}^3.$$

¹ В механических печах.

Количество кислорода также изменяется и в новых 100 объемах газа V_O [согласно формуле (11)] будет равно:

$$V_O = [21,31 - 1,296(V_{SO_2} + V_{SO_3}) - 0,5 V_{SO_2}] \cdot \frac{100}{100 - 0,5 V_{SO_2}} = \\ = (21,31 - 1,296 SO_2 - 1,796 SO_3) \cdot \frac{100}{100 - 0,5 V_{SO_2}} \quad (15)$$

Введя соответствующую поправку в формулу (12), можно определить также и содержание азота в газовой смеси.

При сжигании углистого колчедана кислород будет расходоваться не только на FeS_2 , но и на уголь. Если процентное содержание угля в колчедане P_C , то при сгорании 1 кг колчедана необходимо кислорода для сжигания угля

$$\frac{0,01 \cdot P_C \cdot 32}{12} = 0,0266 \cdot P_C$$

и по объему

$$V_C = \frac{0,0266 \cdot P_C \cdot 22,4}{32} = 0,01865 P_C \text{ м}^3.$$

Общий же объем теоретического кислорода для сжигания угля и FeS_2 будет равен:

$$O_{\text{теор.}} = (0,009625 \cdot P_S + 0,01865 P_C) \text{ м}^3,$$

а фактический расход кислорода

$$V_{\text{кислород}} = (0,009625 \cdot P_S + 0,01865 \cdot P_C) \alpha \text{ м}^3.$$

Общий объем фактического расхода воздуха

$$V_{\text{воздух}} = \frac{(0,009625 \cdot P_S + 0,01865 \cdot P_C) \alpha \cdot 100}{21,31} = \\ = (0,04517 \cdot P_S + 0,0875 P_C) \alpha.$$

Соответственно азота поступит:

$$V_{\text{воздух}} - V_{\text{кислород}} = V_{\text{азот}} = (0,03555 P_S + 0,069 \cdot P_C) \alpha.$$

Кислорода останется в смеси

$$O_{\text{избыток}} = V_{\text{кислород}} - O_{\text{теор.}} = (0,009625 P_S + 0,01865 \cdot P_C) (\alpha - 1) \text{ м}^3.$$

V_{SO_2} получится столько же, сколько затрачено O_2 на горение угля, т. е. $0,01865 P_C$.

Общий объем газа равен

$$V_{\text{газ}} = V_{SO_2} + V_{CO_2} + O_{\text{избыток}} + V_N = 0,007 P_S + 0,01865 P_C + \\ + (0,009625 P_S + 0,01865 P_C) (\alpha - 1) + (0,03555 P_S + 0,069 P_C) \alpha = \\ = 0,04517 P_S \alpha - 0,002625 P_S + 0,08765 P_C \cdot \alpha \text{ м}^3 \text{ из 1 кг колчедана.}$$

Процент SO_2 в газовой смеси будет равен:

$$V_{\text{SO}_2} = \frac{0,007P_S \cdot 100}{0,04517P_S \alpha - 0,002625P_S + 0,08765P_C \cdot \alpha} =$$

$$= \frac{15,5}{\alpha \left(1 + 1,94 \frac{P_C}{P_S}\right) - 0,058}.$$

Таким образом, процент SO_2 в газах зависит от коэффициента избытка воздуха и от отношения процента угля к проценту выгоревшей серы в колчедане.

В печных газах всегда содержится влага: 1) поступающая с колчеданом и определяемая анализом; 2) поступающая с воздухом и определяемая из специальных таблиц. При расчетах влагосодержание поступающего в печь воздуха принимают равным половинному содержанию влаги в воздухе, насыщенном при данной температуре. Если на 1 кг сожженного колчедана водяных паров в газах будет a (м^3), то объем газа на 1 кг будет равен [согласно формуле (13)]

$$V_{\text{газ}} = \frac{0,7P_S}{V_{\text{SO}_2}} + a.$$

Процент SO_2 с учетом водяных паров, в зависимости от ранее вычисленного процента для сухого газа, будет равен:

$$V''_{\text{SO}_2} = \frac{V_{\text{SO}_2} \cdot V_{\text{газ}}}{V'_{\text{газ}}}.$$

Подставляя вместо $V'_{\text{газ}}$ его значение и заменяя $V_{\text{газ}}$ [согласно формуле (13)], получим:

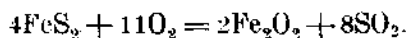
$$V''_{\text{SO}_2} = \frac{V_{\text{SO}_2} \cdot \frac{0,7P_S}{V_{\text{SO}_2}}}{\frac{0,7P_S}{V_{\text{SO}_2}} + a} = V_{\text{SO}_2} \cdot \frac{0,7 \cdot P_S}{0,7P_S + a \cdot V_{\text{SO}_2}}.$$

Объемный процент водяных паров в газах будет равен:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{a \cdot 100}{V'_{\text{газ}}} = \frac{a \cdot 100}{\frac{0,7P_S}{V_{\text{SO}_2}} + a} = V_{\text{SO}_2} \cdot \frac{100 \cdot a}{0,7P_S + a \cdot V_{\text{SO}_2}}.$$

III. КОЛИЧЕСТВО ОГАРКА, ПОЛУЧАЕМОГО ПРИ ГОРЕНИИ КОЛЧЕДАНА

При горении колчедана часть его сгорает, а часть остается в огарке несгоревшей. При нашем рассуждении мы допустим, что колчедан кроме FeS_2 не содержит других горючих веществ и примеси в колчедане не претерпевают в печи химических изменений. Суммарная реакция, по которой протекает процесс горения колчедана, следующая:



Определим количество огарка, получаемого при сгорании 1 кг колчедана.

Обозначим процент серы в колчедане через s , процент серы в огарке через s_1 , количество получаемого огарка через x . Отсюда количество сгоревшей серы при сжигании 1 кг колчедана будет равно:

$$\frac{s}{100} - \frac{xs_1}{100} = \frac{s - xs_1}{100}$$

Количество выгоревшего колчедана x_1 , отвечающего сгоревшей сере, найдем из соотношения:

$$\left. \begin{array}{rcl} \text{FeS}_2 & \rightarrow & \text{S}_2 \\ 120 & & 64 \\ x_1 & \frac{s - xs_1}{100} & \end{array} \right\} x_1 = \frac{120(s - xs_1)}{64 \cdot 100}$$

Этот сгоревший колчедан даст следующее количество огарка x_2 в виде Fe_2O_3 :

$$\left. \begin{array}{rcl} 2\text{FeS}_2 & \rightarrow & \text{Fe}_2\text{O}_3 \\ 240 & & 160 \\ \frac{120(s - xs_1)}{64 \cdot 100} & & x_2 \end{array} \right\} x_2 = \frac{160 \cdot 120(s - xs_1)}{240 \cdot 64 \cdot 100}$$

Таким образом количество получаемого огарка будет равно:

$$x = 1 - \frac{120(s - xs_1)}{64 \cdot 100} + \frac{160 \cdot 120(s - xs_1)}{240 \cdot 64 \cdot 100}$$

откуда

$$x = \frac{160 - s}{160 - s_1} \quad (16)$$

При содержании серы в колчедане 45% и в огарке 2%, количество получаемого огарка при сжигании 1 кг колчедана будет равно

$$x = \frac{160 - 45}{160 - 2} = 0,72 \text{ кг.}$$

Часто в практических расчетах выход огарка принимают 0,7 кг. Но это не всегда верно, так как количество огарка, как видно из приводимого уравнения, в значительной мере зависит от содержания серы в колчедане и в огарке.

IV. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС КОЛЧЕДАНОЙ ПЕЧИ НА 1 КГ СЖИГАЕМОГО КОЛЧЕДАНА

Предположим, что мы имеем сухой колчедан, содержащий 41,5% серы, и при сгорании колчедана в огарке остается 2% серы. Содержание SO_2 в печном газе равно 7,96%.

Пользуясь формулой (16), определим количество получаемого огарка:

$$\alpha = \frac{160 - 41,5}{160 - 2} = 0,75 \text{ кг.}$$

Количество невыгоревшей серы в огарке:

$$\frac{\alpha \cdot 2}{100} = 0,015 \text{ кг.}$$

Процент выгоревшей серы в колчедане:

$$P_s = 41,5 - 1,5 = 40.$$

Количество получаемого SO_2 по весу определим из соотношения:

$$\begin{array}{cc|l} \text{S} \rightarrow \text{SO}_2 & & \\ 32 & 64 & \\ 0,4 & x & \end{array} \left\{ x = \frac{64 \cdot 0,4}{32} = 0,8 \text{ кг.} \right.$$

α , т. е. коэффициент избытка воздуха при содержании SO_2 в газе 7,96%, согласно формуле (9), будет равен:

$$\alpha = \frac{15,5}{7,96} + 0,058 \approx 2.$$

Содержание кислорода в печном газе получится путем умножения его объема [согласно формуле (5)] на $\frac{32}{22,4}$, т. е.:

$$0,09625 \cdot (\alpha - 1) \cdot P_s \frac{32}{22,4} = 0,55 \text{ кг.}$$

Количество азота по весу будет равно его объему [по формуле (6)], умноженному на $\frac{28}{22,4}$:

$$N_{\text{вес}} = 0,03555 \cdot \alpha \cdot P_s \cdot \frac{28}{22,4} = 3,56 \text{ кг.}$$

Фактическое количество воздуха по объему, идущего на сжигание колчедана, определим из формулы (11):

$$V_{\text{факт.}} = \left(\frac{0,7}{V_{\text{SO}_2}} + 0,00262 \right) P_s \text{ м}^3.$$

а по весу

$$P_{\text{воздух}} = \left(\frac{0,7}{7,96} + 0,00262 \right) \cdot 40 \cdot 1,29 = 4,66.$$

Суммарный баланс выразится:

Приход в печь в кг		Расход из печи в кг	
Колчедан	1,000	Огарок	0,750
Воздух	4,660	Сернистый газ	0,800
		Кислород	0,550
		Азот	3,560
Итого		Итого	
5,66 кг		5,66 кг	

При составлении точного баланса в приходе следует учитывать воду, поступающую в печь с колчеданом, а также и влагу воздуха, в расходе же в этом случае учитываются пары воды, уходящие с печным газом. Количество воды, поступающее с колчеданом, определяют анализом колчедана, а влагу, поступающую с воздухом, — определением влагосодержания воздуха. Вся поступившая в печь влага считается уходящей с газами в виде паров воды.

Приведенные выше формулы для SO_2 , O_2 и N_2 даны в расчете на сухие колчедан и воздух. Зная количество влаги, поступающей в печь с колчеданом, и умножив это количество на $\frac{22,4}{18}$, мы получим объем водяных паров, находящихся в газах и полученных из влаги колчедана. Прибавив к этому влагу воздуха, получим общий объем водяных паров в печных газах.

Зная процент любого газа по отношению к сухому объему, легко вычислить объем этого газа по отношению к общему объему, т. е. к смеси сухого объема плюс водяные пары.

Если в сухом газе процентное содержание SO_2 , O_2 , N_2 равно V_{SO_2} , V_{O_2} , V_{N_2} , то в газе с водяными парами это содержание будет равно:

$$\text{для } \text{SO}_2 = V_{\text{SO}_2} \cdot \frac{V_{\text{сух. газ}}}{V_{\text{сух. газ}} + V_{\text{вод. пары}}};$$

$$\text{для } \text{O}_2 = V_{\text{O}_2} \cdot \frac{V_{\text{сух. газ}}}{V_{\text{сух. газ}} + V_{\text{вод. пары}}};$$

$$\text{для } \text{N}_2 = V_{\text{N}_2} \cdot \frac{V_{\text{сух. газ}}}{V_{\text{сух. газ}} + V_{\text{вод. пары}}}.$$

При выводе всех предыдущих формул температура газов принималась равной 0° . При расчете же газоходов и других аппаратов необходимо учитывать изменение объемов газов в зависимости от температуры. Объем газа при любой температуре вычисляется по общеизвестной формуле Гей-Люссака:

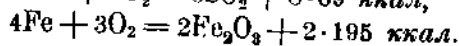
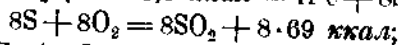
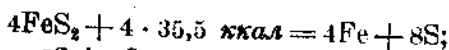
$$V_t = V_0(1 + \alpha t),$$

где V_t — объем газа при данной температуре, а V_0 при 0° .

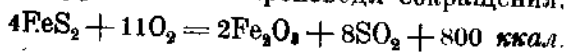
У. ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ КОЛЧЕДАНА

Теплота образования из элементов одного моля FeS_2 сопровождается выделением 35,5 ккал, Fe_2O_3 — 195 ккал, SO_2 — 69 ккал.

Пользуясь законом Гесса, напишем следующие термохимические уравнения:



Сложив эти уравнения и произведя сокращения, получим;



Отсюда находим, что при сгорания 1 кг химически чистого FeS_2 выделяется тепла:

$$\frac{800 \cdot 1000}{4 \cdot 119,96} = 1670 \text{ ккал.}$$

Теплотворная способность 1 кг колчедана, содержащего $s^0/100$ пиритной серы, равна:

$$\frac{1670 \cdot s^0/100}{53,46}$$

Здесь 53,46 — процентное содержание серы в химически чистом FeS_2 .

Количество же тепла, которое выделяет 1 кг колчедана при выгорании в нем $P\%$ серы, равно:

$$\frac{1670 \cdot P_s}{53,46} = 31,24 \cdot P_s. \quad (17)$$

Формулой (17) определяется теплота, которая выделяется при сгорании S в SO_2 , но в углистом колчедане кроме серы имеется углерод, горение которого сопровождается также выделением значительного количества тепла.

Помимо этого часть SO_2 окисляется в SO_3 . Эта реакция является экзотермической:



т. е. на 2 моля образующегося SO_3 выделяется 45,9 ккал.

Сгорание 12 частей углерода даст 96,72 ккал тепла; если процент углерода в колчедане равен P_c , то при сгорании 1 кг колчедана должно выделиться тепла:

$$\frac{96,72 \cdot 1000 \cdot P_c}{12 \cdot 100} = 80,6 P_c. \quad (18)$$

Пользуясь приведенными данными, можно определить полностью тепло, выделяющееся при горении любого колчедана.

Пример. Определить количество тепла, выделяемого при горении 1 кг колчедана. Колчедан содержит 6% C, 44,46% S, содержание серы в огарке 2%, количество образующегося SO_3 составляет 5% от всего SO_2 в газе.

Определим процент выгорающей серы в колчедане:

$P_s = 44,46 - 2 \cdot a$, где a — количество огарка, определяемого по формуле (16). откуда:

$$P_s = 44,46 - 2 \frac{160 - 44,46}{160 - 2} = 43\%.$$

Углерод обычно выгорает полностью, поэтому согласно формулам (17) и (18) количество тепла Q при сгорании 1 кг колчедана должно быть равно:

$$Q = 31,24 \cdot P_s + 80,6 \cdot P_c = 1827 \text{ ккал.}$$

Но принимая, что 5% от всей сгоревшей серы окисляется в SO_3 и при этом выделяется на 2 моля SO_2 45,9 ккал, находим, что соответствующий добавочный тепловой эффект будет равен:

$$\frac{43 \cdot 1000 \cdot 5 \cdot 45,9}{100 \cdot 100 \cdot 32 \cdot 2} = 15,4 \text{ ккал.}$$

Следовательно полное количество тепла Q_1 , выделяемого при горении данного колчедана, будет равно:

$$Q_1 = 1827 + 15.4 = 1842,4 \text{ ккал.}$$

VI. ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗОВ

При расчетах газоходов при вычислении теплового баланса печей и при решении ряда вопросов довольно часто приходится вычислять теплоемкости газов.

При расчетах количество газов измеряется в килограмммолекулах, килограммах или куб. метрах, поэтому и теплоемкости газов находятся для этих трех единиц. Таким образом получают теплоемкости: молекулярная, весовая и объемная, причем последние две находятся экспериментально, а первая получается или умножением весовой теплоемкости на молекулярный вес газа или умножением объемной теплоемкости на объем килограмммолекулы, т. е. на 22,4 м³. Переход от объемной теплоемкости к весовой совершается умножением первой на 22,4 и делением на молекулярный вес газа, а переход от весовой к объемной — умножением на молекулярный вес и делением на 22,4.

При обычных условиях горения газы имеют возможность расширяться и сжиматься до объема, отвечающего атмосферному давлению, а поэтому теплоемкости продуктов горения в этом случае вычисляются при постоянном давлении.

Теплоемкость газов возрастает с повышением температуры и их средние теплоемкости в пределах температур от 0 до t всегда ниже теплоемкостей при данной температуре.

В практике главным образом приходится иметь дело с средними теплоемкостями и поэтому в дальнейшем при описании, если не будет оговорено, мы всегда будем подразумевать средние теплоемкости.

В металлургии при расчетах пользуются формулами проф. М. А. Павлова, причем для упрощения расчетов отбрасывают последние члены с t^2 и t^3 .

Таблица 8

Наименование газов	Средние теплоемкости при постоянном давлении от 0 до t		
	Для 1 кг/мол	Для 1 кг	Для 1 м ³
CO ₂ ниже 1600°	8,844 + 0,0033 t	0,2 + 0,000075 t	0,3922 + 0,0001473 t
CO ₂ выше 1600°	8,785 + 0,0033 t	—	—
N ₂	6,685 + 0,00045 t	0,23875 + 0,000016 t	0,2985 + 0,0000301 t
O ₂	6,685 + 0,00045 t	0,2152 + 0,000141 t	0,3074 + 0,0000201 t
SO ₂	8,785 + 0,0033 t	0,1373 + 0,00005156 t	0,3922 + 0,0001473 t
H ₂	6,685 + 0,00045 t	3,343 + 0,000225 t	0,2985 + 0,0000201 t
CO	6,685 + 0,00045 t	0,23875 + 0,000016 t	0,2985 + 0,0000201 t
H ₂ O	8,05 + 0,0005 t	0,4475 + 0,0000278 t	0,3594 + 0,0000223 t
Воздух	6,727 + 0,00045 t	0,2323 + 0,0000155 t	0,3003 + 0,0000201 t

Таблица 9

Средние объемные теплоемкости газов (для 1 м³ при 0° и 766 мм рт. ст. от 0 до t°)

Температура в °C	CO ₂ и SO ₂	N ₂ , O ₂ , CO и воздух	H ₂ O	H ₂
0	0,397	0,312	0,372	0,310
100	0,410	0,313	0,374	0,312
200	0,426	0,315	0,375	0,314
300	0,442	0,317	0,376	0,316
400	0,456	0,320	0,378	0,318
500	0,467	0,322	0,381	0,320
600	0,477	0,324	0,384	0,322
700	0,487	0,326	0,386	0,324
800	0,497	0,328	0,390	0,326
900	0,505	0,330	0,395	0,328
1000	0,511	0,332	0,399	0,330
1100	0,517	0,334	0,403	0,332
1200	0,521	0,336	0,408	0,334
1300	0,526	0,338	0,413	0,336
1400	0,530	0,340	0,419	0,338
1500	0,536	0,342	0,425	0,340
1600	0,541	0,344	0,431	0,342
1700	0,546	0,346	0,438	0,344
1800	0,550	0,348	0,446	0,346
1900	0,554	0,350	0,456	0,348
2000	0,556	0,352	0,465	0,350
2100	0,558	0,354	0,475	0,352
2200	0,562	0,357	0,485	0,354
2300	0,566	0,359	0,496	0,356
2400	0,568	0,361	0,506	0,358
2500	0,570	0,363	0,517	0,360
2600	0,572	0,365	0,527	0,362
2700	0,575	0,367	0,538	0,364
2800	0,577	0,369	0,550	0,366
2900	0,580	0,371	0,562	0,368
3000	0,582	0,373	0,575	0,370

Таблица 10

Средние весовые (для 1 кг) теплоемкости газов
от 0 до t°

Темпе- ратура в $^\circ\text{C}$	CO_2	H_2O	N_2 и CO	SO_2	H_2	O_2	Воздух
0	0,202	0,462	0,249	0,138	3,445	0,218	0,241
100	0,209	0,464	0,251	0,143	3,467	0,219	0,243
200	0,217	0,466	0,252	0,148	3,490	0,221	0,244
300	0,225	0,468	0,254	0,153	3,512	0,222	0,246
400	0,232	0,470	0,255	0,157	3,534	0,224	0,247
500	0,238	0,473	0,257	0,161	3,557	0,225	0,249
600	0,243	0,476	0,259	0,164	3,579	0,226	0,250
700	0,248	0,479	0,261	0,168	3,601	0,227	0,252
800	0,253	0,484	0,262	0,171	3,624	0,228	0,253
900	0,257	0,490	0,264	0,174	3,646	0,231	0,255
1000	0,260	0,495	0,266	0,177	3,668	0,232	0,257
1100	0,263	0,500	0,267	0,179	3,691	0,234	0,258
1200	0,266	0,507	0,269	0,182	3,713	0,235	0,260
1300	0,268	0,513	0,271	0,184	3,735	0,236	0,261
1400	0,270	0,520	0,272	0,185	3,758	0,238	0,263
1500	0,273	0,527	0,274	0,187	3,780	0,239	0,264
1600	0,275	0,535	0,276	0,188	3,802	0,241	0,266
1700	0,278	0,544	0,277	0,190	3,824	0,242	0,267
1800	0,280	0,554	0,279	0,191	3,847	0,243	0,269
1900	0,282	0,566	0,281	0,192	3,869	0,245	0,271
2000	0,283	0,578	0,282	0,194	3,891	0,246	0,272
2100	0,284	0,580	0,284	0,195	3,914	0,248	0,274
2200	0,286	0,603	0,286	0,196	3,936	0,249	0,275
2300	0,288	0,616	0,287	—	3,958	0,250	0,277
2400	0,289	0,620	0,289	—	3,981	0,252	0,278
2500	0,290	0,642	0,291	—	4,003	0,253	0,280
2600	0,291	0,655	0,292		4,025	0,255	0,281
2700	0,292	0,669	0,294		4,047	0,256	0,283
2800	0,294	0,683	0,296		4,070	0,257	0,284
2900	0,295	0,698	0,297		4,092	0,259	0,286
3000	0,296	0,713	0,299		4,115	0,260	0,288

В табл. 8 приведены формулы для средних теплоемкостей газов, встречающихся в продуктах сжигания топлива и колчедана.

При расчетах гораздо чаще пользуются не формулами, а готовыми таблицами средних теплоемкостей при постоянном давлении (табл. 9 и 10).

Гипсхим в своих расчетах пользуется следующими формулами для вычисления средних теплоемкостей 1 кг:

C_{CO_2}	$0,222 + 0,0000430 \, t$	C_{SO_2}	$0,153 + 0,0000296 \, t$
C_{O_2}	$0,216 + 0,0000166 \, t$	C_{H_2}	$3,400 + 0,000263 \, t$
C_{N_2}	$0,246 + 0,0000189 \, t$	$C_{\text{воздух}}$	$0,237 + 0,0000183 \, t$
C_{H_2O}	$0,436 + 0,000120 \, t$	C_B	$0,07015 + 0,0000155 \, t$
			(от 300 до 1000°)

В дальнейшем при расчетах мы будем пользоваться или этими формулами или же приведенными выше табл. 9 и 10.

VII. ТЕМПЕРАТУРА ГОРЕНИЯ КОЛЧЕДАНА

1. Теоретическая температура

Под теоретической температурой горения понимается та температура, до которой могли бы нагреться продукты горения, если бы вся выделяемая при горении теплота пошла на их нагревание.

Алгебраически эта температура для колчедана выражается уравнением:

$$t = \frac{Q}{P_{\text{газ}} \cdot C_{\text{газ}} + P_{\text{огарок}} \cdot C_{\text{огарок}}}, \quad (19)$$

где $P_{\text{газ}}$ — количество газов в кг, получаемых при сгорании 1 кг колчедана;

$C_{\text{газ}}$ — средняя теплоемкость 1 кг газовой смеси между 0 и t° ;

$P_{\text{огарок}}$ — вес огарка, получаемого при сгорании 1 кг колчедана

$C_{\text{огарок}}$ — теплоемкость огарка;

Q — тепло, вносимое в печь и состоящее из теплоты горения колчедана Q_1 плюс теплота, вносимая воздухом Q_2 и колчеданом Q_3 , т. е.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

При горении колчедана в механических печах, где осуществлен противоток сжигаемого колчедана с поступающим воздухом, огарок колчедана охлаждается, отдавая тепло поступающему воздуху. Если обозначить через q количество тепла, воспринимаемого огарком при сгорании колчедана, а через q_1 — количество тепла, получаемого воздухом от охлаждающегося огарка, то разность $q - q_1 = Q$ даст тепло, уносимое из печи огарком.

Обозначая получаемую в этом случае температуру горения через t_1 , а через t_2 — температуру удаляющегося огарка, будем иметь:

$$Q = P_{\text{газ}} \cdot C_{\text{газ}} t_1 + P_{\text{огарок}} \cdot C_{\text{огарок}} t_2;$$

$$t_1 = \frac{Q - P_{\text{огарок}} \cdot C_{\text{огарок}} t_2}{P_{\text{газ}} \cdot C_{\text{газ}}}.$$

Но $P_{\text{огарок}} \cdot C_{\text{огарок}} t_2$ — тепло, уносимое огарком, т. е. Q_4 , отсюда температура горения

$$t_1 = \frac{Q - Q_4}{P_{\text{газ}} \cdot C_{\text{газ}}}. \quad (20)$$

Уравнение (20) позволяет легко определить теоретическую температуру горения колчедана в механических печах, где осуществлен принцип противотока сжимаемого колчедана с поступающим воздухом.

Пример. Определить теоретическую температуру горения колчедана, содержащего 41,5% серы, если в огарке остается 2% серы, а концентрация SO_2 в печных газах равна 7,96%.

Согласно материальному балансу (стр. 44) при горении такого колчедана получается: 0,75 кг огарка, 4,91 кг газа, состоящего из 0,8 кг SO_2 , 0,55 кг O_2 и 3,56 кг N.

Процент выгорающей серы равен 40. Количество воздуха, вводимого в печь, равно 4,66 кг, а по объему согласно формуле (14) 3,6 м³. Количество тепла, выделяемого при горении 1 кг колчедана по формуле (17) будет равно:

$$Q_1 = 31,24 \cdot P_s = 31,24 \cdot 40 = 1249,6 \text{ ккал};$$

теплота, вносимая воздухом при температуре 25°, равна:

$$Q_2 = C_{\text{воздух}} \cdot 3,6 \cdot 25 = 0,312 \cdot 3,6 \cdot 25 = 28,08 \text{ ккал}.$$

В этом равенстве 0,312 — средняя теплоемкость 1 м³ воздуха между 0 и 25° при нормальных условиях.

Количество тепла, вносимое с колчеданом, при температуре его 25° и теплоемкости $C_{\text{колчедан}} = 0,1456 + 0,000188 \cdot t$, будет равно:

$$Q_3 = (0,1456 + 0,000188 \cdot 25) 25 = 3,75 \text{ ккал}.$$

Средняя теплоемкость ($C_{\text{газ}}$) 1 кг газовой смеси при t_1 будет равна:

$$C_{\text{газ}} = \frac{C_{\text{SO}_2} \cdot P_{\text{SO}_2}}{100} + \frac{C_{\text{O}_2} \cdot P_{\text{O}_2}}{100} + \frac{C_{\text{N}_2} \cdot P_{\text{N}_2}}{100}.$$

В этом уравнении C_{SO_2} , C_{O_2} , C_{N_2} — средняя теплоемкость 1 кг газов: SO_2 , O и N в пределах температур от 0° до температуры горения, P_{SO_2} , P_{O_2} , P_{N_2} — процентное содержание (весовое) тех же газов в газовой смеси.

$$P_{\text{SO}_2} = \frac{0,8 \cdot 100}{0,8 + 0,55 + 3,56} = 16,3\%;$$

$$P_0 = \frac{0,55 \cdot 100}{4,91} = 11,2\%$$

$$P_N = \frac{3,56 \cdot 100}{4,91} = 72,5\%$$

Средняя теплоемкость 1 кг SO_2 , O и N в пределах от 0° до t_1 равна:

$$C_{\text{SO}_2} \dots 0,153 + 0,0000296 t_1$$

$$C_O \dots 0,216 + 0,0000166 t_1$$

$$C_N \dots 0,246 + 0,0000189 t_1.$$

Отсюда средняя теплоемкость 1 кг газовой смеси при t_1 равна:

$$\begin{aligned} C_{\text{газ}} &= \frac{(0,153 + 0,0000296 \cdot t_1) 16,3}{100} + \\ &+ \frac{(0,216 + 0,0000166 t_1) 11,2}{100} + \frac{(0,246 + 0,0000189 t_1) \cdot 72,5}{100} = \\ &= 0,227 + 0,00002038 t_1; \end{aligned}$$

Q_4 — количество тепла, уносимого огарком, равно:

$$Q_4 = C_{\text{огарок}} \cdot P_{\text{огарок}} \cdot t_2;$$

$$C_{\text{огарок}} = 0,1456 + 0,00188 t_2.$$

В механических печах, где осуществлен противоток сжигаемого колчедана с поступающим воздухом, температура выходящего огарка бывает в пределах от 200 до 300° . Примем 250° , тогда:

$$C_{\text{огарок}} = 0,1456 + 0,00188 \cdot 250 = 0,1926$$

и

$$Q_4 = 0,1926 \cdot 0,75 \cdot 250 = 36,11 \text{ ккал.}$$

Вес газовой смеси $P_{\text{газ}} = 0,5 + 0,55 + 3,56 = 4,91$ кг.

Подставляя полученные величины в уравнение (20), будем иметь:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{Q - Q_4}{P_{\text{газ}} \cdot C_{\text{газ}}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4}{P_{\text{газ}} \cdot C_{\text{газ}}} = \\ &= \frac{1249,6 + 28,08 + 3,75 - 36,11}{4,91 (0,227 + 0,00002038 t_1)} = \frac{1245,53}{1,1146 + 0,0001 t_1}; \\ 0,0001 t_1^2 + 1,1146 t_1 - 1245,5 &= 0; \\ t_1^2 + 11146 t_1 - 12455000 &= 0; \\ t_1 &= \frac{-11146 \pm \sqrt{11146^2 + 4 \cdot 12455000}}{2}; \\ t_1 &= \frac{-11146 + 13192}{2} = 1023^\circ. \end{aligned}$$

Из произведенных вычислений видно, что сумма $Q_2 + Q_3$ почти равна Q_1 и по абсолютной величине весьма мала по сравнению с Q_1 , а потому при вычислении теоретической температуры горения ими можно пренебречь; в этом случае уравнение (19) принимает вид:

$$t = \frac{Q_1}{P_{\text{газ}} \cdot C_{\text{газ}}}, \quad (21)$$

где Q_1 — теплота горения колчедана, определяемая по формуле (17).

В действительности при сжигании колчедана теоретическая температура горения никогда не достигает вычисленных температур, что зависит от того, что горение не совершается мгновенно и вследствие этого часть образующегося тепла успевает теряться в окружающую среду: чем с большей скоростью сгорает колчедан, тем выше температура. В печах пылевидного обжига при сжигании колчедана, вдуваемого в печь в пылевидном состоянии, горение колчедана вследствие большой поверхности соприкосновения с воздухом происходит значительно быстрее, чем в механических печах, а поэтому и температура горения в этих печах значительно ближе к теоретической.

2. Практическая температура

Как видно из уравнения (21), теоретическая температура горения прямо пропорциональна теплотворной способности колчедана.

Подставляя в уравнение (21) значение Q_1 из уравнения (17) через $31,24 P_s$ и заменяя $P_{\text{газ}}$ через $V_{\text{газ}} \cdot \gamma^1$, получим:

$$t = \frac{31,24 \cdot P_s}{V_{\text{газ}} \cdot \gamma \cdot C_{\text{газ}}};$$

подставляя вместо $V_{\text{газ}}$ его значение из уравнения (13), имеем:

$$t = \frac{31,24 \cdot P_s \cdot V_{\text{SO}_2}}{0,7 \cdot P_s \cdot \gamma \cdot C_{\text{газ}}} = \frac{44,8 \cdot V_{\text{SO}_2}}{\gamma \cdot C_{\text{газ}}}. \quad (22)$$

Теоретическая температура горения не прямо пропорциональна концентрации SO_2 , как об этом можно было бы сделать заключение из уравнения (22); дело в том, что $C_{\text{газ}}$, как мы видели выше, зависит от весового, а следовательно и от объемного содержания SO_2 в газовой смеси.

Из приводимой ниже табл. 11 видно, что температура горения колчедана значительно повышается в зависимости от концентрации сернистого газа и повышается почти пропорционально этой концентрации. Да оно и понятно, так как с повышением концентрации газа в печь вводится меньше воздуха, уменьшается коли-

¹ γ — вес 1 м³ газа.

чество продуктов горения и следовательно увеличивается количество тепла, приходящегося на одну единицу газа.

При определении практической температуры горения колчедана надо учитывать потерю тепла стенками печи в окружающую среду. Эту потерю можно подсчитать по формуле:

$$Q_{\text{потери}} = F \cdot K \left(\frac{\lambda_0}{\delta} \right)^{\psi} \cdot (t_1 - t_2), \quad (23)$$

где F — поверхность охлаждения печи;

K — время, за которое составляется баланс печи;

λ_0 — коэффициент теплопроводности стенки печи;

δ — толщина футеровки печи;

t_1 — средняя температура печи;

t_2 — температура окружающего воздуха;

ψ — коэффициент 0,88; этот коэффициент может быть вычислен по формуле:

$$\psi = 0,688 - 0,00678\lambda_0 + \frac{0,05587}{\lambda_0} + 0,000151(t_1 - t_2).$$

Вычисленные по этой формуле потери в окружающую среду механическими 15-тонными колчеданными печами типа «Г» составляют около 15—17% от общего прихода тепла.

При составлении теплового баланса работающей печи можно определить величину потерь в окружающую среду проще: для этого следует произвести замеры температур наружной стенки печи (в 25—30 точках). Вычислить среднеарифметическую температуру стенки печи и определить потерю тепла по общей формуле теплоотдачи:

$$Q = F \cdot \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_{\text{с}}}} : K(t_1 - t_2), \quad (24)$$

где F — поверхность печи;

K — время в часах;

α — от $2,2 \sqrt{t_1 - t_2}$ до $2,8 \sqrt{t_1 - t_2}$;

t_1 — средняя температура стенки печи;

t_2 — температура окружающего воздуха;

$$\alpha_{\text{с}} = \frac{c \left[\left(\frac{t_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_2}{100} \right)^4 \right]}{t_1 - t_2}.$$

В этой формуле C — коэффициент излучения, зависящий от рода поверхности.

$C = 4,96 \cdot E$ (значение E для каждого рода поверхности см. в таблицах Hütte, т. 1, стр. 501).

Произведенные расчеты теплового баланса работающей механической печи бригадой Оргхима на Дорогомилловском заводе дают потерю тепла в окружающую среду для уральского колчедана 16,5%, а для смеси уральского и углистого колчеданов 17,6%.

К. М. Малин¹ приводит величину теплоотдачи во вне, подсчитанную им в формуле (24) для той же печи и равную 14% от общего прихода тепла.

Мы полагаем возможным для 10-тонных печей типа «Г» принимать потерю тепла в окружающую среду в пределах от 15 до 17%. Для печей Герресгофа, пылевидного обжига и ряда других потеря тепла в окружающую среду значительно отклоняется от приводимых цифр и должна быть подсчитана на основании приведенных выше формул (23) и (24).

К. М. Малиным¹ приводятся высчитанные им теоретические температуры в зависимости от содержания SO_2 в печных газах, а также и температуры при той же концентрации газа с учетом потерь в окружающую среду и с огарком. Эти данные сведены в табл. 11.

Таблица 11

Процент SO_2 в газах	Теоретическая температура в °C	Температура горения колчедана с учетом потерь в окружающую среду в °C	
		без учета потери тепла с огарком	с учетом потери тепла с огарком (без противотока воздуха и огарка)
16,45	2050	—	—
16	—	1740	1370
12	1510	1280	1145
10	1320	1120	958
8	1075	917	790
7	944	804	680
6	814	693	640

Из приводимых цифр видно, что в колчеданных печах, в которых вал и гребки не охлаждаются воздухом или водой, возможно получить весьма высокую температуру. Эта температура значительно повышается с увеличением концентрации газа и уменьшением теплоотдачи окружающей среде.

Высокая температура в печах ведет к поломке гребков, прогоранию вала и спеканию колчедана, в особенности флотационного. С целью понижения температуры в современных конструкциях механических печей производят охлаждение вала и гребков воздухом или водой. Этим охлаждением отнимают от 20 до 35% тепла от общего его количества.

При сжигании углистого колчедана, вследствие его большой теплотворной способности, температура в печах повышается значительно больше, чем при обыкновенном колчедане. Поэтому при

¹. „Технические проблемы производства серной кислоты“, ОНТИ, 1934.

работе на этом колчедане следует увеличивать подачу воздуха для охлаждения вала и гребков, а если это невозможно, то снижать загрузку печи.

VIII. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕЧИ «Г»

Печи типа «Г» сжигают в сутки 10 т колчедана.

Составим тепловой баланс такой печи на 1000 кг колчедана. Содержание серы в колчедане 41,5%, в огарке 2%, концентрация в газах 7,96%. Процент выгорания серы (см. материальный баланс) равен 40.

Приход тепла

1. Количество тепла, выделяемого при горении 1000 кг колчедана, согласно формуле (17) равно:

$$Q_1 = 31,24 \cdot 40 \cdot 1000 = 1\,249\,600 \text{ ккал.}$$

2. Тепло, вносимое воздухом, поступающим в печь для горения колчедана при температуре 25°:

$$Q_2 = 0,312 \cdot V \cdot 25 \cdot 1000,$$

где 0,312 — теплоемкость 1 м³ воздуха, V — объем, вычисляемый по формуле (14).

$$V = \left(\frac{0,7}{7,96} + 0,00262 \right) 40 = 3,6 \text{ м}^3;$$

$$Q_2 = 0,312 \cdot 3,6 \cdot 25 \cdot 1000 = 28\,080 \text{ ккал.}$$

3. Тепло, вносимое колчеданом, при температуре последнего 25° и его теплоемкости $C_{\text{колчедан}} = 0,1456 + 0,00188 t$, равно:

$$Q_3 = (0,1456 + 0,000188 \cdot 25) \cdot 25 \cdot 1000 = 3750 \text{ ккал.}$$

4. Тепло, вносимое воздухом для охлаждения вала и гребков

$$Q_4 = 0,312 \cdot 25 \cdot x,$$

где x — объем воздуха (определение x см. ниже).

Расход тепла

1. С печным газом, принимая его температуру при выходе 600°, количество газа, получаемого при горении 1 кг колчедана, 4,91 кг (см. материальный баланс) и теплоемкость

$$C_{\text{газ}} = 0,227 + 0,00002038 t$$

(см. теоретическую температуру горения колчедана), унесется тепла

$$Q'_1 = P_{\text{газ}} \cdot C_{\text{газ}} \cdot 600 \cdot 1000;$$

$$Q'_1 = 4,91 (0,227 + 0,00002038 \cdot 600) 600 \cdot 1000 = 705\,000 \text{ ккал.}$$

2. Потеря тепла с выходящим из печи огарком, при темпе-

ратуре выходящего огарка 250° , теплоемкости его $C_{\text{огарок}} = 0,1456 + 0,000188 \cdot 250 = 0,1926$ и количестве огарка $0,75$ кг (см. материальный баланс)

$$Q_2 = 0,1926 \cdot 0,75 \cdot 250 \cdot 1000 = 36\,110 \text{ ккал.}$$

3. Потеря тепла через теплоотдачу во вне определяется по формуле (23):

$$Q_3 = F \cdot K \cdot \left(\frac{\lambda_0}{\delta} \right)^{\psi} (t_1 - t_2),$$

где F — поверхность охлаждения печи, равная 132 м^2 ;

K — время сгорания 1000 кг колчедана ($2,4$ часа);

λ_0 — коэффициент теплопроводности футеровки печи, равный $0,55$;

δ — толщина футеровки $0,35 \text{ м}$;

t_1 — средняя температура печи 510° ;

t_2 — температура окружающего воздуха 25° ;

ψ — коэффициент $0,88$;

$$Q_3 = 132 \cdot 2,4 \left(\frac{0,55}{0,35} \right)^{0,88} \cdot (510 - 25) \approx 227\,000 \text{ ккал.}$$

4. Количество тепла Q'_1 , которое должен отнять воздух, поступающий для охлаждения вала и гребков, определим по разности между приходом и расходом тепла:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + Q'_4;$$

$$1\,249\,600 + 28\,080 + 3750 + 0,312 \cdot 25 \cdot x =$$

$$= 705\,000 + 36\,110 + 227\,000 + Q'_4.$$

Воздух, поступающий в печь для охлаждения вала и гребков при температуре 25° , нагревается до 200° . Средняя теплоемкость 1 м^3 воздуха в пределах от 25 до 200° равна $0,316$. Количество поступающего воздуха — x ; отсюда:

$$Q'_4 = 0,316 \cdot 200 \cdot x.$$

Подставляя значение Q'_4 в предыдущее уравнение, получим

$$313\,320 = x(0,316 \cdot 200 - 0,312 \cdot 25);$$

$$x = \frac{313\,320}{55,4} = 5655,6 \text{ м}^3,$$

откуда:

$$Q_4 = 0,312 \cdot 25 \cdot 5655,6 = 44\,114 \text{ ккал};$$

$$Q'_4 = 0,316 \cdot 200 \cdot 5655,6 = 357\,434 \text{ ккал.}$$

Количество воздуха, поступающего в 10 -тонную печь в минуту для охлаждения вала и гребков, будет равно:

$$V_{\text{мин}} = \frac{5655,6 \cdot 10}{24 \cdot 60} = 39,27 \text{ м}^3/\text{мин. (подробно см. стр. 214).}$$

Общий баланс прихода и расхода тепла сведен в табл. 12.

Таблица 12

Приход тепла	ккал	%	Расход тепла	ккал	%
От горения колчедана	1 249 600	94,27	С печными газами	705 000	53,2
Тепло с поступающим воздухом для горения колчедана . .	28 080	2,12	С огарком	36 110	2,7
Тепло, вносимое колчеданом . .	3 750	0,28	Потеря тепла через лучеиспускание	227 000	17,1
Тепло с поступающим воздухом для охлаждения вала и гребков	44 114	3,33	Тепло с нагретым воздухом, охлаждающим вал и гребки	357 434	27,0
	1 325 544	100%	Итого	1 325 544	100%

ЛИТЕРАТУРА

1. Малин К. М., Технология серной кислоты и серы, ОНТИ, 1935.
2. Малин К. М., Технические проблемы производства серной кислоты ОНТИ, 1934.
3. Марков И., Состояние сернокислотной промышленности в капиталистических странах, ЖХП, 12 (1935).
4. Левин А. М., Сернокислотное сырье, ЖХП, 1 (1935).
5. Масленицкий И., Выплавка серы на флотационных концентратах в перегретой воде под давлением, ЖХП, 3 (1935).
6. Рысе И. Г., Журавлева Т. Г. и Суслова В. Н., Воспламеняемость колчеданов и флотационных хвостов, ЖХП, 6 (1935).
7. Рысе И. Г., Журавлева Т. Г. и Суслова В. Н., Взрывчатость колчеданно-воздушных смесей, ЖХП, 7 (1935).
8. Яшунская Ф. И., Сера из коксовых генераторных газов, ЖХП, 5 (1935).
9. Юзько С. Л., Получение серы из углистого колчедана, ЖХП (1935).
10. Лукина М. Т., Характеристика флотохвостов и пиритных концентратов Дегтяринского месторождения, ОНТИ, 1934.
11. Меньковский М. А., Технология серы ч. I (печи для получения серы из самородных серных руд), 1932; ч. II, ОНТИ, 1935.
12. „Вопросы серной промышленности СССР“, Комитет по химизации, Госхимтехиздат, Л. 1932.
13. Труды научного института по удобрениям им. Я. В. Самойлова, „Гипс и фосфорит“. Сборник статей и материалов под редакцией проф. С. И. Вольфковича, проф. И. С. Телетова и инж. А. П. Белопольского, Госхимтехиздат, Л. 1933.
14. Ильинский В. П., Пути получения соды, серы и серной кислоты из природных сульфатов. Труды соляной лаборатории Академии наук СССР, вып. 2, Изд. Академии наук, Л. 1932.
15. Ильинский В. П. и Клебанов Г. С., Проблема получения соды и серы из мирабилита с применением газовых восстановителей. Труды соляной лаборатории Академии наук СССР, вып. 2, Изд. Академии наук, Л. 1932.

16. Архаров А. А., Базанов П. И., Варшавский М. Я. и Кранц П. М., Сырье и отходы серноокислотной промышленности СССР, Госхимиздат, М. — Л. 1933.
17. Нусинов Г. О., Методы извлечения серы из промышленных газов, Госхимтехиздат, М. — Л. 1933.
18. Мулерт Ф., Сера в угле. Перевод с немецкого под редакцией Н. М. Караваева, Госхимтехиздат, М. — Л. 1932.
19. Брухгольд К., Флотационный процесс, пер. с немецкого под редакцией Г. О. Ерчиковского, ГНТИ, М. — Л. 1931.
20. Штрум С. Я., Обогащение углей, ЖХП, 6 (1934).
21. Штрум С. Я., Обогащение углистых колчеданов, ЖХП, 9 (1934).
22. Шнейерсон В. Д., Получение серной кислоты при обезвреживании дымовых газов, ЖХП, 9 (1933).
23. Штрум С. Я., Углистые колчеданы — мощный резерв серноокислотного сырья, ЖХП, 5 (1933).
24. Штрум С. Я., К итогам и перспективам обеспечения серноокислотных заводов сернистым сырьем, ЖХП, 4 (1934).
25. Кузьминых И. Н., Лукина М. Т., Наркевич М. М., Характеристика уральских флотационных колчеданов, ЖХП, 9 (1934).
26. Кузьминых И. Н., Флотационный колчедан, Свердловское обл. гос. изд., 1935.
27. Чернобаев Д., Топливо, его горение и общие методы расчета заводских печей, изд. "Сталь", Киев, 1933.
28. Окнов М. Г., Топливо и его сжигание, ГНТИ, 1931.
29. Залесский И. П., Заводские топки и печи, Госиздат, 1926.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПЕЧИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРНИСТОГО ГАЗА

Сернистые руды раньше обжигались в ручных печах, обслуживание которых требовало применения тяжелого ручного труда. Ручные печи теперь почти окончательно вышли из употребления. Применяемые в настоящее время печи для обжига сернистых руд по принципу работы можно разделить на три основных класса.

Первый класс — это механические печи, где сернистые руды сторают, передвигаясь по поверхности обжига. Этот класс печей наиболее распространен и встречается во всех областях промышленности, где производится обжиг сернистых руд как с целью получения сернистого газа, так и для выжигания серы, сопровождающей те элементы (Cu, Pb, Zn), получение которых является целью производства.

Второй класс — это печи пылевидного обжига, в которых колчедан горит на дутье в атмосфере обжига. Печи для сжигания пылевидного колчедана появились у нас и за границей лишь в последнее время, в связи с переходом металлургической промышленности на метод флотации. При этом методе в большом количестве получают так называемые флотационные хвосты, представляющие мелко измолотый колчедан и являющиеся отбросами для металлургической промышленности.

Третий класс — это вращающиеся печи. Они занимают среднее положение между первым и вторым классами.

Здесь колчедан сгорает как при своем движении по поверхности обжига (футеровка печи), так и на лету в атмосфере обжига при пересыпании. Печи этого класса для обжига колчедана начали применять за границей лишь в последнее десятилетие; в настоящее время у нас в СССР строится контактный завод, где будут установлены печи этого класса.

I. РУЧНЫЕ ПЕЧИ

До изобретения механических печей серный колчедан сжигали или в форме крупных кусков в печах-кильнях или в виде мелочи в печах Малетра и Шаффнера.

В СССР ручные печи до индустриализации имелись в большом количестве на многих заводах. Достаточно указать на то, что на Константиновском химическом заводе, производящем серной кислоты больше всех других заводов, до 1925 г. не было ни одной механической печи¹.

Печи-кильни представляют собой камеру, выложенную внутри огнеупорными кирпичами. Колчедан в форме кусков размером 50 мм располагают слоем толщиной 500—700 мм на колосниковую решетку. Чугунные колосники имеют квадратное или овальное сечение; концы колосников выходят у фронта печи наружу; с помощью ключа их можно поворачивать. Вращая колосники, удаляют нижний слой сгоревшего колчедана и через дверку забрасывают вручную новую порцию свежего колчедана. При загрузке колчедана через ту же дверку в рабочее помещение выделяется сернистый газ и рабочим приходится находиться в атмосфере этого газа при высокой температуре. Вследствие малой производительности и периодической загрузки нельзя получить при работе на одной такой печи равномерный состав газа, поэтому ставят 10—12 печей, соединяя их общим боровом в одну батарею. Газы этих печей выходят в общий боров с температурой 550—600°. Общий боров перекрывают чугунными плитами, засыпают слоем песка толщиной 30—40 мм и на песок ставят свинцовые коробки. В этих коробках камерная кислота крепостью 52°Вé концентрируется до 60°Вé. Работа на этих печах весьма тяжелая и антигигиеничная. Последние печи-кильни в СССР были заменены механическими в период первой пятилетки.

Для сжигания мелкого колчедана применяют полочные печи. На рис. 1 представлена двоянная полочная печь Шаффнера. Печь имеет ряд сводов, сделанных из огнеупорных плит. Против каждой полки находятся окна, закрываемые дверками 4. Газ через отверстие 1 верхнего свода поступает в общий боров 2. Воздух для горения колчедана поступает через нижнюю дверку 3 и последовательно проходит все этажи снизу доверху. Этим достигается нагре-

¹ Первые механические печи Геррестофа на этом заводе были установлены автором этой книги в 1925 г.

вание воздуха и охлаждение огарка. Для загрузки колчедана в печь с нижней полки вручную специальным гребком сгребают огарок. На освободившуюся полку сгребают колчедан с вышерасположенной второй полки (считая снизу). На вторую освободившуюся полку сгребают с третьей и т. д. После того как операция с перегребанием закончена, на верхнюю полку загружают из воронки свежий колчедан. При перегребании колчедана необходимо каждый раз гребками разравнивать колчедан по всей площади полки.

Печи Малетра в отличие от печей Шаффнера не имеют загрузочных воронок и загрузка колчедана производится через верхнюю дверку. В одной семиполочной печи можно сжечь от 650 до

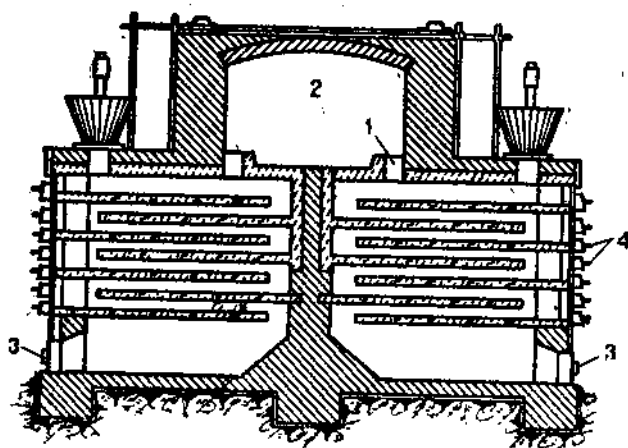


Рис. 1. Печь Шаффнера:

1—отверстие для вывода газа, 2—общий бор, 3—нижняя дверка для ввода воздуха и выгребки огарка, 4—дверки у окон.

650 кг колчедана, содержащего 45% серы. Печные газы содержат обычно 6—7% SO_2 . Полочные печи требуют применения тяжелого ручного труда; кроме того при работе на этих печах приходится находиться в атмосфере сернистого газа при высокой температуре, что крайне вредно для здоровья. Полочные печи и до настоящего времени сохранились на одном заводе в СССР.

II. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕЧИ

Механические печи являются наиболее распространенными и встречаются во всех производствах, где подвергаются обжигу серный колчедан и другие руды, содержащие серу.

Большинство конструкций этих печей представляет собой вертикальный цилиндр, склепанный из котельного железа. Печи внутри футерованы огнеупорным кирпичом; сводами из того же кирпича печи по высоте разделяются на несколько этажей. В центре печи находится вал, который в каждом этаже имеет специальные гребки, передвигающие колчедан в одних этажах от центра к пери-

ферии, а в других — наоборот. Вал и гребки охлаждаются в большинстве случаев воздухом, реже водой. Воздух для горения поступает в нижний этаж и проходит последовательно до верхнего этажа печи; колчедан же, наоборот, поступает сверху и, сгорая, выходит внизу в виде огарка. Таким образом в этих печах полностью осуществлен принцип противотока.

Производительность этих печей весьма разнообразна и колеблется в пределах от 3 до 40 т колчедана в сутки. Для обжига цинковых и медных концентратов имеются печи производительностью до 120 т и выше в сутки. Такая большая производительность достигается не только размерами печи, но и тем, что при обжиге медистых концентратов в этих печах неполностью выжигают серу.

1. Первая механическая печь Мак-Дугаль

Первая механическая печь для сжигания колчедана была предложена братьями Мак-Дугаль в Англии около 60 лет назад. Эта печь имела ряд конструктивных недостатков и в первоначальном своем оформлении не получила распространения. Вал печи (диаметром 150 мм) был цельным и не имел каналов для охлаждения, поэтому вследствие высокой температуры он быстро деформировался. Гребки привинчивались к валу и в случае их поломки необходимо было останавливать печь, ждать ее полного охлаждения и после этого внутри печи производить смену гребков. На каждом своде было по одному гребку, что вело к медленному и неполному сгоранию колчедана. Печь не имела футеровки и вследствие этого металлический кожух быстро деформировался. Несмотря на ряд недостатков печи братьев Мак-Дугаль, заслуга изобретателей велика, так как большинство современных механических печей строится по предложенному ими принципу. Усовершенствованные печи Мак-Дугаль встречаются и в настоящее время на медеплавильных заводах для обжига концентратов.

Одновременно с братьями Мак-Дугаль Спенс предложил другую конструкцию печи. Эта печь не имела центрального вала с гребками и по оформлению представляла собой печь Малетра, в которой передвижение колчедана с полки на полку производилось с помощью штанг с гребками, установленными на особой тележке. При посредстве ременной и зубчатой передач гребки получали прямолинейное движение от трансмиссии и перегребали колчедан с одного этажа на другой. Печь Спенса распространения не получила вследствие значительных преимуществ печей типа Мак-Дугаль.

Спустя 10 лет Герман Фраш значительно усовершенствовал печь типа Мак-Дугаль, предложив охлаждать водой вал и гребки, чем устранил их частую деформацию. Печь Фраша имела тот значительный недостаток, что при поломке гребков или зубьев быстрая смена их была невозможна.

В 90-х годах прошлого столетия Герресгоф (Америка) предложил механическую печь, в которой вал охлаждался воздухом и

смена гребков (в случае их поломки) производилась весьма быстро. В дальнейшем Геррессгоф усовершенствовал свою печь и в настоящее время его печи широко распространены во всех странах мира.

Наряду с печами типа Мак-Дугаль в практике обжига серных руд встречаются печи, в которых отсутствует центральный вал, а передвижение материала достигается вращением пода и неподвижными гребками или зубьями, укрепленными в сводах печи (печи Спирле, Гуиттингтона-Геберлейна). Кроме этого механические печи отличаются между собой способом охлаждения вала и гребков (воздухом или водой), конструкцией сводов и валов.

2. Механические печи Геррессгофа

Геррессгоф предложил конструкцию своей печи лишь в 90-х годах прошлого столетия и эту печь начали сейчас же применять с большим успехом на заводах, изготовляющих серную кислоту, сульфитцеллюлозу и в обжиговых цехах промышленности цветных металлов.

Как быстро вошла в практику печь Геррессгофа, можно видеть из следующих цифр. В конце 1902 г. в Америке работали около 300 печей Геррессгофа. В Европе в это же время работали и находились в постройке 103 печи: в 1906 г. работали уже 874 печи Геррессгофа; в 1908 г. 1286 печей и в 1912 г. — 1812 печей. Подобный рост наблюдался и в последующие годы до начала мировой войны, когда огромная потребность в серной кислоте побудила немецкие и американские заводы разработать не только более совершенные конструкции печей, но и печи большой производительности.

В настоящее время при постройке сернокислотных заводов большой производительности устанавливают печи, сжигающие по 10—24 т колчедана в сутки. Но на сернокислотных заводах СССР еще работают более 200 трехтонных печей Геррессгофа, поэтому мы даем здесь подробное описание этих печей. Кроме того трехтонная печь Геррессгофа вследствие простоты своей конструкции незаменима для заводов небольшой производительности.

На рис. 2 изображена в вертикальном разрезе печь Геррессгофа. Паспортная производительность печи в сутки 3 т колчедана, содержащего 43—47% серы. В настоящее время на лучших заводах у нас в СССР стахановцы добились увеличения производительности этой печи до 4—4,5 т колчедана в сутки.

Кожух печи 26 склепан из котельного железа толщиной в 6 мм. Внешний диаметр печи 3550 мм. Печь покоится на четырех опорных чугунных колонках 38. Изнутри печь обложена огнеупорным кирпичом толщиной в 200 мм. Печь имеет пять рабочих этажей и шесть сферических сводов. В центре печи находится чугунный полый вал 13, внешний диаметр которого 358 и 364 мм при толщине стенок 27 и 30 мм. Вал охлаждается воздухом, поступающим в нижний его конец через отверстия 36. Верхний конец вала для лучшей тяги соединен с вытяжной железной трубой, проходя-

щей через крышу здания. Вал печи покоится на подпятнике 11, опирающемся на чугунную станину 9. Шкив 40, приводимый в движение ременной передачей от трансмиссии, имеющей 200 об/мин, насажен на ось червяка. Червячная передача (редуктора) заклю-

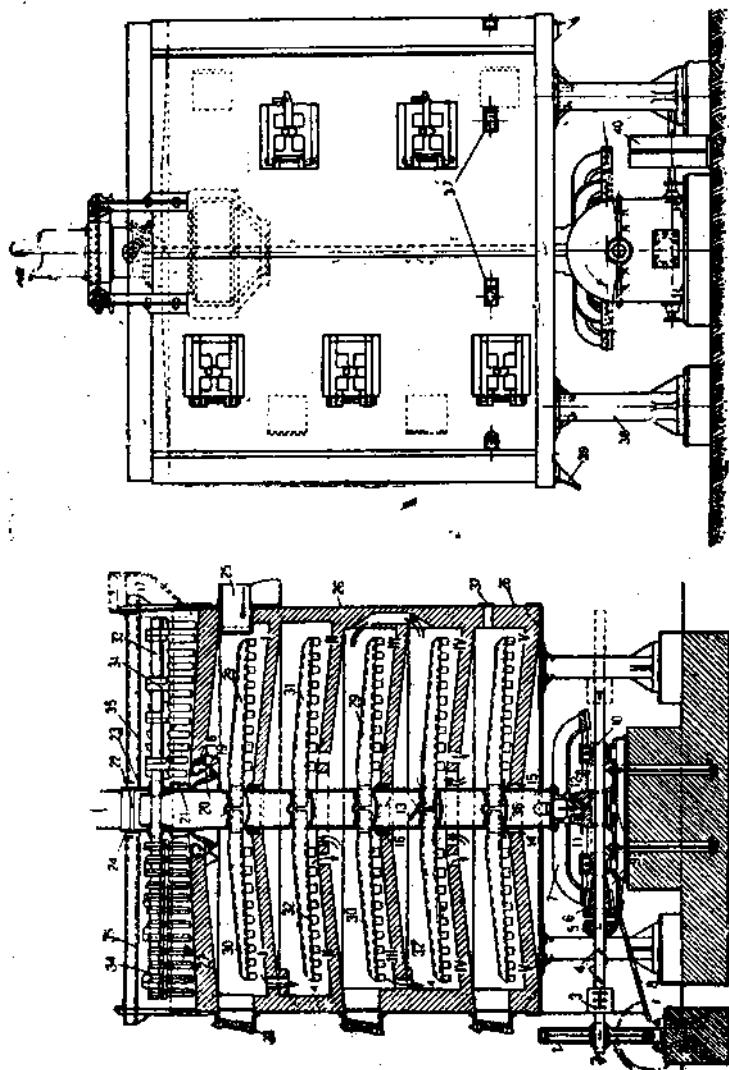


Рис. 2. Печь Геррегофа.

1—черпак, 2—первая часть вала, 3—соединительная муфта, 4—вторая часть вала, 5—сцепная муфта, 6—малая шестерня, 7—большая коническая шестерня, 8—рычаг, 9—станина, 10—подпятник, 11—подпятник, 12—труба для масла, 13—вал печи, 14—перекрыжное кольцо, 15—перекрыжное кольцо, 16—перекрыжное кольцо, 17—буфер, 18—опорное кольцо, 19—газоводная воронка, 20—регулирующий колокол, 21—соединяющее кольцо, 22—муфта, 23—чугунное кольцо, 24—стальное кольцо, 25—газоводная воронка, 26—кожух печи, 27—труба из таврового железа, 28—рабочая дверка, 29 и 31—гребень, 30 и 32—мешалка, 33—пустотелая труба, 34—верхние гребни, 35—швеллерные балки, 36—отверстия для прохода воздуха, 37—воздушные задвижки, 38—опорные колонны, 39—гечи для отара, 40—шкив.

чена в чугунную коробку, наполненную маслом. Вал редуктора 2 муфтой 3 соединен с валом 4, который вращается на двух подпятниках 10. При помощи рычага 8 вдоль оси вала 4 передвигается сцепная муфта 5, имеющая сцепление с сидящей свободно на валу малой конической шестерней 6. При передвижении

муфты 5 вправо происходит ее сцепление с шестерней 6 и последняя начинает вращаться, приводя в движение шестерню 7 и вал печи 13, вращающийся со скоростью 0,5—0,75 об/мин.

На каждом своде имеется по одному гребку и одной мешалке 29, 30, 31 и 32, конструктивно отличающихся друг от друга. На нечетных этажах гребки передвигают колчедан от центра к периферии, а на четных от периферии к центру, что зависит от

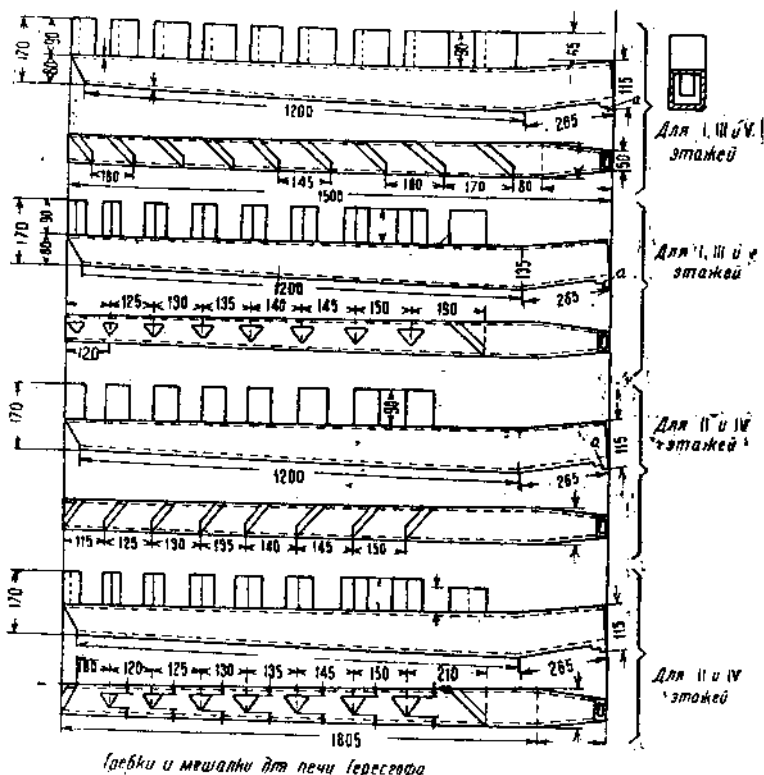


Рис. 3. Гребки и мешалки для печи Геррессгофа.

положения зубьев на гребках. Зубья гребков составляют с осью гребка (радиус печи) угол в 45° . На рис. 3 представлены гребки и мешалки для трехтонной печи Геррессгофа.

Каждый нечетный этаж печи (I, III и V) имеет по одному гребку с девятью зубьями и по одной мешалке с восемью зубьями с сечением треугольника и одним зубом, таким же как и у гребка, что сделано с целью более быстрого отребания колчедана от вала печи. Четные этажи печи (II и IV) имеют гребки с восемью зубьями, так как девятый зуб не требуется вследствие того, что у центра вала имеются отверстия для газа и сыпки колчедана. Мешалки имеют по семь зубьев с сечением треугольника и по кон-

нам снабжены двумя зубьями, назначение которых отгребать колчедан. Зуб, расположенный у периферии печи, имеет то же направление, что и у гребка, а находящийся у вала печи — обратное. При таком положении зуба у вала печи колчедан не может попасть в кольцевое пространство, предназначенное исключительно для прохода газов.

Гребки и мешалки отливаются из чугуна; вес гребка ~ 50 кг. Вследствие высокой температуры в печи гребки и мешалки деформируются, а иногда и ломаются. Смена гребков и мешалок не представляет затруднений и эта операция занимает обычно всего 20—25 мин. Для замены сломанного гребка или мешалки необходимо остановить печь таким образом, чтобы конец сломанного гребка пришелся против рабочей дверки 28 печи (рис. 2). Через эту дверку соответствующим инструментом приподнимают сломанный конец гребка или мешалки, вследствие чего маленький выступ *a* (рис. 3), находящийся на конце гребка или мешалки, выйдет из паз *b* (рис. 4). После этого гребок или мешалку легко вынимают из гнезда вала. Новый гребок или мешалку вставляют приподнятыми. Когда выступ *a* (рис. 3) попадет в паз *b* (рис. 2 и 4), гребок под действием собственного веса опустится; он не может уже вынестись из гнезда вала. Сквозное гнездо для гребка и мешалки не занимает всей площади поперечного сечения вала, а лишь часть ее. Оставшиеся два сегмента служат для прохода воздуха, охлаждающего вал.

Питание печи колчеданом производится через бункер 17 (рис. 2), находящийся у периферии печи. Двумя гребками 34, укрепленными в верхней части вала печи, колчедан передвигается к центру печи и через питатель (описание питателя см. ниже) попадает на первый рабочий свод печи. С этого свода колчедан передвигается гребком от центра печи к периферии и ссыпается через отверстия у периферии в следующий нижележащий этаж. В сводах I и III имеются четыре отверстия, через которые колчедан просыпается в нижние этажи. На втором и четвертом этажах (своды II и IV) колчедан передвигается от периферии к центру печи и через три отверстия в каждом своде ссыпается на нижеследующие этажи, т. е. на III и IV. На пятом (последнем) своде обожженный колчедан (огарок) ссыпается у периферии печи через точку 39 в вагонетку или на транспортер и удаляется на свалку. Между валом печи и сводами I и II имеются кольца 16, препятствующие попаданию колчедана в зазоры между валом печи и сводами; кольца эти укреплены на валу 13. В нижнем этаже кольцо 15 устроено иначе: оно укреплено в самом своде, а выше него на валу установлено кольцо 14, образующее с кольцом 15 затвор, препятствующий проникновению газа во внешнюю атмосферу и засасыванию воздуха в печь.

Верхние гребки, передвигающие колчедан по нулевому (сушильному) своду, и питатель устроены следующим образом (рис. 4). На пустотелую трубу 33, проходящую через чугунную муфту 22,

надеты чугунные кольца с пластинами 36. К этим пластинам прикреплены зубья 27 из таврового железа под углом в 45° к оси трубы, вследствие чего при вращении гребков колчедан и перемещается от периферии печи в центр к питателю. На двух швеллерных балках 35, прикрепленных к кожуху печи, укреплено неподвижно чугунное кольцо 23. Это кольцо имеет выемку, в которую вложено стальное кольцо 24, составленное из двух половинок. Чугунная муфта 22 при помощи выступа подвешена на стальное кольцо 24. На нижнюю часть муфты 22 подвешено связывающее кольцо 21, имеющее сечение швеллера и удерживающее регулирующий колокол 20. Следовательно верхние гребки и весь питательный механизм удерживаются стальным кольцом 24, покоящимся в гнезде чугунного кольца 23, которое закреплено в швеллерных балках 35.

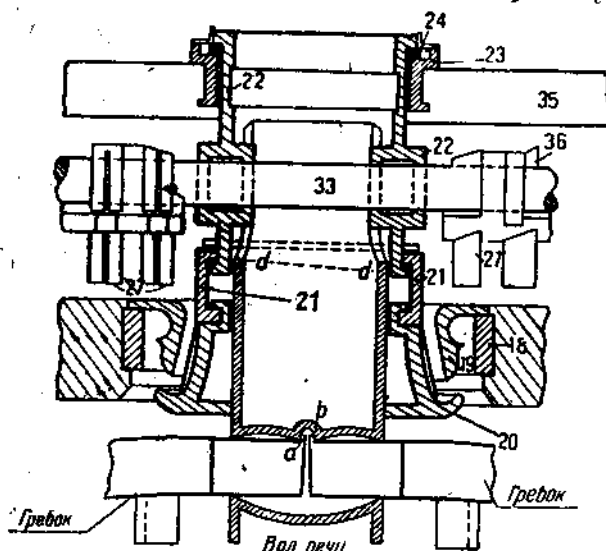


Рис. 4. Питатель печи Герресгофа:

а—выступ на гребке, б—паз, d—линия подъема кольца 21, 18—опорное кольцо, 19—загрузочная воронка, 20—регулирующий колокол, 21—кольцо, 22—муфта, 23—неподвижное кольцо, 24—стальное кольцо, 27—зубья, 33—пустотелая труба, 35—швеллерные балки, 36—кольца с пластинами.

приподнять или опустить висящий на нем колокол 20, вследствие чего пропускное отверстие для колчедана между колоколом 20 и загрузочной воронкой 19 уменьшится или увеличится, соответственно чему и изменится подача колчедана в печь. Загрузочная воронка 19 покоится на опорном кольце 18, вделанном в нулевой свод. Для горения колчедана внешний воздух поступает через восемь отверстий, расположенных в нижнем этаже печи. Эти отверстия закрываются и регулируются маленькими шиберами 37 (регистрами) (рис. 2). Газовая смесь, образовавшаяся при сгорании колчедана, поступает с пятого этажа печи через кольцевое отверстие в своде в четвертый, а из него через каналы, находящиеся в футеровке печи, в третий этаж. Таких каналов для газовой смеси в кольцевом сечении печи имеется 20. С третьего этажа печи газо-

Кольцо 21 может подниматься и опускаться, для этого на чугунной муфте 22 имеется выступ, верхняя плоскость которого расположена по винтовой линии (на рис. 4 эта плоскость обозначена пунктирной линией *da*).

При вращении кольца 21 можно

механизмом является описанный выше питатель. Даже при периодической подаче колчедана на печь, но при небольших дозах (50—60 кг), подача колчедана этим питателем в печь происходит настолько равномерно, что концентрация сернистого газа в газовой смеси остается все время постоянной.

Газовая смесь по выходе из печи поступает в газоотводную коробку, имеющую в нижней части карман, закрываемый специальным шибером; этот карман служит собирателем пыли при выходе газа из печи и по мере накопления в нем пыли периодически опорожняется открыванием шибера.

Описанная трехтонная печь имеет диаметр 3550 мм и высоту 4825 мм. Высота свободного пространства под печью 1200 мм; последнее необходимо для осмотра и ремонта всего приводного механизма печи.

Для печи требуется 3431 шт. фасонного огнеупорного кирпича (37 различных фасонов) весом около 55 т. Кладка кирпича производится на растворе из огнеупорной глины с добавкой шамота тонкого помола в количестве 35—50%. Верхний так называемый нулевой свод служит для подсушивания свежепоступающего колчедана за счет тепла в первом этаже. Расход силы на вращение вала с гребками печи Герресгофа составляет от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ л. с. Температура выходящего газа из печи 550—620°, а огарка 200—250°.

Огарок по выходе из печи содержит 1,2—1,8% серы. Температура вала и гребков 400—425°. Температура в первом этаже печи 550—575°; во втором 620—640°; в третьем 470—490°; в четвертом 360—385°; в пятом 250—270°.

Площадь рабочих сводов трехтонной печи равна 37 м². На 1 м² свода при сжигании 3 т колчедана в сутки сгорает 81 кг колчедана, считая лишь пять рабочих сводов без нулевого (сушильного). При нормально работающей печи колчедан по сводам содержит следующее количество серы: на первом своде 45%, на втором 34—35%, на третьем 15—16%, на четвертом 3—4%, на пятом 2—2,5%; количество серы в огарке 1—2%. Время пребывания в печи 6—7 час.

В дальнейшем Герресгоф сделал попытку увеличить производительность печи путем увеличения ее размеров и числа этажей. Семиэтажная печь Герресгофа диаметром 4000 мм и высотой 6000 мм была установлена на одном из наших заводов: производительность печи гарантировалась 7,5 т. Гребки печи и вал конструктивно не отличались от трехтонной печи, т. е. вал охлаждался лишь естественной тягой, а гребки совершенно не охлаждались. В этой печи с увеличением производительности повышалась и температура в ней, вследствие чего гребки постоянно ломались и производительность печи приходилось снижать.

В новейших своих конструкциях Герресгоф начал применять искусственное охлаждение вала и гребков и его печи нашли широкое применение в Америке; у нас эти печи применяются в цветной промышленности.

3. 10-тонная печь Гумбольдта¹

10-тонные печи Гумбольдта по принципу работы не отличаются от печей Герресгофа. Они имеют семь этажей и ряд конструктивных особенностей, к которым относятся: 1) охлаждение вала и гребков в печи воздухом, нагнетаемым вентилятором, и 2) съемные зубья гребков.

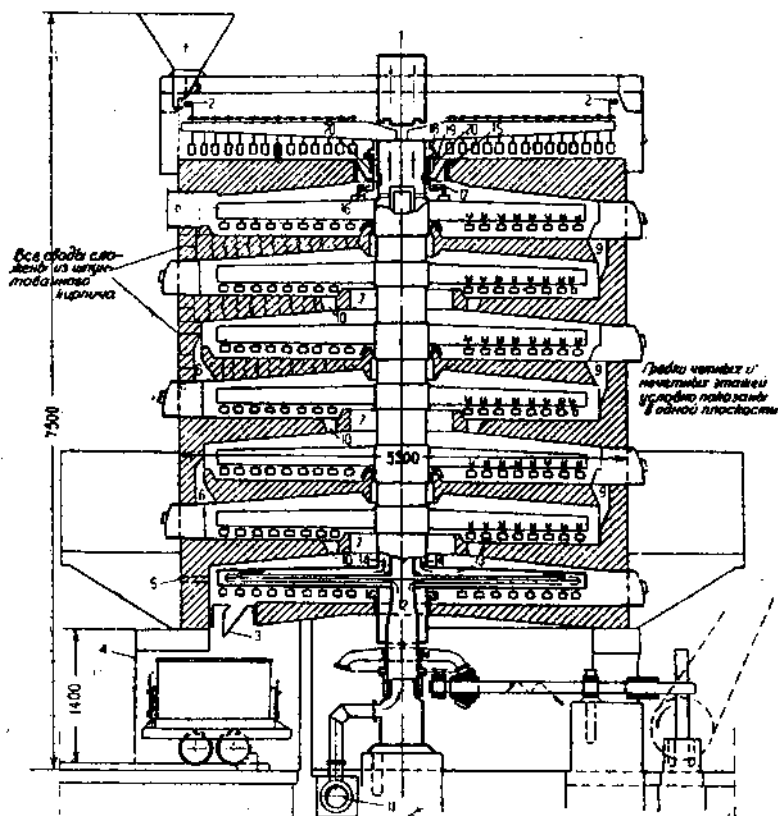


Рис. 6. 10-тонная печь Гумбольдта:

1—бункер для колчедана, 2—палец для сгребания колчедана, 3—течка, 4—дверка, 5—воздушники, 6—газовые каналы, 7—кольцевые отверстия для прохода газа, 8—патрубок для отвода газа из печи, 9 и 10—каналы для колчедана, 11—труба для воздуха, 12—центральная часть вала, 13—трубы для воздуха, 14—внешняя часть вала, 15—воронка питателя, 16—позка питателя, 17—палец для сгребания колчедана, 18—чугунное кольцо, 19—глухарь, 20—кольцо.

10-тонная печь Гумбольдта первоначальной конструкции представлена на рис. 6.

Печь имеет семь этажей, не считая верхнего, служащего для подсушивания колчедана. Колчедан подается в бункер 1, из которого пальцем 2, закрепленным на верхнем гребке, сгребается на

¹ Конструкция 1920 г.

сушильный свод, и теми же гребками передвигается от периферии к валу печи, где находится кольцевой питатель. С сушильного свода колчедан поступает на первый рабочий свод, где передвигается от центра к периферии печи. Дальнейшее перемещение совершается так же, как и в печи Геррессофа.

Огарок удаляется через точку 3 в вагонетку, находящуюся в камере, закрываемой железной дверкой 4. Закрытые камеры для вагонеток делаются под всеми печами, так как это предохраняет рабочее помещение от пыли, которая в значительном количестве выделяется при высыпании огарка через точку. Воздух, необходимый для процесса горения колчедана, поступает через отверстия 5, закрываемые регистрами. Отверстия 5 находятся в нижнем этаже печи и расположены по ее периферии. Для прохода газа в выше лежащие этажи в нечетных сводах (I, III, V) имеются каналы 6, расположенные на периферии печи. Кольцевые отверстия 7 в четных сводах (II, IV, VI) также служат для прохода газов в выше лежащие этажи. Газ из печи через патрубок 8 поступает в общий для всех печей коллектор для газа. Для пересыпания колчедана с одного свода на другой в нечетных этажах имеются каналы 9, а в четных каналы 10. Вал и гребки охлаждаются воздухом, который нагнетается вентилятором в трубу 11; из трубы 11 воздух поступает в центральную часть вала 12 и трубки 13, находящейся внутри гребков. Пройдя трубки 13, воздух через отверстия на концах трубок поступает в пространство между трубками и гребками, охлаждает их и выходит во внешний цилиндр 14 вала, охлаждая также и вал печи. Нагретый воздух с температурой $\sim 200^{\circ}$ выходит через верхний конец вала. Этот воздух отводят через крышу цеха в атмосферу или же он используется для отопления. Вентилятор нагнетает в час для охлаждения вала и гребков 4000 м³ воздуха, забираемого вентилятором вне помещения.

Питатель печи состоит из неподвижной воронки 15, укрепленной на сушильном своде. Из воронки колчедан падает на полку 16 и сгребается в первый этаж специальным пальцем 17. Выше воронки к валу печи крепится чугунное кольцо 18, к которому глухарями 19 привертывается кольцо 20, образующее затвор и способствующее просыпанию колчедана из воронки на полку 16. Кольца 18, 20 и палец 17 вращаются совместно с валом печи. Гребки печи вставлены в специальные гнезда вала. Внутри гребка находится труба, через которую пропущен длинный болт, проходящий через оба гребка и вал печи. Болт расположен по оси труб; на концах его имеются гайки, которыми закрепляются гребки. Движение воздуха, охлаждающего вал и гребки, показано стрелками на рис. 6 и 7.

Гребки имеют съемные зубья, которые подвешиваются на приливах 1 (рис. 8). В полукруглое углубление каждого двух приливов вставляется цилиндрический стержень зуба 2. Острок зуба 3 при движении гребка обхватывает его тело и придает зубу необходимую устойчивость. Замена потоманного зуба производится весьма просто: для этого временно останавливают вращение вала и через дверку печи специальной штангой зацепляют зуб за от-

верстие 4, приподнимают несколько вверх, отросток 3 выходит из-под гребка и легко снимается из своего гнезда. Количество зубьев на гребках различно — один из гребков нечетных сводов печи имеет 14, а другой 15 зубьев. Оба гребка четных сводов имеют по 12 зубьев. Вставленные зубья занимают по отношению к оси гребка несколько скошенное положение, вследствие чего колчедан перегребается от вала к периферии, или наоборот. Зубья на четных сводах имеют перекос в другую сторону, чем зубья на нечетных сводах. На гребках нечетных сводов зубья по мере приближения к валу имеют несколько больший перекос, чем остальные, что сделано для того, чтобы ускорить процесс отгребания колчедана от вала и не давать накапливаться у вала толстому слою колчедана. На нечетных сводах на одном гребке ставится пять типов зубьев, а на другом гребке четыре типа. На четном своде — на одном гребке один тип, а на втором гребке два типа зубьев.



Рис. 7. Крепление гребков на валу.

Высота печи без загрузочного бункера 6800 мм; высота свободного пространства под печью 1200 мм; наружный диаметр печи 5500 мм; диаметр вала 500 мм. Стенки и своды выложены из фасонного огнеупорного кирпича; толщина стен печи 250 мм. Вся печь заключена в кожух, сделанный из котельного железа толщиной 6 мм. Центральный вал печи делает 1 оборот в 1,5—2 мин.

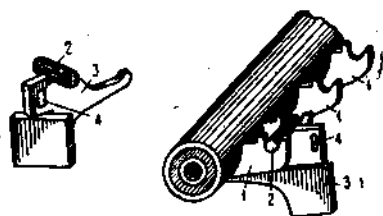


Рис. 8. Подвеска зубьев на гребках:

1—прилик для подвески зубьев, 2—стержень зуба, 3—упор зуба, 4—отверстие для снятия зуба.

Расход мощности на вращение вала и гребков 3,5 л. с. Обычно 3—4 печи приводятся в движение одним мотором от трансмиссии. Для подачи воздуха для охлаждения вала и гребков устанавливают вентилятор производительностью 4000—4500 м³/час при давлении в 200 мм вод. ст.

Общая площадь рабочих сводов 114 м². Таким образом на 1 м² поверхности пода сгорает в сутки $\frac{10 \cdot 1000}{114} = 87$ кг 45%-ного колчедана.

При интенсивной работе печь может сжигать 120 кг колчедана (в пересчете на 45%-ный) в сутки на 1 м².

Описанная конструкция печи имеет следующие недостатки:

1. Перекрывные кольца у вала на нечетных этажах довольно часто перегорают, вследствие чего приходится останавливать и охлаждать печь для установки новых колец.

2. При слишком горячем ходе печи или при плохом охлажде-

нии, вследствие расширения стягивающих болтов, гребки прогибаются и изгибают внутреннюю трубу и болты.

3. Гайки, стягивающие болты в гребках, обычно пригорают настолько сильно, что отвинтить их не представляется возможным; гайки приходится срубить, что связано с большими трудностями и потерей времени.

4. Шпунтовая керамика в сводах затрудняет футеровку и удорожает стоимость изготовления керамики и ее монтажа, не давая никакого преимущества против обычной керамики без шпунта.

5. Конструкция установки пальца для сбрасывания колчедана с питателя не позволяет производить регулирование количества загружаемого колчедана во время работы печи. Кроме этого при поломке сбрасывающего пальца для его замены необходимо останавливать печь.

В последующих конструкциях этих печей, как мы увидим ниже эти недостатки устранены.

4. Печь „Г“

Печь типа «Г» запроектировала в СССР и изготавливается Сумским машиностроительным заводом Химмаштреста. На рис. 9 представлены общий вид и вертикальный разрез печи «Г».

Паспортная производительность печи 10 т колчедана в сутки: она имеет семь рабочих сводов и восьмой сушильный. Печь «Г» принадлежит к печам с воздушным охлаждением вала и гребков. Диаметр печи 5450 мм, высота 7000 мм, а вместе с загрузочным бункером 8145 мм.

Печь установлена на забетонированных двутавровых балках, представляющих как бы одно массивное кольцо, которое, в свою очередь, опирается на кольцевой кирпичный или бетонный фундамент. В центре печи находится полый чугунный вал 10 диаметром 510 мм. Вал состоит из двух чугунных половин, плотно соединенных между собой прессовой насадкой. В нижней части вала имеется внутренний цилиндр, а в верхней — квадратная призма.

Воздух для охлаждения вала и гребков нагнетается вентилятором во внутренний цилиндр и призму, откуда он поступает в гребки, из них в кольцевое пространство между внешним цилиндром и внутренней призмой. Нагретый воздух выходит через верх вала в трубу, соединяющую вал печи с внешней атмосферой. Подача колчедана на верхний свод печи и движение газа и колчедана по всем этажам не отличаются от движения газа и колчедана в других механических печах, описанных выше. На периферии нечетных сводов имеются по 24 отверстия 5, края которых приподняты выступом 7 над уровнем свода на 113 мм. Эти отверстия предназначены для прохода газа. Между этими отверстиями имеются восемь отверстий 4 (290 × 275 мм), предназначенных для пересыпания колчедана. На четных сводах для прохода газа служит центральное кольцевое отверстие 9 диаметром 1,2 м; оно окружено бортиком, препятствующим колчедану просыпаться через

центральное отверстие. Для пересыпания колчедана в этих сводах имеются восемь отверстий 8 без бортика.

Устройство отдельных отверстий для газа и колчедана имеет целью снизить содержание пыли в газах, так как газы не будут встречаться в каналах с пересыпающимся им навстречу колчедана.

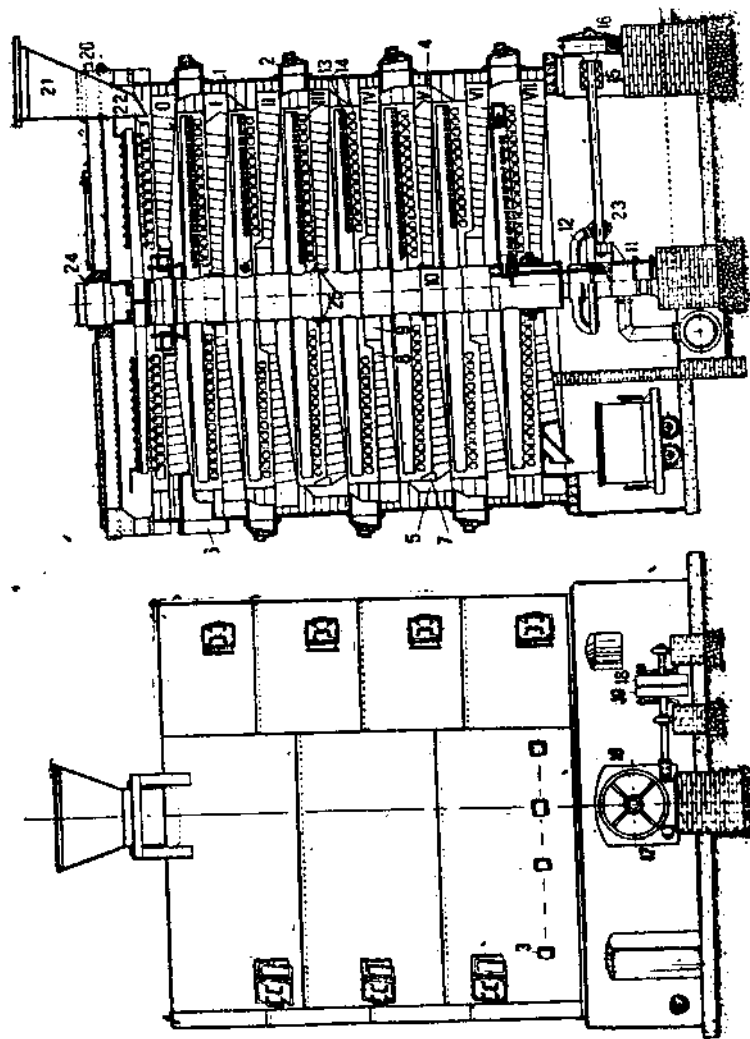


Рис. 9. Печь „Г“.

1—кожух, 2—дверка, 3—воздушник, 4—отверстие для пересыпания колчедана, 5—отверстие для газа, 6—патрубок для выхода газа, 7—выступ, 8—отверстие для колчедана, 9—отверстие для газа, 10—вал, 11—подшипник, 12—большая шестерня, 13—гребень, 14—лопатки, 15—хуфта, 16—редуктор, 17—червячное колесо, 18 и 19—работный и холостой шкивы, 20—рама печи, 21—бункер, 22—лопатка сужающего свода, 23—малая шестерня, 24—неподвижная направляющая, 25—чугунное кольцо.

ном и поэтому не будут увлекать много пыли. Но такое устройство имеет также и свои недостатки, особенно заметные при работе на флотационном колчедане. Чтобы газ не шел через отверстия для колчедана, их делают небольшого размера, и они часто зарастают коркой спекшегося недогоревшего колчедана; это нарушает режим печи, пересыпка колчедана с полки на полку затрудняется

и в результате своды набиваются горячим огарком, забивающим также и газовые отверстия. Печь неравномерно горит и гребки ломаются.

Огарок из печи по течке в нижнем своде поступает в вагонетку или на транспортер, который располагают вдоль всех печей.

Конструкция гребков и зубьев этой печи тождественна с гребками 10-тонной печи Гумбольдта, описанной выше. Нижняя опора печи представлена на рис. 10. На бетонный фундамент опирается фундаментная плита 11 с четырьмя отверстиями для анкерных болтов. На этой плите по-

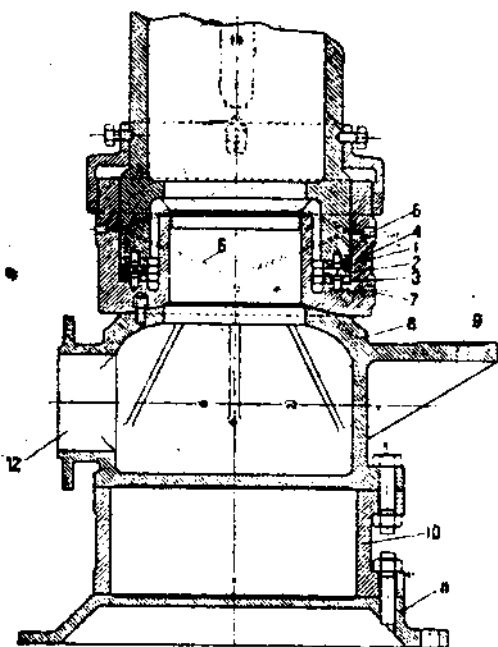


Рис. 10. Опора вала печи „Г“:

1, 2, 3—кольца, 4—подпятник, 5—канавка для смазки, 6—гнезда для штафера, 7—отверстия для спуска отработанного масла, 8—опоры, 9—кронштейн, 10—чугунное кольцо, 11—фундаментная плита, 12—штуцер для воздуха.

конится чугунное кольцо 10, на котором устанавливается опора подпятника 8. Опора подпятника имеет сбоку штуцер 12 для прохода воздуха, нагнетаемого вентилятором для охлаждения вала и гребков. Вал печи опирается нижним концом на плоские кольца 1, 2 и 3. Эти кольца лежат в чугунном стакане 4, называемом подпятником вала. Кольцо 1 прикреплено шпильками к торцу вала. Кольцо 3 прикреплено к опорной поверхности подпятника. Оба кольца сделаны из стали. Между этими кольцами находится третье свободное бронзовое кольцо 2. Бронзовое кольцо и боковые стенки опоры имеют канавки для проникновения смазочного масла, которое вводится через два отверстия 6 в стенке подпятника. Кольца 1, 2, 3 должны быть точно выступающий сбоку кронштейн для подшипник для вала малой

обработаны. Тело подпятника имеет штейн 9, на который устанавливается пестерни.

Подпятник 4 представляет собой чугунную отливку диаметром 440 мм со сферическим торцом. Опора подпятника 8 имеет также сферическую поверхность, совпадающую с поверхностью подпятника. Свободная посадка подпятника на сферическую поверхность опоры дает возможность компенсации эксцентриситета, получающегося от неточной отливки и установки вала по вертикали, что особо важно, так как верх вала в этих печах имеет неподвижное направление.

Приводимый механизм для вращения вала печи состоит из следующих деталей (рис. 9): стального разъемного и из двух половин зубчатого колеса 12 диаметром 1327 мм ($z=88$), конической стальной шестерни 23 диаметром 330 мм ($z=22$), вала диаметром 100 мм, соединяющего коническую шестерню с редуктором 16, и редуктора, состоящего из чугунного червячного колеса 17 с бронзовым ободом диаметром 650 мм ($z=50$) и стального двухходового червяка диаметром 90 мм.

Вал и гребки печи делают 0,75 об/мин, коническая шестерня и червячное колесо 3 об/мин, червяк 75 об/мин. Редуктор обычно соединяют с контрприводом, имеющим рабочий и холостой шкивы 18 и 19. Расход воздуха для охлаждения вала и гребков в печи составляет 60 м³/мин при давлении 200 мм вод. ст. Вентилятор устанавливают обычно общий для четырех печей; для его вращения на одном валу с ним устанавливают мотор мощностью 14 кВт.

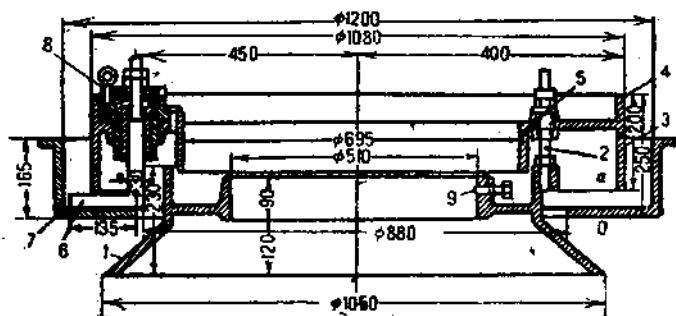


Рис. 11. Питатель печи „Г“:

1—колокол, 2—шпильки, 3, 4 и 5—разъемное кольцо (колпак), 6—сбрасывающий нож, 7—неподвижная тарелка, 8—болт, 9—шпурцы.

Установка в вертикальном положении верхнего конца вала производится неподвижной направляющей 24, устанавливаемой в верхней раме. В каждом нечетном своде устанавливается чугунное кольцо 25; зазор между этим кольцом и валом делается всего лишь 3—4 мм, что достигается обработкой кольца 25 и вала в той части, где кольцо соприкасается с валом. Весьма малый зазор препятствует просыпанию колчедана между валом и нечетными сводами, а также сводит до минимума и подсос воздуха в этих местах. Уплотняющие кольца восьмого нижнего свода выполнены в виде песочного затвора.

На верхнем так называемом сушильном своде у вала устанавливается питатель, представленный на рис. 11. Питатель состоит из колокола 1, распирающегося книзу, из сбрасывающего ножа 6, колпака 3, 4 и 5 и неподвижной тарелки 7, заделанной в сушильный свод. Колокол закрепляется на валу печи шпурцами 9, а разъемное кольцо (колпак) на колоколе шестью шпильками 2. Колокол, колпак и сбрасывающий нож вращаются вместе с валом.

При этом движении сбрасывающий нож сгребает колчедан с нижней полки неподвижной тарелки на первый рабочий свод. Колчедан поступает с сушильного свода на полку через кольцевое пространство между колпаком и неподвижной тарелкой.

Для сбрасывания колчедана с неподвижной коробки обычно ставят два ножа. Болтом 8 можно поворачивать нож, регулируя этим количество сбрасываемого колчедана. Вертикальное расстояние между разъемным кольцом (колпаком) питателя и неподвижной тарелкой может быть увеличено или уменьшено шпильками 2. Но, как показала практика, резьба шпилек часто «загорает» и становится невозможным менять это расстояние. Кроме того наблюдается быстрый износ ножей и резьбы у болтов 8. Все это с течением времени делает невозможным производить регулировку подачи колчедана в печь и во время работы печей при слабой тяге наблюдается выбивание газа из печи через питатель. Во избежание этого устанавливают на колпак питателя манжет из 4—5-мм железа. Манжет делается разъемным на болтах, его можно легко опускать и поднимать и этим самым изменять вертикальное расстояние между манжетом и нижней полкой неподвижной тарелки, а следовательно и регулировать подачу колчедана в печь. Хотя манжеты и быстро изнашиваются, но это не причиняет особых неудобств, так как изготовление и установка манжет весьма просты.

Вес металлических частей печи 21 т, вес шамота 110 т, что составляет на 1 м² свода 196 кг металлических частей и 1030 кг шамота.

Площадь рабочих сводов печи «Г» равна 107 м², при паспортной производительности печи в 10 т на 1 м² рабочих сводов сгорает 45%-ного колчедана $10 \cdot 1000 : 107 = 93.5$ кг в сутки. Почти на всех заводах СССР производительность этой печи выше ее паспортной мощности. В настоящее время на некоторых заводах в отдельных печах сжигается 16—17 т колчедана в сутки.

На отраслевой конференции в 1935 г. установлено, что в печи этой конструкции можно сжигать 135 кг на 1 м² в сутки.

Повышение производительности печи сопровождалось следующими изменениями, вносимыми в типовую печь «Г»: 1) увеличением числа оборотов вала печи на 30—50%; 2) изменением в верхних этажах печи угла поворота лопаток по отношению к оси гребков таким образом, чтобы этот поворот способствовал увеличению скорости прохождения колчедана в этих этажах; 3) установкой вентиляторов большей мощности для охлаждения вала гребков.

При увеличении числа оборотов вала печи и изменении угла поворота лопаток процесс обжига колчедана растягивается почти по всем этажам печи, вследствие чего спекания колчедана в верхних этажах печи не происходит.

Увеличение же мощности вентилятора (см. стр. 214 и 297) для охлаждения вала и гребков позволяет отнимать избыточное тепло, развиваемое при сжигании большого количества колчедана, вслед-

ствии чего понижается температура в печи и не происходит спекания колчедана.

Печь «Г» имеет ряд конструктивных недостатков, из которых наиболее существенными являются:

1. Заедание болтов и шпилек в питателе, вследствие чего затрудняется регулирование подачи колчедана в печь.

2. Недостаточно большое поперечное сечение вала, препятствующее дальнейшему увеличению производительности печи.

3. Соединение двух частей вала прессовой посадкой, что на практике при поломке одной части вала приводит к выбрасыванию всего вала.

Слабым местом в самой конструкции вала является утолщенная часть вала внизу. В этом месте при отливке вала часто образуются трещины, что обычно служит причиной поломки вала.

4. Соединение двух рабочих гребков железными тягами при разогреве печи приводит к опусканию гребков, а при поломке гребка железная тяга, если печь быстро не остановить, обкручивается вокруг вала. Раскручивание тяги и замена гребка являются в таком случае весьма трудным делом.

5. Неподвижное крепление верхнего конца вала при неточной отливке вала или неточной его установке по вертикали приводит к истиранию зубьев у шестерен и к их поломке.

6. Ввод воздуха в вал под углом в 90° создает ненужное добавочное сопротивление его проходу.

7. Установка одного бронзового кольца в подпятнике между двумя стальными ведет к быстрому истиранию бронзового кольца, так как оно подвергается истиранию с двух сторон. В печах последней конструкции делают два бронзовых кольца и одно стальное; в этом случае срок службы бронзовых колец увеличивается вдвое, так как они подвергаются истиранию лишь с одной стороны.

8. Пропуск газа питателем. Преимущества печей, работающих на ВХЗ (Воскресенском химическом заводе), побудило Гипрохим внести ряд изменений в конструкцию печей «Г».

В реконструированной печи «Г» конструкция вала печи и гнезда для гребков сделана такая же, как и в печи типа ВХЗ, за исключением нижней части вала, соединяющейся с подпятником. Вал состоит из двух частей, соединенных болтами. Взамен верхнего неподвижного направляющего кольца установлены направляющие ролики. Конструкция гребков вполне аналогична нижеописанной для печи типа ВХЗ. Подвод воздуха для охлаждения вала и гребков сделан снизу подпятника.

В последнем типе печи, запроектированном Гипрохимом, увеличена площадь поперечного сечения вала. Значительно улучшены конструкции подпятника, приводного механизма и питателя. Эта печь по конструкции почти тождественна с нижеописанной печью типа ВХЗ и отличается от последней лишь размерами. Поэтому устанавливать печи типа «Г» старой конструкции и даже реконструированные в настоящее время нецелесообразно.

5. Печь ВХЗ

Общий вид печи ВХЗ представлен на рис. 12. Мы даем более подробное описание этой печи, так как она отличается от работающих в СССР механических печей не только большей производительностью, но и рядом конструктивных преимуществ перед

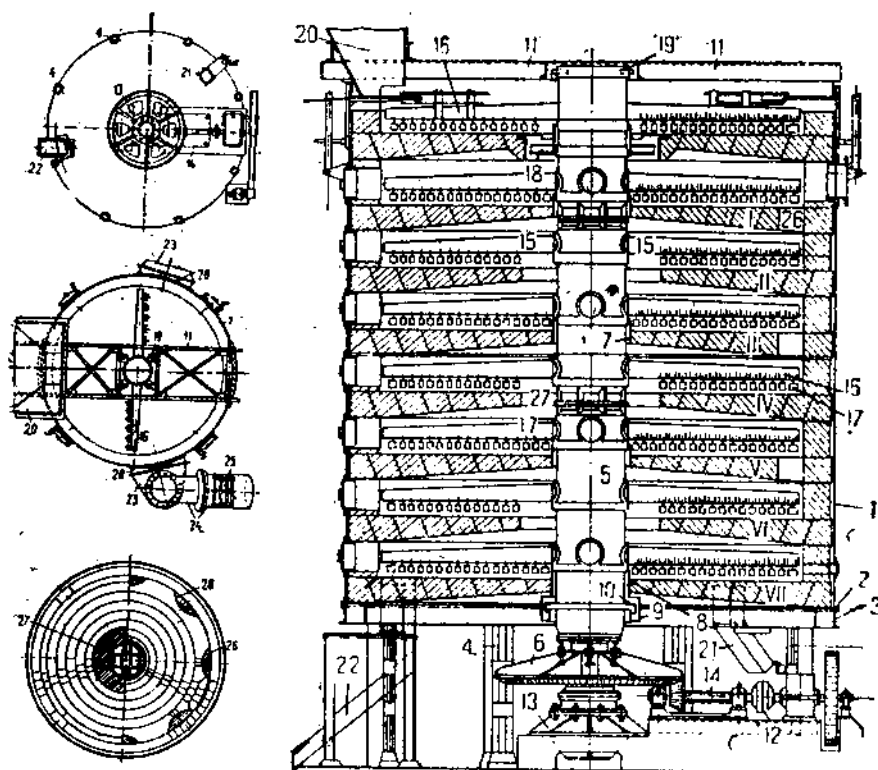


Рис. 12. Печь ВХЗ:

1—кожух, 2—опорное кольцо, 3—рама, 4—колонны, 5—вал печи, 6—большая шестерня, 7—сводное чугунное кольцо, 8—нижнее сводное кольцо, 9 и 10—нижние кольца песочного затвора, 11—верхняя рама, 12—соединительная муфта, 13—опорная плита, 14—вал малой шестерни, 15—гребки, 16—ребки сушильного свода, 17—лопатки (зубья), 18—тарельчатый питатель, 19—направляющие рольки, 20—бункер, 21 и 22—течки для огарка, 23—коробка для выхода газа, 24—коробка в общем газопотоку, 25—щабер, 26—каналы для газа и колчедана, 27—кольцевое отверстие, 28—патрубок.

другими. Печи этой конструкции приняты как типовые и в настоящее время работают на многих сернистокислотных заводах.

Высота железного кожуха печи 6110 мм, наружный диаметр 6034 мм, внутренний 5350 мм. Печь имеет сушильный свод и семь рабочих сводов с общей поверхностью обжига 143,5 м².

Печь состоит из железного кожуха 1, футерованного внутри огнеупорным кирпичом. Железный кожух изготовлен из котельного железа, сваренного электросваркой. К нижней части кожуха приварено опорное кольцо 2 из углового железа. Этим кольцом кожух опирается на солидную кольцевую вклепаную раму 3, сделанную из двух швеллеров, перекрытых сплошным кольцом из листового железа. Опорное кольцо кожуха устанавливается над наружным швеллером и крепится к нему болтами; остальная часть рамы внутри кожуха остается свободной и служит опорой для первого ряда футеровочных камней. Опорная рама кожуха укреплена при помощи болтов на восьми фундаментных колоннах 4. В центре печи установлен вал 5. Этот вал представлен на рис. 13.

Вал состоит из трех отдельных частей, соединенных между собой болтами на фланцах. Вал в местах соединения загнут и поэтому фланцы не выходят из габарита вала. Вал после соединения трех частей имеет две полости: внутреннюю 1 и внешнюю 2. Внутренняя полость имеет цилиндрическую форму лишь в своей нижней части, которая постепенно переходит в форму прямоугольной призмы квадратного сечения; внешняя полость представляет в поперечном сечении кольцо. Обе части вала — внутренняя и наружная — соединены между собой внутренними несплошными ребрами 3 и приливами цилиндрической формы 4, служащими опорами для гребков. Внутренняя полость вала перекрыта в своем верхнем конце, нижний же ее конец открыт и служит для приема холодного воздуха, необходимого для охлаждения как самого вала, так и гребков. Наружная кольцевая полость вала, наоборот, перекрыта в своей нижней части и открыта вверху для выхода наружу нагретого воздуха.

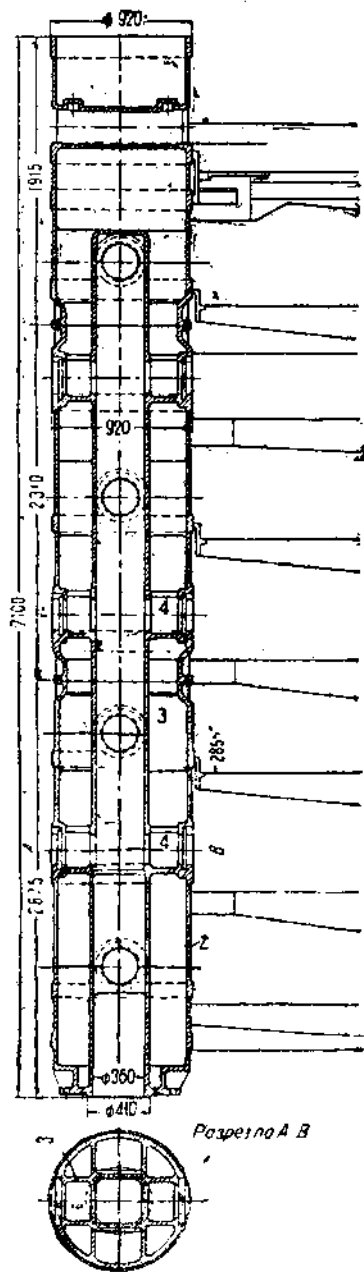


Рис. 13. Вал печи:

1—внутренняя часть вала, 2—внешняя часть вала, 3—соединяющие ребра, 4—гнезда для гребков.

Нижняя часть вала при помощи болтов соединена со стальной цилиндрической подвижной вставкой 1 (рис. 14), которая входит во втулку приводной шестерни и соединяется с ней при помощи двух врезных шпонок 2. Шестерня имеет у верхнего и нижнего конца ступицы кольцевые приливы. В верхнем кольцевом приливе имеется шесть отверстий с трапециевидальной резьбой; в эти отверстия завернуты шпильки 3, служащие опорами для вала. Этими

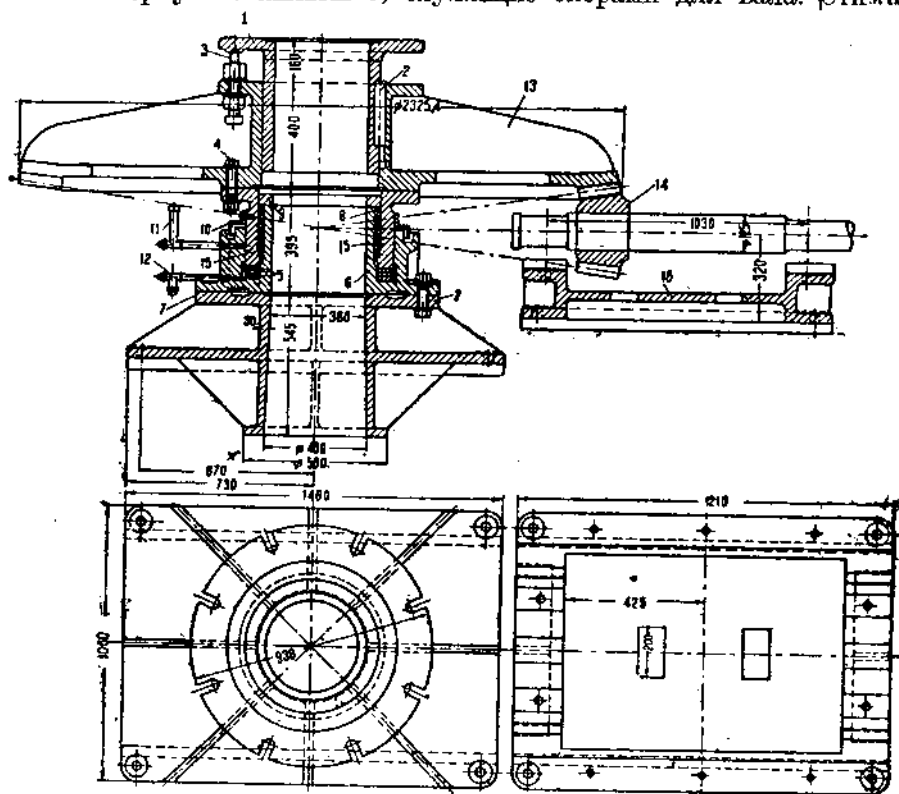


Рис. 14. Опорный механизм печи:

1—стальная опора вала, 2—шпонка, 3—шпильки, 4—болты, 5—кольца, 6—плата, 7—фундаментная плита, 8—тапковые кольца, 9—перекрывное кольцо, 10—защитное кольцо, 11—трубка для заливки масла, 12—трубка для спуска отработанного масла, 13—большая шестерня, 14—малая шестерня, 15—букса подпятника, 16—опора для подпятников.

шпильками вал может быть поднят или опущен на небольшую высоту, причем шестерня остается на высоте неподвижной. Шестерня опирается на стальную буксу 15 подпятника и соединена с ней болтами 4. Под буксой находятся три кольца 5, из коих среднее стальное, а крайние — бронзовые. Стальное кольцо гладкое без канавок, а бронзовые имеют с каждой стороны по две кольцевые канавки, расположенные эксцентрично по отношению к вертикальной оси вала, а также по два сквозных отверстия.

Такое расположение канавок обеспечивает хорошую смазку опорных поверхностей вращения, несущих на себе большую нагрузку как от веса самого вала, так и укрепленных в нем гребков. Эти опорные кольца вставлены в пяту 6, которая при помощи болтов прикреплена к фундаментной плите 7. Во избежание попадания в пространство, где помещаются опорные кольца, пыли от огарка или колчедана зазор между пятой и опорной буксой уплотнен кольцами 8 из талькового шнура. Поверх колец 8 находится еще чугунное кольцо 9, служащее для той же цели. Для предотвращения же попадания пыли с наружной стороны опорной буксы поставлено железное кольцо 10. В отверстие в пяте вставлены на резьбе две трубки, из которых верхняя 11 служит для заливки подпятника маслом и наблюдения за его количеством, нижняя же трубка 12, имеющая в тройнике пробку, служит для выпуска отработанного масла. Для надежного распределения смазки по цилиндрической поверхности опорной буксы пяты имеет в своей цилиндрической части две винтовые канавки и два отверстия. Все три части вала, а также и соединяемые с ними опорные детали имеют заточки, которые позволяют произвести точную сборку и правильную установку всех деталей относительно вертикальной оси вала. Фундаментная плита имеет в центре вертикальное отверстие для подвода через него воздуха во внутреннюю полость вала.

Вал в верхней части поддерживается четырьмя роликами 2 (рис. 15). Эти ролики касаются точеной цилиндрической части вала. Они вращаются на валиках 3, укрепленных в отверстиях специальных кронштейнов 1. Кронштейны же, в свою очередь, укреплены на железной раме из швеллеров. Имеющиеся в кронштейнах продолговатые отверстия 4 позволяют производить небольшие передвижения кронштейнов, что необходимо для правильной центровки вала. Передвижение кронштейнов вместе с роликами производится при помощи установочных болтов 5, удерживаемых на швеллерных балках двумя гайками, поставленными с обеих сторон швеллера. Вся конструкция, несущая кронштейны, вместе с рамой укрепилась на кожухе печи. Смазка роликов про-

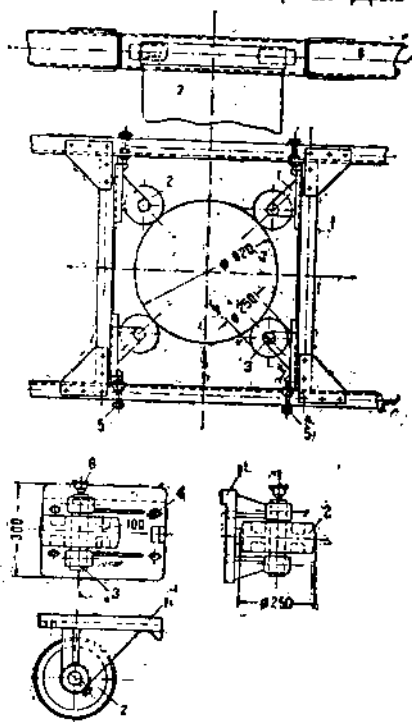


Рис. 15. Верхнее крепление вала:

1—кронштейны, 2—ролики, 3—валики, 4—продолговатые отверстия, 5—установочные болты, 6—масленки, 7—вал печи, 8—верхняя рама.

изводится при помощи штаufferных масленок 6 через отверстия в самих валиках.

Вращение вала печи происходит следующим образом: большая коническая шестерня 6 (рис. 12), насаженная непосредственно на стальную опору вала, имеет зацепление с малой шестерней (передаточное число шестерен 1:7), сидящей на валу 14 и соединенной муфтой 12 с валом редуктора. Редуктор представляет собой обычную коробку скоростей из двух пар цилиндрических шестерен и имеет передаточное число 1:48. Все валы редуктора вращаются на шарикоподшипниках. На валу редуктора насажен шкив, соединенный ременной передачей с мотором мощностью 4 kW. Муфта 12 соединяет вал малой конической шестерни с валом редуктора всего двумя шпильками диаметром 15 мм, которые являются предохранительными, так как они должны ломаться в первую очередь при происходящей по какой-либо причине перегрузке вала. Мотор делает 720 об/мин, шкив, получающий движение от мотора, — 120 об/мин. Это движение через редуктор передается валу малой шестерни, делающему 2,5 об/мин. Вал печи делает всего лишь 0,35—0,5 об/мин.

В редукторе (рис. 16) имеются три вала и шесть шестерен, из которых одна пара шестерен — одинарная, а две пары двойные. Шкив, приводимый в движение ременной передачей, насаживается на вал 1, на котором также насажена и маленькая шестерня 2, имеющая сцепление с шестерней 3. На том же валу, на котором насажена шестерня 3, помещаются две маленькие шестерни 4, имеющие сцепление с шестернями 5. При вращении шкива шестерня 2 приводит в движение шестерню 3 и вместе с ней шестерни 4, как насаженные на одном валу. Шестерни 4 передают движение шестерням 5, а вместе с ними и валу 6, который соединен муфтой с валом конической шестерни, приводящей в движение большую шестерню печи.

Благодаря наличию парных двойных шестерен редуктор работает весьма спокойно и почти не изнашивается. Валы редуктора имеют шариковые подшипники, а вал 6 — роликовые. Общая передача вала 6 к валу 1 равна 1:48. Заливка редуктора маслом производится через отверстие 7, а спуск масла через отверстие 8.

В каждом из сводов, доходящих до вала, устанавливаются чугунные кольца 7 (рис. 12), состоящие из двух половинок, скрепленных болтами. Кольца выступают на 120 мм выше верха свода: этим предотвращается возможность просыпания колчедана между валом и кольцом. Для этой же цели, а также и для уменьшения прососа воздуха между кольцом и валом зазор между ними делается всего лишь 2,5—3 мм, что достигается обработкой кольца и вала в этой части.

Уплотняющее кольцо 8 нижнего свода имеет несколько другую форму: оно удлинено книзу и снаружи печи к нему прикреплено другое кольцо 9, в которое заходит кольцо 10, прикрепленное к валу. Пространство между этими кольцами засыпается мелким огарком или песком. Полученный таким образом затвор препят-

сбегает засосу наружного воздуха в печь и просыпанию мелкого огарка из печи на приводной механизм вала. Колчедан поступает в печь через тарельчатый питатель 18 и передвигается гребками 15 последовательно через все этажи печи. В нечетных этажах колчедан движется от вала к периферии, а в четных от периферии к валу. На рис. 12 гребки всех этажей условно показаны в одной вертикальной плоскости, в действительности же гребки четных и нечетных сводов расположены в двух вертикальных взаимно перпендикулярных плоскостях.

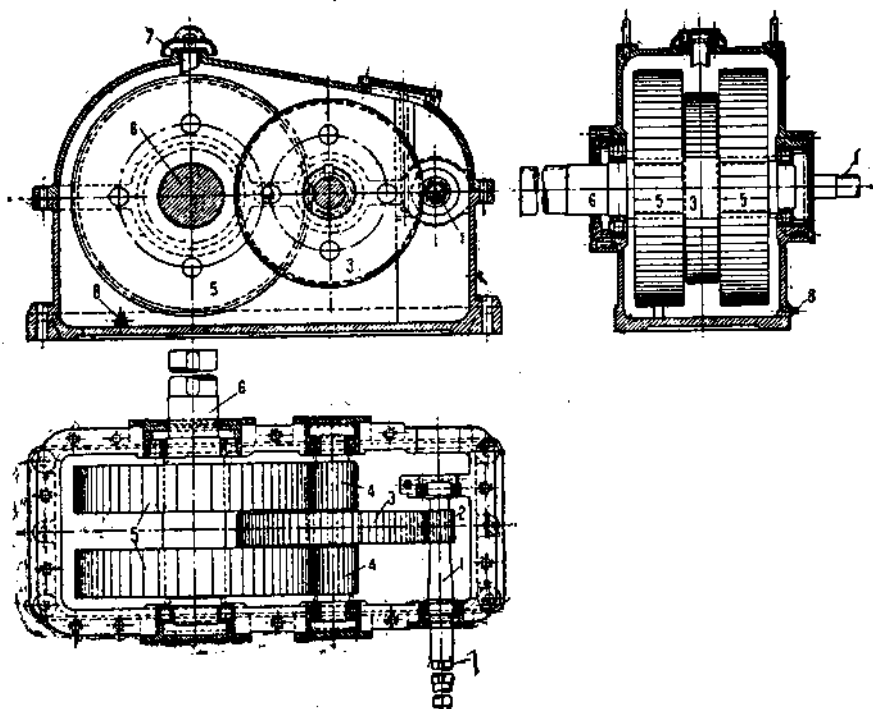


Рис. 16. Редуктор:

1—вал, 2—маленькая шестерня, 3—шестерня, 4 и 5—парные шестерни, 6—вал, 7—отверстие для заливки масла, 8—отверстие для спуска масла.

На верхнем так называемом сушильном своде у вала установлен питатель (рис. 17); он состоит из разъемной тарелки 1, состоящей из двух половинок, скрепляемых болтами. Тарелка подвешена на болтах к четырем лапам 2, укрепленным на валу. Таким образом всю тарелку можно поднимать или опускать болтами 8 на высоту 20—25 мм.

В самом своде заделано в уровень с его подом опорное кольцо 3, имеющее в верхней части цилиндрическую впадину, в которую вложена кольцевая плита 6. В зазор между плитой 6 и подвесной тарелкой входит железная регулирующая штанга 4. Колчедан, находящийся на сушильном своде у вертикального

вала 9, сваливается гребком 10 с кольцевой плиты на подвесную тарелку и при движении тарелки вместе с валом сгребаются шлангой внутри печи. Регулирующая штанга заключена в железную трубу 5, заделанную в сушильный свод. Конец штанги выходит наружу кожуха печи. При помощи рычага 7 штангу можно приближать или удалять относительно вала и таким образом регулировать количество сгребаемого внутри печи колчедана.

Все пространство между подвесной тарелкой и плитой засыпано колчеданом и таким образом засос наружного воздуха вну-

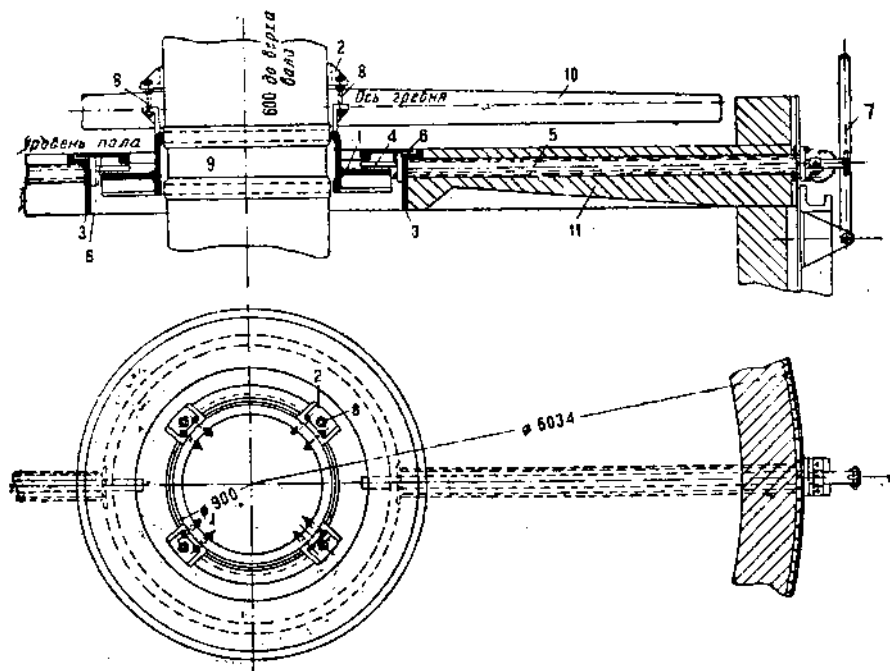


Рис. 17. Питатель печи:

1—тарелка питателя, 2—заны для подвешивания тарелки, 3—опорное кольцо, 4—штанга, 5—труба, 6—кольцевая плита, 7—рычаг, 8—подъемные болты, 9—вал печи, 10—гребком, 11—свод печи.

три печи здесь при нормальной подаче колчедана весьма незначителен. Прозор между тарелкой питателя 1 и плитой 6 делается 130—140 мм и он всегда должен быть засыпан колчеданом. Нетрудно видеть, что если тарелка 1 опущена слишком низко, то колчедан не закроет всего прозора и печь (в зависимости от тяги в ней) или начнет выделять газ в помещение или же засасывать воздух в печь через питатель. При нормальном положении верхнего свода и регулирующей штанги 4 это легко устранить, подняв тарелку питателя болтами 8.

В неправильно смонтированной печи этому может помешать штанга 4, если она проложена слишком низко. В последнем случае лучше выдвинуть штангу 4 совсем и не пользоваться ею как

регулятором, но тарелку следует поднять настолько, чтобы образовать зазор из колчедана и этим самым прекратить выбивание газа или подсос воздуха.

Описанная конструкция питателя очень несложна, почти не требует ухода и показала себя в работе с лучшей стороны. Особенно ценным в этой конструкции питателя по сравнению с другими следует признать удаление поддерживающих лап 2 от самого питателя, что позволяет содержать в чистоте гайки болтов, служащих для подъема подвесной тарелки, а также вынесение механизма для передвижения штанги за кожух печи.

Имеющиеся в других конструкциях разного рода заслонки, заменяющие собой регулирующие штанги, при работе совершенно не позволяют регулировать подачу колчедана, так как, будучи помещены в самой кольцевой плите, забивают свои гнезда колчеданом, и регулировать их быстро совершенно невозможно.

Для распределения и перемещения колчедана по сводам печи в вал вставлены восемь пар гребков, из которых одна пара гребков находится вне печи над сушильным (нулевым) сводом, а остальные помещены в межсводовых рабочих пространствах. Первая пара гребков вставлена в сквозной прямоугольный канал 8 (рис. 18), находящийся выше внутренней полости вала. Ввиду того что эта пара гребков находится вне зоны горения колчедана, она работает без охлаждения.

Верхние гребки (рис. 18) имеют прямоугольное сечение и для уменьшения веса делаются пустотелыми с открытыми концами. Для удержания гребка в валу на соответственном конце гребка на скосе имеется прилив 1 в виде цилиндрика, который при вводе гребка в вал проходит в отлитом для него специальном канале. Этот маленький канал имеет направление под углом к радиусу вала и идет параллельно скошенной части стенки канала, служащего для вставки гребка. Вставленный гребок нижней своей частью опирается на возвышающуюся часть канала у наружного края вала и заплечиком верхней части упирается в верхнюю стенку канала. Для облегчения работы при вставке и выемке гребка наружный конец его приподнимают. В этом случае верхний заплечик освобождается и трение при движении гребка уменьшается. Вставка и выемка гребка может быть произведена только в том случае, когда гребок сдвинут доотказа в сторону его рабочего движения. Во время же вращения вала гребок не может выпасть, так как его прилив зажимается в углублении гнезда.

На конце одного гребка имеется четыре отверстия с резьбой для укрепления в них болтами стоек 2 из углового железа. В пазах этого железа вставлены две штанги; верхняя 3, служащая для сгребания колчедана со столика, находящегося под питательным бункером 5, и нижняя, несущая на себе небольшой столик 6. При сгребании колчедана верхней штангой часть колчедана падает непосредственно на сушильный свод, а часть его попадает на столик 6, укрепленный на нижней штанге, и этим столиком

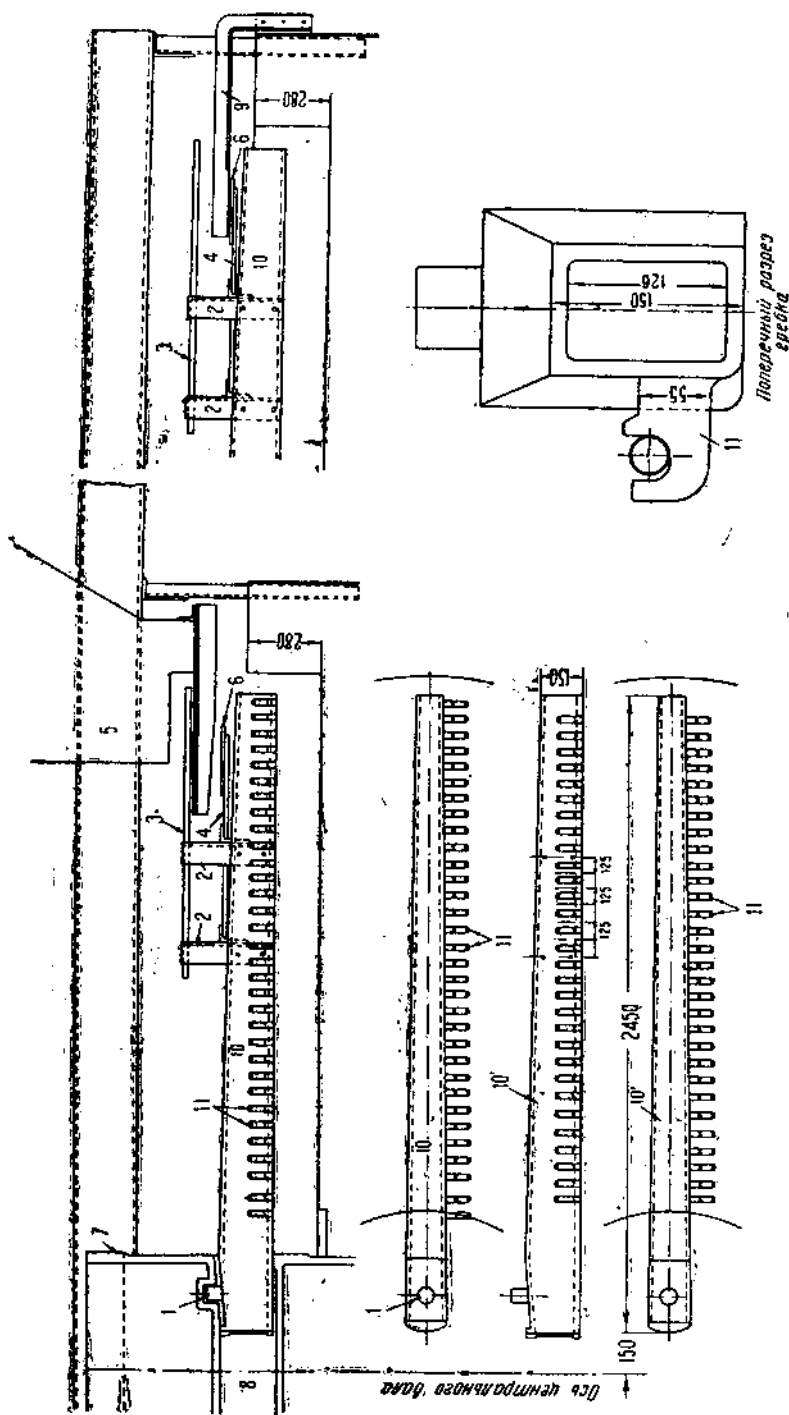


Рис. 18. Верхние гребни:

1—прили для удержания гребня, 2—стойка, 3—верхняя штанга, 4—нижняя штанга, 5—бункер, 6—стойка, 7—вал печи, 8—гребень для гребня, 9—шток для сдвига гребня, 10 и 11—гребни, 11—прилизы для шпателей.

уносится на диаметрально противоположный конец свода и там уже снимается неподвижно установленным ножом 9, прикрепленным к кожуху печи. Такое устройство подачи колчедана со сбрасыванием его в двух местах дает более правильное распределение колчедана по сушильному своду. Передвижением штанги в пазах угольников можно увеличить или уменьшить количество сгребаемого ими колчедана и этим самым регулировать подачу колчедана на печь.

У каждого из гребков с одной стороны имеется ряд приливов с пазами 11, служащих для вставки в них лопаток, перемещающих колчедан от периферии к центру вала. Все лопатки имеют одинаковую форму, за исключением крайней, которая, во-первых, длиннее всех остальных; во-вторых, вставлена под большим углом по отношению к оси гребка. Это сделано для того, чтобы крайними лопатками колчедан отгребался быстрее от периферии, т. е. от места, куда он сразу сваливается кучей со столиков. Для уменьшения величины борозд в слое колчедана, образуемых при движении лопаток, эти последние размещены на гребках таким образом, что лопатки одного гребка приходятся против промежутков между лопатками другого гребка.

Гребки, находящиеся внутри печи и работающие при высокой температуре, имеют воздушное охлаждение. Для подвода воздуха внутрь гребка конец его, вставленный в вал, имеет в нижней своей половине канал, открытый со стороны вала. Воздух из прямоугольной полости вертикального вала поступает в нижнюю часть гребка и движется вдоль имеющейся в нем перегородки 4 (рис. 19).

Перегорodka не доходит до конца на $\frac{1}{4}$ длины гребка и воздух, обогнув перегородку, возвращается обратно по второй половине гребка и через отверстия в гребке и гнезде вала поступает в наружную полость вала. Для более равномерного охлаждения стенок гребка в его продольной перегородке имеются три небольших отверстия 5. Воздух из внутренней полости вала поступает во все гребки одновременно; для более равномерного охлаждения гребков отверстия в гнезде вала имеют неодинаковую площадь сечения: для верхних гребков отверстия больше, чем для нижних. Этим достигается большее поступление воздуха в гребки верхних этажей, где температура наивысшая. Движение воздуха в гребке показано стрелками на рис. 19.

Гнезда для вставки гребков расположены в вертикальном валу в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, причем в одной вертикальной плоскости находятся гребки четных этажей (второго, четвертого и шестого), в другой — нечетных (первого, третьего, пятого и седьмого). Гнезда для гребков имеют диаметры на 0,75 мм больше соответствующего диаметра гребка; в рабочем состоянии при нагреве гребков этот зазор уменьшается. Гребки имеют коническую форму, причем нижняя образующая конуса горизонтальна. Часть гребка, входящая в гнездо вала, имеющая цилиндрическую форму, обрабатывается. Гребки имеют приливы 6

живающего кольцевую заточку. После этого между приливами 8 вставляется защелка 9, откидывается на 90° и ее головка помещается между приливами 8 гребка.

Этой конструкцией гребок закрепляется как в радиальном направлении, так и в отношении поворачивания гребка вокруг своей оси. Закрепление гребка в гнезде вала показано на рис. 20. Рабочие части лопаток повернуты под углом к оси гребка таким образом, что колчедан в этажах первом, третьем, пятом и седьмом передвигается от вала к периферии печи и сваливается на следующие своды сквозь имеющиеся у периферии отверстия в каждом своде. Лопатки в остальных (втором, четвертом и шестом) этажах имеют другое направление, позволяющее им передвигать колчедан от периферии к валу печи, где колчедан и сваливается сквозь кольцевые отверстия у вала. Гребки № 1 и № 2 по рис. 19 устанавливаются в нечетных этажах, а № 3 и № 4 в четных. Гребки в четных этажах имеют 17 пар приливов (сережек), в которых вставляется 17 лопаток (зубьев). В четных этажах гребки имеют всего 14 пар приливов и 14 лопаток; это объясняется тем, что над кольцевыми отверстиями около вала не требуются лопатки.



Рис. 20. Закрепление гребка в гнезде вала.

Лопатки имеют в верхней части прямоугольные отверстия, служащие гнездом для крюка, посредством которого рабочий, находясь вне печи, может снять и надеть лопатку на гребок. На рис. 21 представлены лопатки, устанавливаемые в четных и нечетных этажах. Рабочие части лопаток повернуты в вертикальной плоскости под разными углами к касательным окружностей, описываемых лопатками. В нечетных сводах ближайшие к валу печи лопатки имеют угол больший, а далее отступающие меньший, что сделано для того, чтобы ускорить процесс отгребания колчедана от вала и этим самым не давать накапливаться в этих местах толстому слою колчедана. Лопатки имеют номера на отливках и подвешиваются на гребках по номерам, указанным на рис. 19. В нечетных этажах у самого вала ставится широкая с наибольшим углом лопатка № 3, затем следуют четыре лопатки № 5 с меньшим углом, еще далее от вала — пять лопаток № 4, имеющих еще меньший угол, затем шесть лопаток № 1 с наименьшим углом и наконец одна крайняя наружная лопатка № 6 на одном гребке и № 7, на другом, имеющие обратный угол, с целью отгребания колчедана от стенок внутрь печи. На гребках четных этажей вставляются 13 лопаток № 2 и одна крайняя на одном гребке № 6 и на другом № 7.

Расположение лопаток на гребках в одном и том же этаже неодинаково: на одном из гребков приливы смещены против приливов другого гребка на 60 мм, вследствие чего при движении

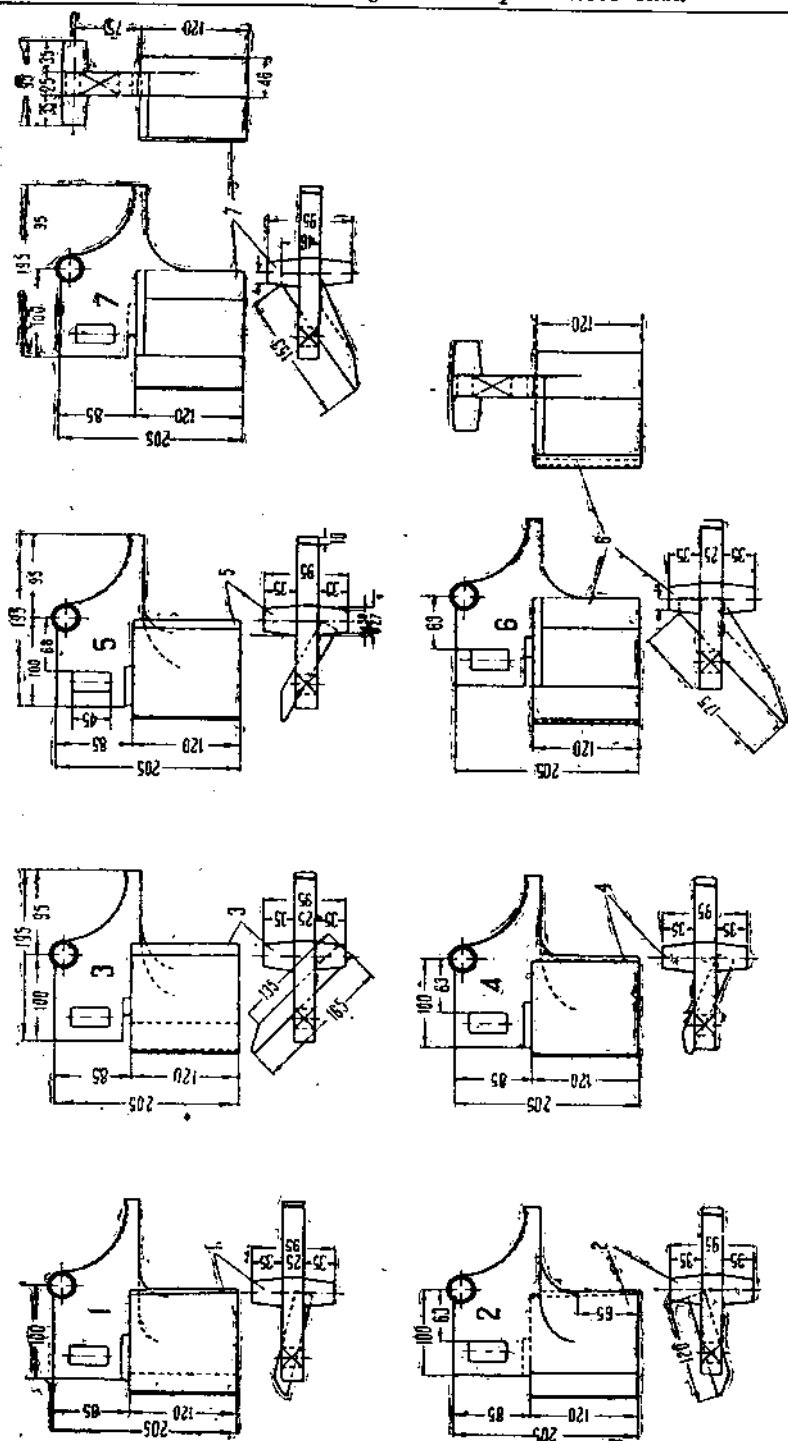


Рис. 21. Лопатки (зубья).

гребков лопатки одного гребка проходят между бороздами другого и этим самым ускоряется передвижение колчедана по своду. Для пересыпания колчедана с одного свода на другой в сводах сделаны соответствующие отверстия, служащие также и каналами для газов. В нечетных сводах (первом, третьем, пятом и седьмом) сделано восемь полукруглых отверстий (рис. 12, 26), расположенных у периферии, а в четных (втором, четвертом, шестом) имеется по одному центральному отверстию (рис. 12, 27) в виде круга диаметром 1700 мм. В середине этого отверстия проходит вал. Таким образом в четных этажах между валом и внутренним краем свода образуется кольцо шириной 400 мм, через которое колчедан просыпается на нижележащий свод, а газы поднимаются вверх. Четный свод имеет поверхность пода (за вычетом кольца), равную 20,2 м², а нечетный (за вычетом восьми отверстий) — 20,7 м²; следовательно общая рабочая поверхность всех подов печи, за исключением сушильного свода, равна:

$$20,7 \cdot 4 + 20,2 \cdot 3 = 143,4 \text{ м}^2.$$

Таким образом при сжигании в этой печи в сутки 15 т колчедана на каждый кв. метр пода приходится $15\,000 : 143,4 = 104,6$ кг колчедана в сутки.

Воздух, необходимый для горения колчедана, поступает в печь через 12 круглых воздушников, устроенных в нижнем седьмом этаже. Диаметр воздушников 100 мм. Воздушники прикрываются регистрами, с помощью которых можно регулировать приток воздуха. Кроме того на четвертом этаже имеются дополнительно четыре таких же воздушника. Ими пользуются при большой нагрузке печи и при сжигании углистого и флотационного колчеданов.

Для выхода огарка из печи в седьмом своде установлены две точки: одна из этих точек 22 /рис. 12/ служит для разгрузки огарка и соединена непосредственно с находящимся под полом печного отделения транспортером; вторая точка 21 является запасной и через нее удаляют огарок в вагонетках в случаях остановки транспортера.

Вес металлических частей печи 36 т, вес шамота 150 т, что составляет на 1 м² свода 258 кг металлических частей и 1070 кг шамота.

Паспортная производительность описываемой печи 15 т колчедана в сутки. В действительности же, как показала практика Воскресенского завода, в этой печи можно сжигать 24 т 45%-ного колчедана в сутки, что составляет ~170 кг колчедана на 1 м² рабочих сводов. Такая производительность печи и принимается в настоящее время при расчете печных отделений.

Опытная работа, проведенная бригадой НИИУИФ совместно с работниками ВХЗ под руководством К. М. Малина в декабре 1936 г., установила, что 170 кг являются также далеко не пределом. Этой бригаде на ВХЗ удалось в течение почти целого месяца сжигать на двух печах по 28,5 т колчедана в сутки, что соста-

влет 203,7 кг стандартного колчедана на 1 м² пода; средняя концентрация газа SO₂ — 8,52%; содержание серы в огарке — 1,83%. Температура газа: в горловине 652°, на первом своде 704°, на втором 757°, на третьем 864°, на четвертом 795°, на пятом 669°, на шестом 616°, на седьмом 352°. Температура огарка 434° и воздуха из вала 200°. Температура на третьем своде эпизодически повышалась до 900° и выше.

6. Печи Гумбольдта с железным валом

Печи Гумбольдта применяются для обжига колчедана, цинковой обманки, цинкового и медистого концентрата. В зависимости от размеров и числа этажей печи сжигают от 6 до 35 т 45%-ного серного колчедана. В табл. 13 приводятся данные о производительности печей, числе этажей и потребной мощности для вращения печей, изготовляемых фирмой Гумбольдта.

Таблица 13

Тип печи	Число этажей	Количество сжигаемого колчедана в т/сутки	Потребная мощность для вращения вала печи в л. с.	Тип печи	Число этажей	Количество сжигаемого колчедана в т/сутки	Потребная мощность для вращения вала печи в л. с.
HR-1395	5	6,0	2,5	HR-1537	7	17,0	5,0
HR-1397	7	8,0	3,0	HR-1539	9	20,0	6,0
HR-1407	7	9,0	3,5	HR-1607	7	21,0	5,5
HR-1427	7	10,0	3,5	HR-1609	9	27,0	6,5
HR-1467	7	12,0	4,0	HR-1657	7	26,0	6,0
HR-1507	7	15,0	4,5	HR-1659	9	35,0	8,0
HR-1509	9	17,5	5,5	HR-1707	7	30,0	7,5

На рис. 22 представлен общий вид девятиэтажной печи Гумбольдта. При производительности выше 15 т колчедана в сутки печи имеют железный вал диаметром до 2 м. К этому валу прикрепляют болтами специальные гнезда для гребков, охлаждаемых воздухом. При большой производительности печь имеет на каждом своде по четыре гребка. На рис. 23 дан общий вид железного вала с четырьмя гребками на каждом этаже.

Вал печи охлаждается воздухом, поступающим снизу вала. Нагретый воздух выходит через верхнюю часть вала. Воздух для охлаждения гребков нагнетается в нижнюю коробку, расположенную под большой шестерней вала. Подводящую воздух трубу от вентилятора укладывают или ниже пола здания, как это по-

¹ Фактическая производительность печей, как это показала практика Воскресенского завода, значительно выше паспортной.

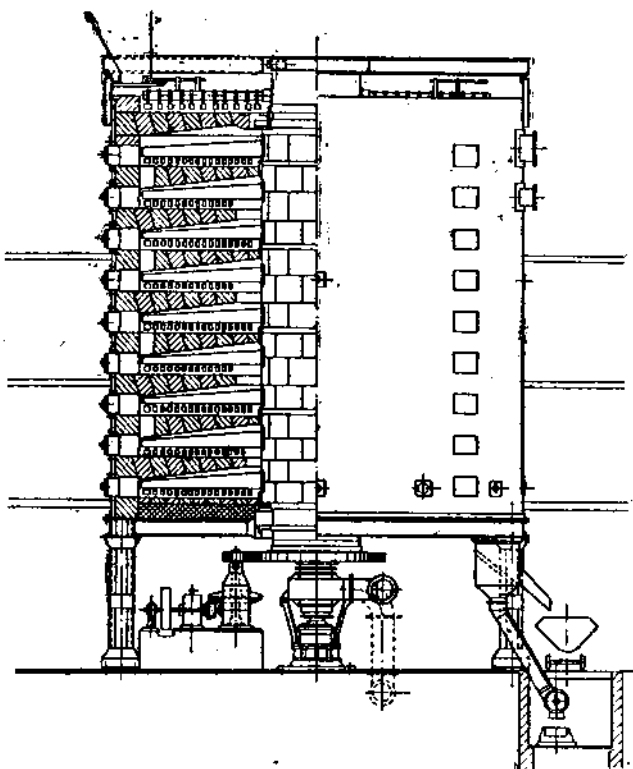


Рис. 22. Печь Гумбольдта с железным валом.

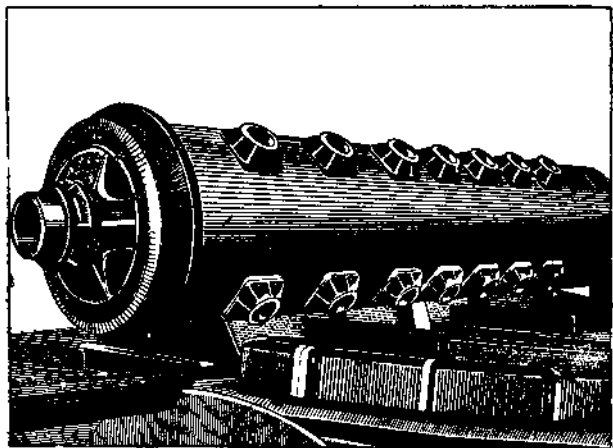


Рис. 23. Железный вал

казано на рис. 22 пунктиром, или же эту трубу располагают под большой шестерней вала. Для охлаждения гребков внутри вала имеются две трубы, в которые воздух поступает из нижней коробки. Из этих труб воздух по охлаждении гребков собирается в две трубы, расположенные также внутри вала. На рис. 24 видна внутренняя часть вала с двумя трубами для холодного воздуха и двумя для горячего. На рисунке видны также и соединения этих труб с гребками.

Для предохранения от нагревания вал снаружи футерован огнеупорным кирпичом (рис. 22). Воздух, необходимый для

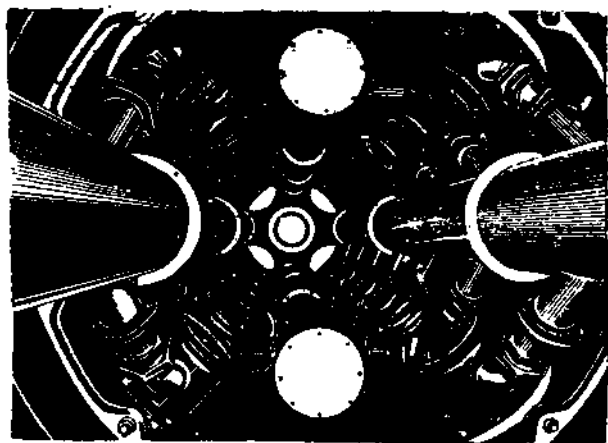


Рис. 24. Внутренняя часть вала.

горения колчедана, подводится через 12 нижних воздушников; кроме того имеется четыре воздушника на четвертом этаже для той же цели. Обжиговые газы отводятся по двум патрубкам, расположенным в первом и втором этажах. Для вращения печи на нижнюю часть вала насажена большая цилиндрическая шестерня, имеющая зацепление с маленькой шестерней, вращающейся на вертикальном валу вместе с конической шестерней, которая приводится в движение другой шестерней через редуктор и шкив с ременной передачей от мотора. Огарок удаляется из печи или в вагонетку или же через специальную точку транспортером, расположенным с боку печи. В нечетных этажах в сводах заделаны чугунные кольца, которые почти соприкасаются со специальными бандажками, насаженными на валу на той же высоте, как и кольца. Соприкасающиеся поверхности сводовых колец и бандажей должны быть обработаны и смонтированы таким образом, чтобы зазоры между кольцами и бандажками были не больше 3—4 мм. Об установке этих деталей с таким зазором будет сказано ниже при описании печей Велдсе.

Таблица 14

Тип печи	LC-4	LC-4,5	LC-5	LC-5,5	LC-6	LC-6,3	LC-6,5	LC-7
Диаметр печи в мм	4000	4500	5000	5500	6000	6300	6500	7000
Число этажей	7	9	7	9	7	9	7	9
Количество сжигаемого топлива в т/сутки	6	7,5	8	9,5	10	12	18	25—30
Потребная мощность для вращения вала и гребков	1	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	8—10
Площадь рабочих сводов в м ²	57	73	74	95	98	126	140	230
Количество воздуха для охлаждения вала и гребков в м ³ /мин	20	26	25	32	30	88	90	120
Производительность в кг на 1 м ² поверх- ности обжига в сутки	103	102	103	100	102	96	112	108—130

7. Печи Люрги

Печи фирмы Люрги весьма распространены за границей, они также имеются и на заводах в СССР. Эти печи по принципу своей работы не отличаются от описанных печей Гумбольдта, но в конструктивном отношении имеют некоторое отличие, на котором мы в дальнейшем остановимся.

В табл. 14 приводятся основные размеры и характеристика печей, изготавливаемых фирмой Люрги. Все эти печи могут быть разделены на два основных типа: I — печи с чугунным валом, II — печи с железным футерованным снаружи валом. К первому типу относятся печи меньшей производительности от 6 до 15 т колчедана в сутки и ко второму — печи с производительностью от 15 до 35 т в сутки.

На рис. 25 представлена семиэтажная печь Люрги (тип LC-4,5), сжигающая 8 т колчедана в сутки. Внешний диаметр печи 4500 мм; высота от пола до верха верхней рамы 6960 мм. Питание и движение колчедана в печи аналогично печам Гумбольдта. Для движения колчедана и прохода газа служат одни и те же каналы, находящиеся в нечетных сводах у периферии и в четных сводах в виде кольцевых отверстий у вала печи. Воздух для охлаждения вала и гребков подается с боку вала и поступает не во внутреннюю его часть, как у печей Гумбольдта, а во внешнюю и, пройдя гребки, поступает во внутреннюю часть вала, откуда через верхнюю часть вала и трубу в атмосферу.

Питатель верхнего свода состоит из чугунного кольца, насаживаемого на вал печи. На вертикальную часть этого кольца надето кольцо швеллеобразного сечения, на которое надевается манжет, представляющий собой железный цилиндр. В манжете имеется отверстие, края которого отогнуты один наружу, другой к центру вала, так что при движении вала отогнутый конец захватывает колчедан, который специальной лопаткой сбрасывается в кольцевой зазор между валом печи и сводом, в первый этаж печи. Подъемник и передача печи отличаются от описанных выше для печей Гумбольдта. На рис. 26 представлен подъемник и передача печи Люрги с чугунным валом.

На фундаментной плите 1 установлен подъемник 2, представляющий собой чугунную отливку с гнездом, куда устанавливается опорный шарикоподшипник 3 с направляющей втулкой 4; в эту втулку устанавливается пята вала 5, которая своим торцом опирается на опорный шарикоподшипник. Второй конец пяты снабжен фланцем, которым он соединяется на болтах с валом печи 6. Для вращения печи установлена цилиндрическая пара шестерен с передаточным числом 1:10. Большая шестерня 7 насажена на вал печи 6. Сцепляющаяся с ней малая шестерня 8 устанавливается на вертикальном валу 9. На этом же валу надето червячное колесо 10. На валу червяка 11 насажен шкив 12, соединенный ремешной передачей с мотором.

Для более покойного пересыпания колчедана у каждого кольцевого отверстия в четных сводах имеются по четыре скоса и

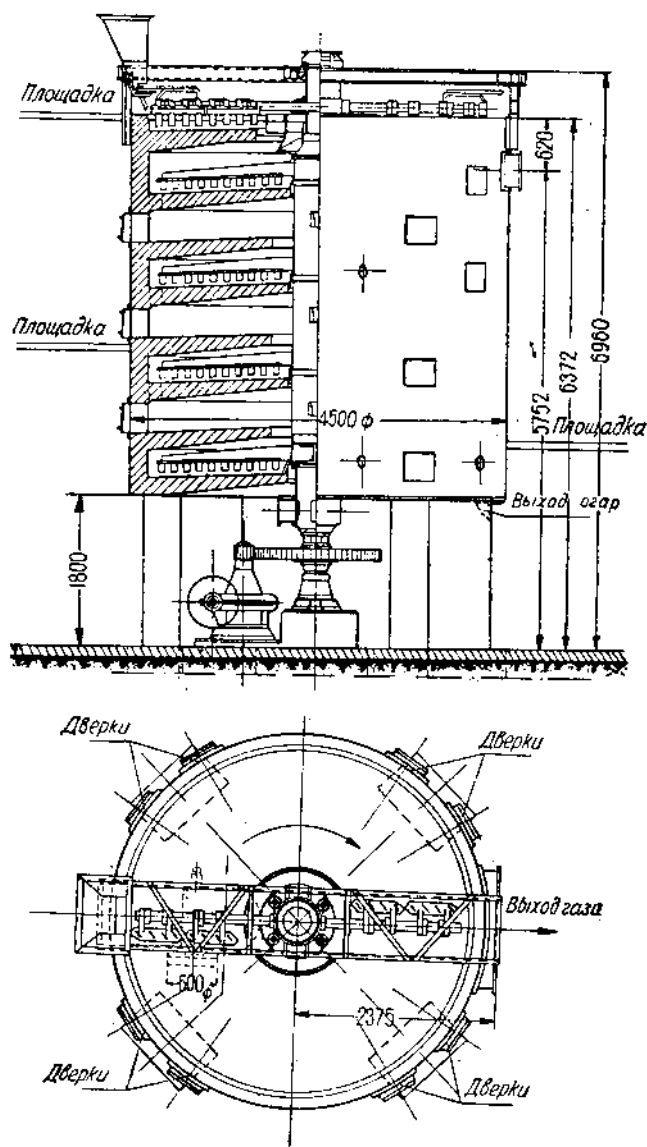


Рис. 25. Семизаточная печь Лурги.

в нечетных сводах — по одному скосу у каждого из пяти газовых каналов, находящихся у периферии печи.

Гребки, так же как и в печах Гумбольдта, имеют съемные зубья, но замена их требует больше времени, чем в печах

Гумбольдта, так как при замене сломанного зуба необходимо снять все предыдущие зубья. На рис. 27 изображен вал печи с гребками без зубьев (верхний рисунок) и гребок с надетыми на него съемными зубьями (нижний рисунок).

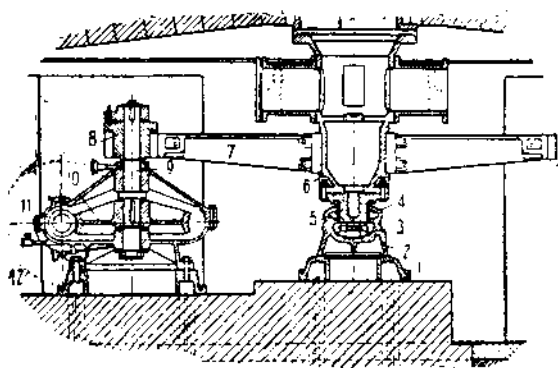


Рис. 26. Подпитник и передача печи Льюри:

1—фундаментная плита, 2—подпитник вала, 3—шарикоподшипник, 4—направляющая втулка, 5—пята вала, 6—вал печи, 7—большая шестерня, 8—малая шестерня, 9—вертикальный вал, 10—червячное колесо, 11—червяк, 12—шпинь.

(тип LC-7), сжигающая 35 т колчедана в сутки. Диаметр печи 7000 мм, общая высота 14 970 мм. Высота свободного пространства под печью 2500 мм, что позволяет удобно производить ремонт и осмотр приводного механизма. Устройство приводного механизма аналогично описанному при предыдущей печи. Ввод воздуха для охлаждения вала и гребков производится в распределительную коробку в нижней части вала, откуда воздух по специальным трубам поступает в гребки. Нагретый воздух из гребков по трубам направляется в верхний сборный коллектор, а из него отводится в атмосферу.

Вал печи железный клепаный. Вал снаружи футерован шпунтованным огнеупорным кирпичом, который держится на чугунных кольцах, привертнутых болтами к валу. С целью большей изоляции между кирпичом и валом помещается еще слой асбеста. Вследствие большой производительности печи и значительного количества получаемого газа, отвод последнего производится с трех этажей: пятого, третьего и первого. Внутренний диаметр вала 1,5 м, что позволяет легко производить ремонт, связанный

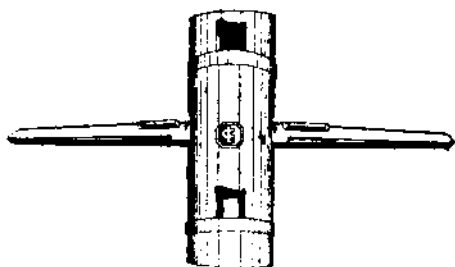


Рис. 27. Гребки и зубья печи Льюри.

со сменой гребков, не дожидаясь охлаждения печи. Гребки вставляются в гнезда, приклепанные к валу; на рис. 29 представлено приклепанное к валу гнездо со вставленным в него гребком.

Фирмой Льюри изготовляются печи, имеющие на каждом этаже по четыре гребка. Подобная конструкция печи представлена на рис. 30. Двойное число гребков при одном и том же времени пребывания колчедана в печи ускоряет процесс горения колчедана и этим самым повышается производительность печи. По этой причине печи при четырех гребках делают с меньшим числом этажей, чем печи с двумя гребками. На рис. 30 у печи диаметром 7,3 м всего лишь пять этажей, тогда как (см. табл. 21) печи меньшего диаметра (7 м) имеют 9 и 11 этажей.

Фактическая производительность печей Льюри выше их паспортной мощности; так, на одном из заводов в СССР в печах Льюри типа LC-5,5 вместо 13 т сжигают в сутки по 18 т 45%-ного колчедана.

Печь Льюри с паспортной производительностью 13 т колчедана имеет поверхность рабочих сводов 121 м^2 ; вес металлических частей в этой печи 32 т, вес шамота 95 т, что составляет на 1 м^2 свода 262 кг металлических частей и 785 кг шамота.

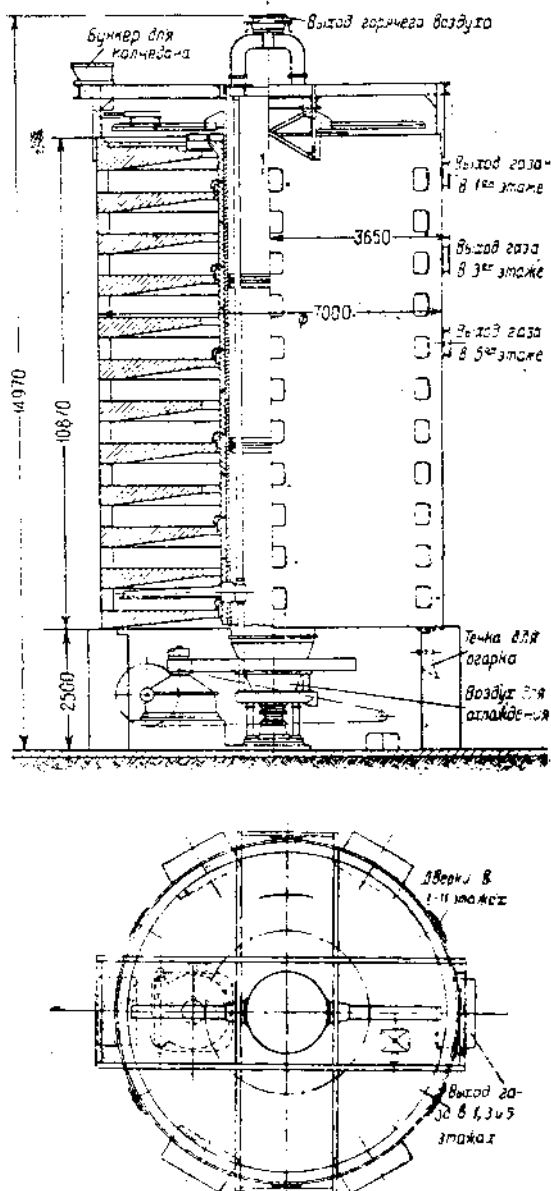


Рис. 28. 11-этажная печь Льюри.



Рис. 29. Гнездо с гребком.

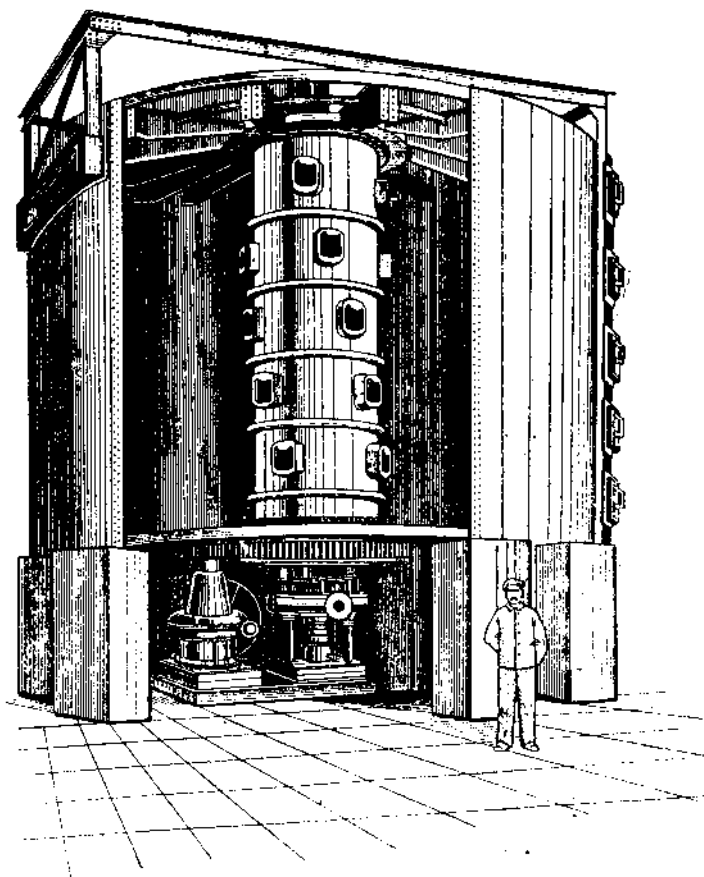


Рис. 30. Печь Льюри с четырьмя гребками.

8. Печь Брак-Моритца

Печи этой конструкции установлены на нескольких заводах СССР. Работа этих печей по принципу не отличается от работы печей, описанных выше.

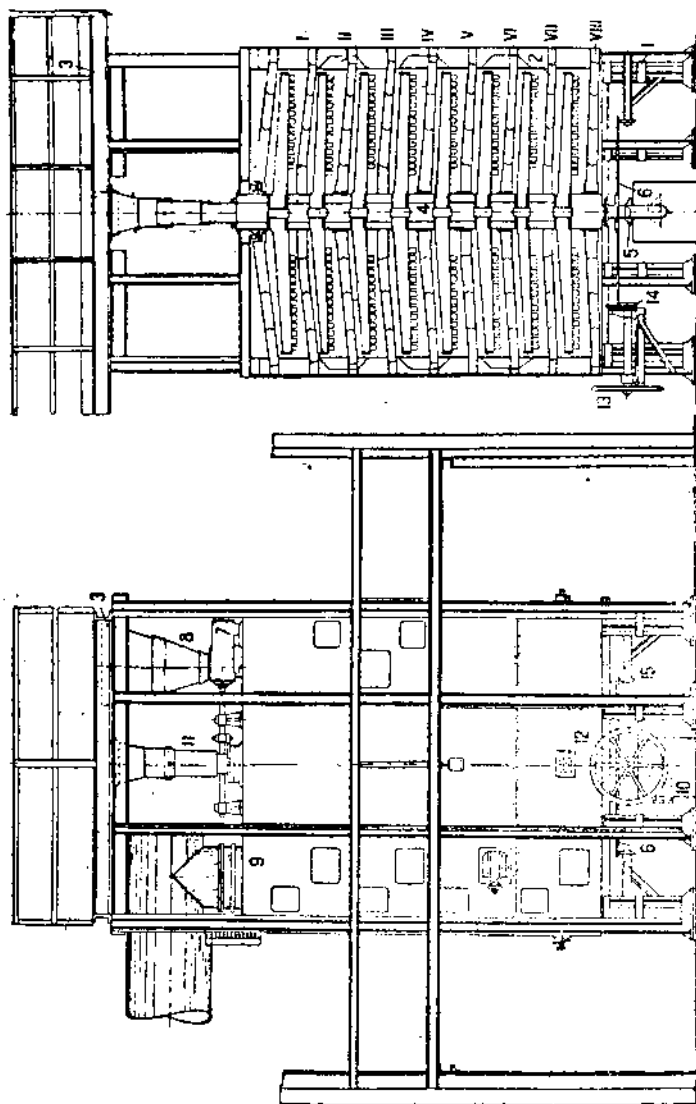


Рис. 31. Печь Брак-Моритца.

1—колосник, 2—рабочий свод, 3—сущальный плочник, 4—наст. 5—подплатник, 6—большая шестерня, 7—питатель рабочего свода, 8—бушар, 9—платформ, 10—штурцер подплатника, 11—труба, 12—дифт, 13—дубовое колесо, 14—малая шестерня, 15—огорные ролики.

На рис. 31 представлена печь Брак-Моритца, сжигающая 6—9 т колчедана в сутки. Поверхность рабочих сводов печи 104 м²; внешний диаметр печи 4720 мм; высота 8430 мм. Колчедан

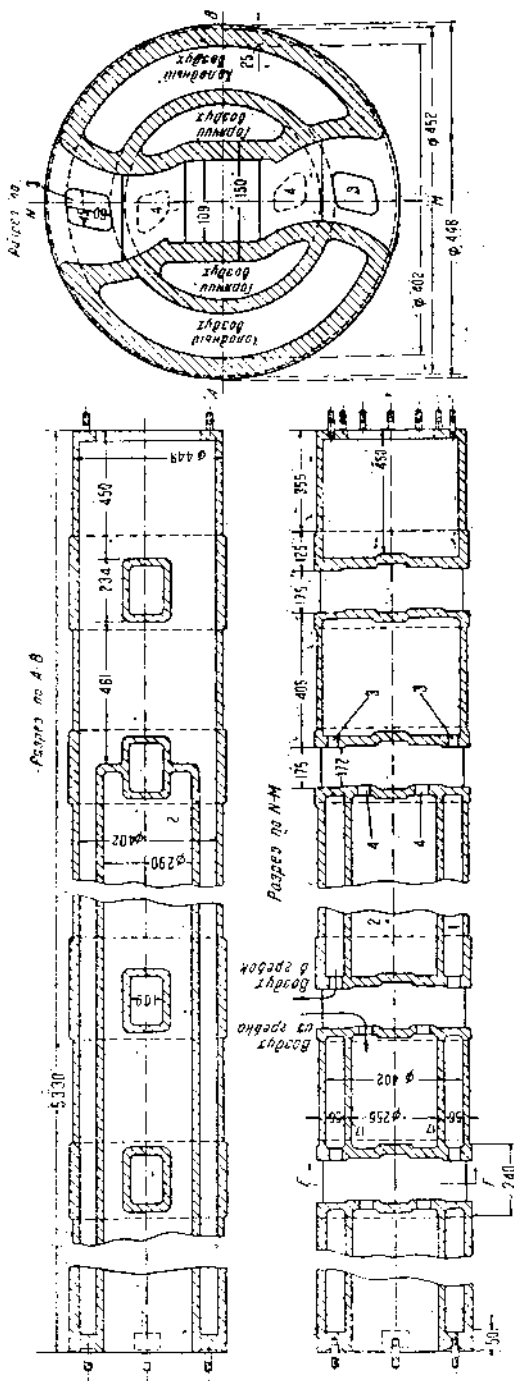


Рис. 32. Вал печи Брак-Моритца.

1—внешний цилиндр вала, 2—внутренний цилиндр вала, 2—отверстия для воздуха, поступающего в гребки, 1—отверстия для воздуха, поступающего из гребков.

поступает в первый этаж печи у периферии, а не у вала, как в описанных выше печах, вследствие чего эта печь имеет четное число этажей — восемь. Печь футерована огнеупорным кирпичом толщиной 250 мм. Своды имеют сферическую форму и выполнены из огнеупорных шпунтованных плит. Форма сводов и наличие шпунта в плитах дают возможность делать плиты толщиной всего лишь 120 мм. Движение газа и колчедана происходит по одним и тем же каналам: в нечетных сводах по кольцевым каналам вокруг вала и в четных — по 18 каналам, расположенным по периферии. Верхний свод (сушильный) считается нулевым. Для подсушки колчедана применяют горячий воздух, выходящий из вала печи после его использования для охлаждения вала и гребков печи. Выходящий из вала горячий воздух направляют в железную камеру, расположенную над щелью. Колчедан загружают на сушильную площадку 3, где он под-

сушивается и после этого перегребается в воронку 8, откуда питателем 7 подается в печь.

Питатель 7 представляет собой цилиндр, в котором движущийся взад и вперед поршень подает колчедан в печь. Свое движение поршень получает при посредстве специального механизма от вала печи. Печь получает движение от шестерни 6, посаженной на нижнюю часть вала и имеющей сцепление с малой шестерней 14; шестерня 14 посажена на одном валу с шестерней 13, получающей движение при помощи цепи Галля от мотора. Большая шестерня опирается на восемь роликов 15, расположенных по периферии шестерни. Воздух для охлаждения вала и гребков нагнетается вентилятором в штуцер подпятника 10, откуда он поступает в нижнюю часть вала.

Нижний конец вала (рис. 32) до седьмого этажа имеет одну цилиндрическую часть 1, прорезанную гнездом для гребков последнего восьмого этажа. От седьмого этажа и выше вал имеет вторую внутреннюю цилиндрическую часть 2. Поступающий для охлаждения во внешний цилиндр воздух направляется через отверстия 3 в гребки, а из последних через отверстия 4 во внутренний цилиндр 2. Внешний диаметр вала 448 мм, в утолщенной части 452 мм; внутренний диаметр 412 мм. Внешний диаметр внутреннего цилиндра 290 мм и внутренний диаметр 256 мм; высота вала 5330 мм.

Печь имеет восемь пар рабочих гребков, из которых нижняя пара не охлаждается. На рис. 33 представлены гребки для нечетных и четных этажей.

Гребки печетных этажей имеют по 12 несъемных зубьев и гребки четных по 14. Зубья на гребках в одном этаже расположены таким образом, что зубья одного гребка приходятся между промежутками второго, что способствует более быстрому передвижению и лучшему сгоранию колчедана. Расстояние между

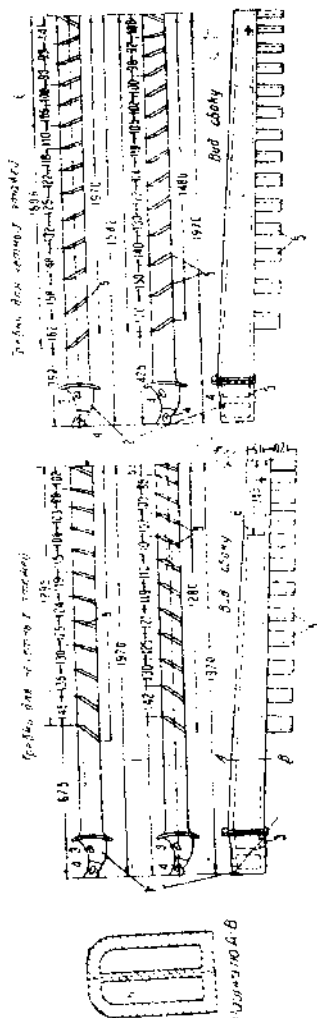


Рис. 33. Гребки для печей Брак-Моритца.

1—гребки для нечетных этажей, 2—гребки для четных этажей, 3—отверстия для поступающего в гребки воздуха, 4—отверстия для выходящего воздуха, 5—зубья, 6—перегородка.

зубьями уменьшается к периферии, что и должно быть, так как концентрические окружности, описываемые зубьями у периферии, больше, чем у вала.

Гребки имеют вертикальную перегородку, не доходящую до конца гребка на 350 мм. Воздух из вала поступает в гребок через отверстия 3, проходит одну половину гребков, огибает перегородку 6 и входит в центральную часть вала через отверстия 4. Чугунные гребки не имеют съемных зубьев. Зубья с телом гребка представляют одно целое, что является одним из недостатков этой печи, так как при поломке зубьев приходится менять и гребки.

Для охлаждения вала и гребков расходуется ~ 1000 м³ воздуха в час. Температура воздуха, выходящего из вала, достигает 350°. Такая высокая температура есть результат недостатка воздуха, нагнетаемого вентилятором. Пропустить большое количество воздуха затруднительно, так как каналы для прохода воздуха в гребки, вследствие своих небольших размеров, имеют большое сопротивление, достигающее 190 мм вод. ст. Температура газа по сводам по той же причине также высокая и достигает на втором и третьем этажах до 800—820° при суточной загрузке печи 8 т.

Вес металлических частей печи 18 т, вес шамота 62 т, что составляет на 1 м² свода 172 кг металлических частей и 595 кг шамота.

В печах Брак-Моритца гребки, питатель, сушильный свод в конструктивном отношении менее удачны, чем в печах Гумбольдта и Люрги.

Во избежание просыпания колчедана из четного этажа в нечетный в сводах у вала печи заделываются чугунные кольца, которые перекрываются чугунными же кольцами, надетыми на вал (рис. 31).

Питатель печи Брак-Моритца состоит из чугунной коробки 1, поршня 2 и штока 3 (рис. 34).

Колчедан поступает из бункера в приемную воронку 4 коробки 1 при положении поршня, указанном пунктиром. При движении поршня вперед он продвигает колчедан к выходному штуцеру 5, соединенному вертикальным патрубком 6 с первым рабочим этажом печи. При движении поршня назад в коробку питателя поступает свежая порция колчедана и подача возобновляется. Для приведения поршня в возвратно-поступательное движение устроен специальный привод. Шток поршня соединен с овальным кольцом 7, установленным между двумя подшипниками 8 и 9. К центральному валу печи присоединяется патрубок 10 с эксцентриком 11, на котором сидит свободно вращающийся ролик 12. Поверхность ролика соприкасается с внутренней поверхностью овального кольца 7. При движении вала (по часовой стрелке) ролик 12 придет в положение, указанное пунктиром, и начнет двигать овальное кольцо 7, а вместе с ним и шток поршня влево. Движение поршня будет продолжаться до тех пор, пока ролик не придет в положение, противоположное показанному

на рисунке. При дальнейшем поворачивании вала ролик снова придет в соприкосновение с поверхностью кольца и поведет его вперед. Движение вперед будет продолжаться до прихода ролика в прежнее положение и т. д.

Конструкция этого питателя имеет следующие недостатки:

1) быстрый износ чугунного поршня, вследствие трения о колчедан;

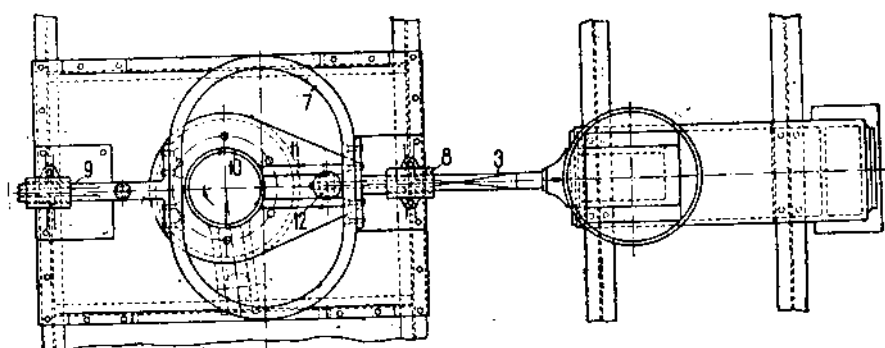
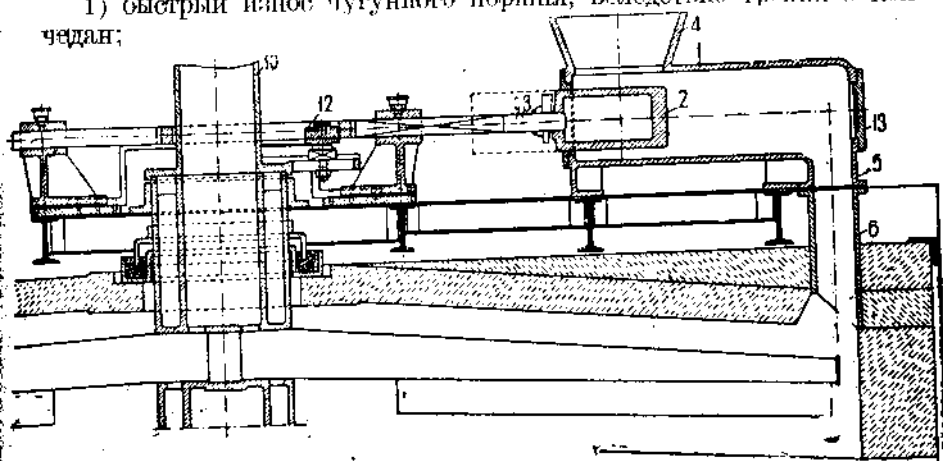


Рис. 34. Питатель печи Брак-Моритца:

1—коробка, 2—поршень, 3—шток, 4—воронка, 5—выходной штуцер, 6—вертикальный патрубок, 7—опальное кольцо, 8 и 9—подшипники, 10—патрубок, 11—эксцентрик, 12—ролик, 13—крышка.

2) слеживание и застревание колчедана в чугунной коробке 1 и патрубке 6;

3) при заедании поршня в коробке, что нередко случается, вал печи гидратирует и пропихивает поломку зубьев шестерен, а иногда и самого вала; в практике для предохранения от поломки установлены дополнительно шпильки;

4) при открывании торцевой крышки 13, что иногда приходится делать для проталкивания колчедана в печь, в помещение выделяется газ, что весьма затрудняет работу обслуживающего персонала.

9. Печи Ведже

Основное отличие печей Ведже от описанных выше заключается в том, что они имеют не чугунные валы, а склепанные из листового железа, и закрепление гребков в них производится не снаружи, а изнутри вала. Ввиду этого диаметр вала печей имеет большие размеры, что позволяет персоналу входить внутрь вала печи и производить в нем работы, связанные с выемкой и вставкой гребков.

Вал в этих печах обложен снаружи огнеупорным кирпичом. Внутренний диаметр вала делается 1200—1400 мм, а наружный вместе с огнеупорным кирпичом 1500—1700 мм. Вал таких размеров может быть поставлен лишь в печи крупных размеров, поэтому печи Ведже строятся на большую производительность. В этих печах сжигают не менее 20—25 т колчедана в сутки.

В СССР печи Ведже встречаются двух основных типов: печи с водяным охлаждением гребков и печи с воздушным охлаждением гребков.

Печь Ведже с водяным охлаждением гребков¹

На рис. 35 представлена печь Ведже с воздушным охлаждением вала и с водяным охлаждением гребков. Кожух печи 1 опирается на кольцо 2, склепанное из двух швеллеров с верхней и нижней накладками из листового железа; вся эта клепаная конструкция установлена на железных колоннах.

В центре печи находится вал 3, склепанный из листового железа с накладками, расположенными внутри вала, так что вал снаружи представляет цилиндр одного диаметра по всей длине. Вал нижней своей частью охватывает точеный выступающий борт приводной шестерни, с которым он скреплен заклепками 29. Приводная шестерня 4 служит опорой для вала и лежит сама на шести роликовых опорах 5. Роликовая опора состоит из чугунной стойки, имеющей вертикальные направляющие, в которые вставлен супорт. Супорт на своих выступах поддерживает два подшипника 6, в которых вращается ось ролика. Ролик закреплен неподвижно на оси шурупами и вращается вместе с осью. Супорт в нижней своей части имеет шаровую выточку, которой он опирается на соответствующую поверхность установочного винта 7. Этим винтом супорт может быть поднят или опущен вместе с роликом, чем обыкновенно и пользуются для поднятия ролика по мере его износа.

Поверхность шестерни, соприкасающаяся с роликами, довольно быстро изнашивается, поэтому эта часть шестерни делается в виде сменяемого кольца 8 и скрепляется с шестерней шпильками. Зуб-

¹ Здесь мы даем описание конструкции печи, перепроектированной Гипрохимом и отличающейся от оригинала некоторыми деталями. Эти изменения вызваны рядом дефектов, выявленных при эксплуатации печи-оригинала на Цевском химкомбинате.

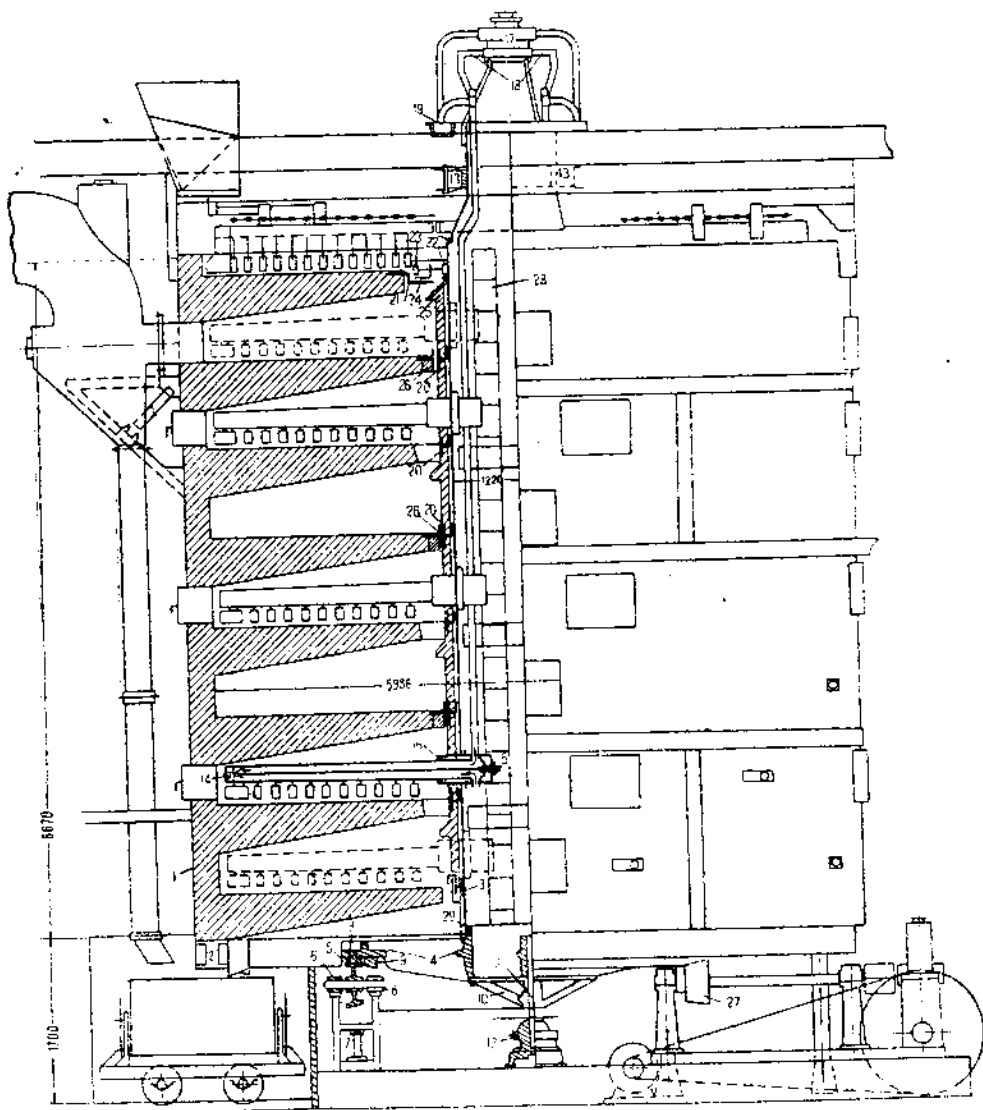


Рис. 35. Печь Велже с водяным охлаждением гребков:

1 — кожух печи, 2 — опорное кольцо, 3 — вал печи, 4 — приводная шестерня, 5 — роликовая опора, 6 — подшипники, 7 — установочный винт, 8 — скользящее кольцо, 9 — зубчатый венец шестерни, 10 — крестовина, 11 — палец, 12 — подпятник, 13 — направляющие ролики, 14 — пробки, 15 — крестовина, 16 — палец, 17 — водяная коробка, 18 — трубы для воды к трубкам, 19 — кольцевое кольцо, 20 — прижим, 21 — водяные кольца, 22 — кольцевая планка, 23 — кольцо питателя, 24 — цилиндрическое кольцо, 25 — скользящий шип, 26 — скользящая планка, 27 — маховая шестерня, 28 — лестница, 29 — зажимы, 30 — угольные кольца.

чатый венец 9 шестерни, как подвергающийся быстрому износу, также делается сменяемым.

В центре шестерни имеется крестовина 10, прикрепленная к ступице шестерни шпильками. Крестовина служит для укрепления пальца 11, который другим своим концом вставлен в подшипник 12. Ось этого пальца является как бы концом геометрической оси вала.

В верхней раме установлены направляющие ролики 13, перемещением которых в горизонтальной плоскости верх вала печи устанавливаются в вертикальном положении. Таким образом вертикальность оси вала зависит от верхних роликов 13, от нижнего пальца 11 и от приводной шестерни, вращающейся на шести опорных роликах 5.

Для правильной работы всех этих механизмов необходима исключительная точность при их изготовлении и монтажа, но и при соблюдении этих условий достигнуть точного вращения всех механизмов не представляется возможным, так как все детали крепятся на необработанном валу грубой котельной работы. В этом заключается основной дефект данной конструкции печи.

Движение газа и колчедана происходит по одним и тем же каналам: в четных сводах по кольцевым каналам у вала, а в нечетных по каналам у периферии печи, не показанным на рисунке.

Гребки сундельного свода представляют собой двутавровую балку, проходящую через вал, причем вертикальная полка балки расположена горизонтально. К балке прикреплены лопатки: крайние в виде широких листов железа, остальные чугунные, имеющие в нижней своей рабочей части сечение в виде треугольника. Гребки, находящиеся внутри печи, — круглого сечения, они имеют приливы для навешивания зубьев (лопаток). Конец гребка, входящий в гнездо вала, точно обрабатывается на токарном станке.

Гнездо для гребка чугунное, оно укрепляется на валу. В гнезде имеются два прореза для прохода двух водопроводных труб; по одной из них подводится вода для охлаждения, а по другой нагретая вода отводится из гребка. В конце гребка, входящего в гнездо, имеются два отверстия с резьбой для присоединения этих труб. В каждом гребке имеется горизонтальная перегородка, и вода, поступающая в гребок, проходит сначала нижнюю его половину, а затем верхнюю. Конец гребка у периферии закрывается пробкой 14 на резьбе; этой пробкой пользуются для чистки гребка при его засорении.

Укрепление гребка в гнезде вала производится следующим образом: в торцевую стенку гребка ввинчена шпилька 15, которая при постановке гребка на место проходит внутри вала через отверстие, имеющееся в задней стенке гнезда, на эту шпильку изнутри вала наворачивают гайку и гребок втягивается в гнездо до прилива 16, имеющегося на гребке. В приливе 16 имеются вырезы в виде пазов, в которые входят соответствующие выступы на торце гнезда. Это соединение не позволяет гребку вращаться вокруг своей оси.

Вода для охлаждения гребков поступает из водопровода в коробку 17. Коробка 17 установлена на опоре, которая прикреплена к верхней части вала и вращается вместе с ним. Соединение трубы, подводящей воду, с вращающейся коробкой осуществлено при помощи сальника. К нижней части коробки присоединены трубки 18, подводящие воду непосредственно к каждому отдельному гребку. Для регулирования количества подаваемой воды в каждый гребок на всех этих трубках установлены вентили. Трубки для отвода теплой воды выведены от гребков наверх и вода из них поступает в кольцевое корыто 19.

Огнеупорный кирпич, которым вал защищен от действия высокой температуры, удерживается на валу пингунтом, имеющимся в кирпиче, и чугунными кольцами 20, посаженными на вал. Питатель состоит из кольцевой плиты 21, заделанной неподвижно в сушильный свод, и кольца 22, укрепленного на валу. К кольцу 22 болтами прикреплено цилиндрическое кольцо 23, образующее с плитой 21 затвор, препятствующий выделению газа из печи в атмосферу, а также и подосу атмосферного воздуха в печь. Сбрасывающий нож 24 закреплен болтом к кольцу 22. Кольцом 23 и ножом 24 регулируют количество колчедана, поступающего в печь. Колокол 25 предназначен для того, чтобы сбрасывать колчедан от вала и создавать некоторый подпор колчедану в питателе.

В нечетных сводах заделаны кольца 26, зазор между ними и чугунными кольцами 20 должен быть минимальным — 4—5 мм, в противном случае колчедан будет просыпаться через этот зазор и печь будет работать неправильно. Отсутствие колец 26 в первоначальной конструкции печи приводит к большому содержанию серы в отарке и даже к потуханию печи.

Вращение печи осуществляется следующим образом: мотор мощностью 6,8 kW через ременную передачу и шкив приводит в движение червяк редуктора, винтовое колесо которого вращается на одном валу с малой конической шестерней 27, имеющей сцепление с шестерней 4.

К основным дефектам этой печи следует отнести наличие шести роликовых опор под приводной шестерней, вследствие чего правильная установка всего механизма печи весьма затруднительна. В дальнейшем по мере износа роликов и кольца 8 приводная шестерня начинает «бить», что обыкновенно ведет или к поломке пальца 11 или же к быстрому износу подшипника 12. Выправление движения печи в этом случае становится возможным лишь при замене роликов и новой обработке кольца 8, что связано с длительной остановкой печи. В последующих новых американских конструкциях, а также и наших, как мы увидим ниже при описании печи Ведже с воздушным охлаждением, этот дефект устранен.

Водяное охлаждение гребков хотя и устраняет расход энергии на воздушное охлаждение гребков, но те неудобства, которые связаны с эксплуатацией всей водяной коммуникации, порча сводов водой при поломке гребков, не оправдываются экономией на

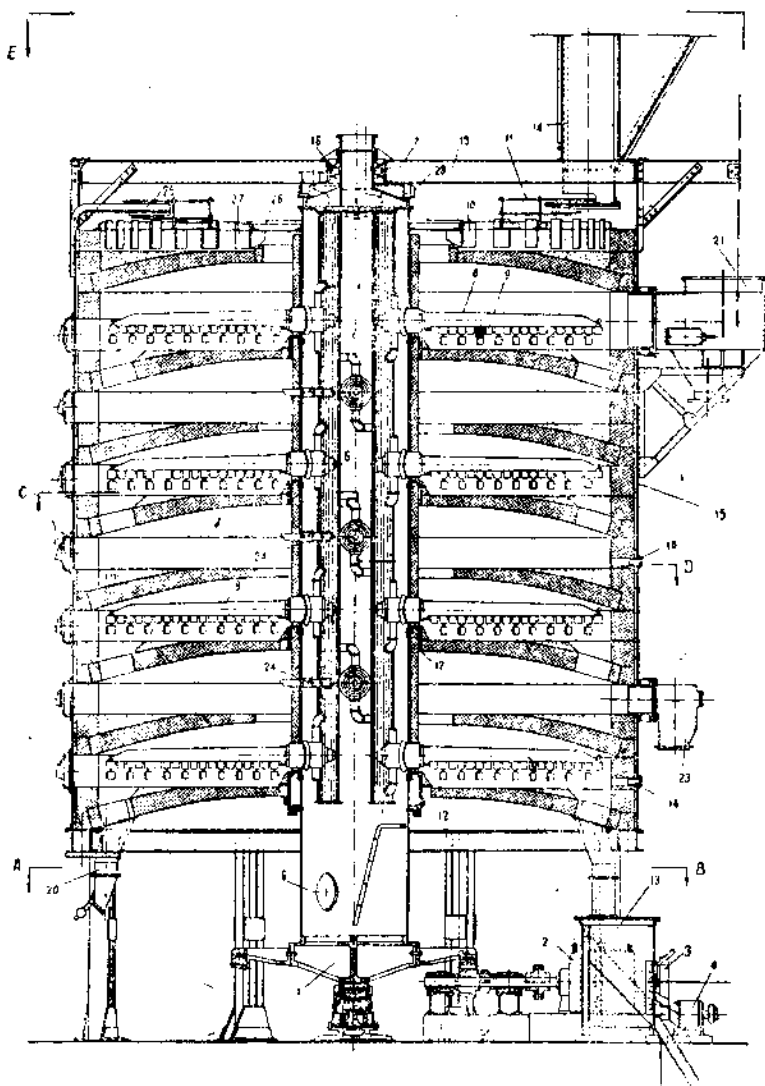


Рис. 36. Печь Водже с воздушным охлаждением гребков (разрез):

1 — шестерня, 2 — редуктор, 3 — 120, 4 — мотор, 5 — ремень, 6 — центральный вал, 7 — головка центрального вала, 8 — обжиговые гребки, 9 — лопатки, 10 — гребки сушильного свода, 11 — палец, 12 — уплотняющие кольца, 13 — верхняя рама над печью, 14 — загрузочный бункер, 15 — кожух печи, 16 — ролики, 17 — трубы для воздуха, 18 — воздушные шиберы, 19 — коробка для механической выгрузки огарка, 20 — чугунная тележка для ручной выгрузки огарка, 21 — коробки для выхода газа, 22 — трубы для нагретого воздуха, 23 — коробка для отбора газа, 24 — патрубки для ввода в печь нагретого воздуха, 25 — палец для обсыпания колчедана, 26 — штатель, 27 — лопатка, 28 — песочный затвор.

45% и ниже, так и цинковые концентраты с низким содержанием серы, требующие для полного обжига дополнительного топлива.

Такой тип печей применяется при комбинировании сернокислотных установок с установками для производства цинка, где исходным сырьем служат продукты обжига цинкового концентрата. Во время же остановки цинкового завода печь может быть переведена на обжиг серного и флотационного колчедана.

По типу своему эта печь Ведже относится к механическим подовым печам. Высота печи 11 725 мм. Наружный диаметр печи 7 500 мм. Толщина футеровки 300 мм. Печь имеет один сушильный свод и семь обжиговых подов. Общая площадь обжиговых подов — 200 м². Паспортная производительность печи за 24 часа при работе на серном колчедане равна 20 т в сутки колчедана с содержанием серы 45%; при работе на цинковых концентратах с содержанием серы 30%, паспортная производительность печи равна 30 т в сутки.

Кожух печи 15 и центральный вал 6 склепаны из 12-мм железа. Диаметр вала 1400 мм. С наружной стороны вал футерован огнеупорной керамикой; толщина футеровки 100 мм. Нижним своим концом вал соединен со ступицей большой шестерни 1 (диаметр 3 250 мм), опирающейся на подпятник и башмак.

Для вращения вала пята шестерни установлена на опорный шариковый подшипник.

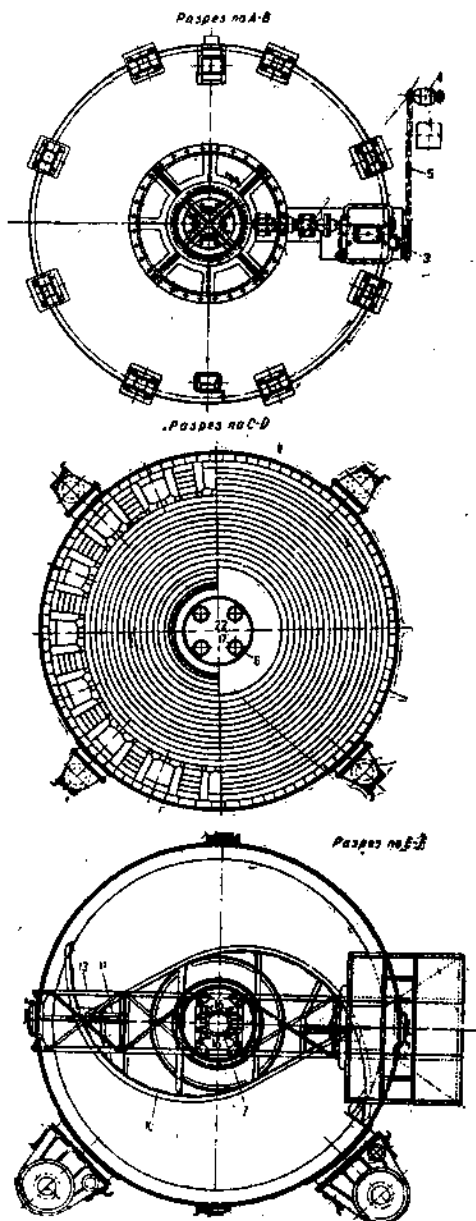


Рис. 36а. Печь Ведже с воздушным охлаждением (план).

Вал делает 0,5 об/мин. Передача состоит из конической шестерни 1, редуктора 2 и ременной передачи 5 от мотора 4 к шкиву редуктора 3. Мощность мотора для вращения печи 7,5 л. с.

Ременная передача в случае надобности дает возможность изменить число оборотов вала соответствующей заменой шкива.

Вал должен быть установлен строго вертикально, а шестерня 1 точно горизонтально. Для установки вала вертикально по периферии вала расположены четыре направляющих ролика 16. Ролики прикреплены к верхней раме 13 печи и каждый из них может вращаться на своем вертикальном валике. Специальными винтами ролики вместе с валиками можно передвинуть в горизонтальной плоскости. Передвижением роликов воспринимается возможный эксцентриситет, получающийся на верхнем конце центрального вала (вследствие неабсолютной точности изготовления).

Кладка печи и сводов производится специальными огнеупорными камнями. Между камнями кольцевой кладки и кожухом имеется зазор шириной 25 мм. Этот зазор заполняют, как указано ниже при монтаже печей, цементным раствором или же между камнями для пят свода и кожухом забивают щебень, а остальное пространство утрамбовывают шпатом или сухим песком. На каждом своде предусмотрены для обслуживания печи четыре двери.

Уплотнение между нечетными сводами и футеровкой вала достигается установкой в сводах чугунных колец 12. Эти кольца своей обработанной верхней частью касаются обработанных также колец, прикрепленных к валу.

Подача колчедана производится в бункер 14, установленный над печью. Низ бункера снабжен вырезом и плитой, на которой образуется куча колчедана под углом естественного откоса. Эта куча сгребается пальцем 11, прикрепленным к гребку сушильного свода.

Для равномерного распределения колчедана по всему сушильному своду куча колчедана, снимаемая с плиты бункера, распределяется на две части: одна часть сбрасывается на сушильный свод непосредственно у бункера и вторая часть задерживается на пластине, помещенной под пальцем. Колчедан с этой пластины сгребается на противоположной бункеру стороне печи специально прикрепленным там неподвижным пальцем 25.

Гребок сушильного свода 10 перемещает колчедан от периферии к центру, где расположен питатель.

Конструкция гребка представляет собой угловое железо, изогнутое по спирали. В полке уголка сделаны отверстия, к которым прибалчиваются железные пластинки, служащие лопатками для перемещения колчедана.

Регулировка скорости подачи колчедана производится изменением угла между лопатками и осью гребка. Для этой цели между гребком и лопаткой устанавливается прокладка клиновидного типа.

Высоту подъема лопатки над подом можно регулировать в пределах ± 15 мм соответствующим расположением отверстий для болтов в гребке и лопатке. Для подъема или опускания лопатки на 15 мм последнюю поворачивают на 180° .

Колчедан или концентрат, сгребаемый с сушильного свода к центру, попадает через питатель на первый рабочий свод. Питатель 26 устроен в виде зонта с фартуком и прикреплен к центральному валу. Края фартука расположены ниже уровня постоянного слоя колчедана, находящегося на сушильном поду. Таким образом получается колчеданный затвор, препятствующий прохождению газа.

Для пропуска колчедана в фартуке предусмотрено отверстие во всю высоту. Специальная лопатка 27 у вала на гребке подает

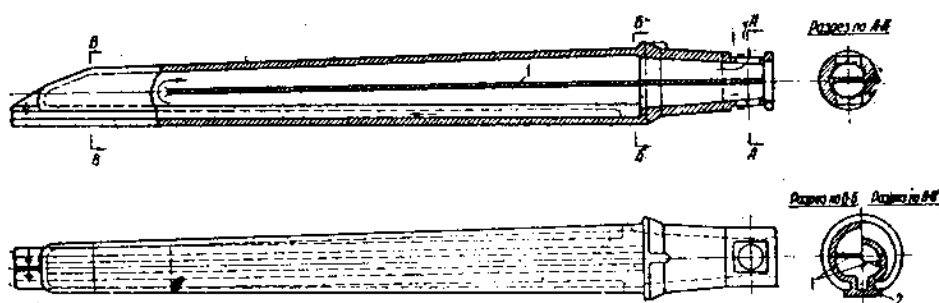


Рис. 37. Гребок:

1 — перегородка, 2 — лопатка.

в это отверстие колчедан. Отверстие это постоянно засыпано кучей колчедана. Лопатка 27, сгребающая колчедан к отверстию, последующей порцией через то же отверстие выталкивает предыдущую порцию в первый этаж печи.

Для перемещения колчедана или концентрата по сводам служат гребки 8 с лопатками 9, вставляемые в центральный вал.

Гребки на первом, третьем, пятом и седьмом этажах сгребают материал от центра к периферии. Гребки на втором, четвертом и шестом этажах перемещают тот же материал от периферии к центру.

Крепление гребков к валу, а также и система охлаждения гребков обслуживается внутри вала. Для этой цели в низу вала предусмотрен лаз и лестница.

Воздух для охлаждения гребка входит в его нижнюю часть, обгибает перегородку (которая не доходит до конца гребка), проходит над ней и выходит из отверстия в верхней части гребка (рис. 37).

Для посадки гребка на валу имеется прикрепленное к нему гнездо, куда гребок и вставляется. Крепление и затягивание гребка производится изнутри центрального вала. Конструкция крепления гребка предусматривает центральную его затяжку и

возможность принудительного выталкивания гребка на случай его заедания. Для этой цели в гребок ввинчивается пробка 3 (рис. 38). Пробка снабжена кроме наружной нарезки также и нарезкой в центре. В эту нарезку ввинчивается болт 5, проходящий через втулку крышки 4, закрывающей гнездо 2. Втулка имеет снаружи прямоугольную левую нарезку и ввинчивается в крышку 4.

Для крепления гребка болт 5, проходящий через втулку 6, ввинчивается в пробку 3 гребка 1 доотказа. Окончательная затяжка гребка производится вывинчиванием втулки из крышки гнезда. Втулка своим торцом упирается в головку болта и притягивает гребок вплотную к конусу гнезда. Для выемки гребка втулка, наоборот, ввинчивается в крышку гнезда и своим противоположным торцом упирается в пробку гребка. При дальнейшем ввинчивании втулка выталкивает гребок из гнезда.

Лопатки для гребков рабочего пода отлиты из чугуна в виде пластин с Т-образными головками. Соединение лопаток с гребками производится посредством обойм. Верхняя часть обоймы надевается на горизонтальный прилив 2 (рис. 37) гребка, нижняя часть обоймы снабжена гнездом для посадки Т-образной головки лопатки. При сборке гребков с лопатками обоймы насаживаются с торца гребка, причем поочередно размещают одну обойму с гнездом для лопатки, а другую без гнезда. Концевая обойма скрепляется с гребком шпильками.

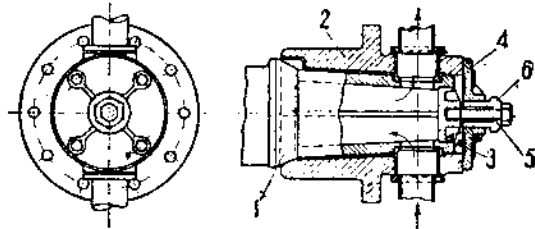


Рис. 38. Крепление гребка в гнезде вала:

1 — гребок, 2 — гнездо для гребка, 3 — пробка для гребка
4 — крышка гнезда, 5 — болт, 6 — втулка.

Отверстия гнезд для посадки лопаток должны быть обращены по ходу гребка. Головки лопаток свободно вставляются в гнезда обойм, удерживаясь лишь тем, что они опираются в закрытый торец гнезда. При поломке лопатки последняя свободно вынимается из гнезда и заменяется новой.

Холодный воздух для охлаждения гребков нагнетается вентилятором в верхнюю головку вала 7 (рис. 36 и 36а), откуда по двум магистральным трубам 17, находящимся внутри центрального вала, распределяется по гребкам всех этажей. Воздух из гребков выходит в две другие трубы 22, расположенные в том же центральном валу. Из труб 22 воздух через диск, перекрывающий вал, поступает в железную цилиндрическую коробку, неподвижно установленную на балках. Эта коробка открыта снизу и своей цилиндрической частью входит в песочный затвор 28, укрепленный на валу печи.

Нагретый отходящий воздух по специальным патрубкам 24 с

дресселями также может поступать в обжиговые этажи печи, что применяется при обжиге цинковых концентратов, требующих сжигания дополнительного топлива.

При обжиге же серного колчедана дроссели на ответвлениях должны быть тщательно закрыты; отходящий из гребков воздух выпускается через верхнюю коробку в выхлопную трубу или отводится для отопления. Так как дроссели обычно пропускают, то для полного отключения необходимо также устанавливать и заглушки.

Температура отходящего из гребков воздуха не должна превышать 180° . Количество воздуха, нагнетаемого для охлаждения рабочих гребков, составляет 85—100 м³/мин.

Необходимый напор на воздухопроводе у вала должен быть равным 300 мм вод. ст.

Для прохода газа в печи служат те же отверстия, что и для пересыпания в ней колчедана; в нечетных сводах 16 отверстий у периферии общей площадью 3,2 м², а в четных центральное отверстие вокруг вала площадью 2,44 м². В первом этаже установлены две чугунные коробки 21, снабженные снизу бункерами для пыли. Коробки имеют клапаны, дающие возможность выключать печь из системы. Эти коробки служат для выхода обжиговых газов из печи, они соединяются с газопроводом, ведущим к электрофильтрам. Кроме того специально для обжига цинкового концентрата с добавочным топливом в шестом этаже имеются четыре коробки 23 для выхода продуктов сгорания добавочного топлива. Топочные газы из коробок 23, пройдя циклон, направляются или к вентилятору, работающему на выхлоп, или же в дымовую трубу. Добавочное топливо обычно в виде нефти вводится в печь через форсунку, устанавливаемую в нижнем седьмом этаже печи.

Форсунки устанавливаются в имеющиеся в печи отверстия 18, служащие для впуска воздуха при работе на серном колчедане.

Продукты горения нефти поднимаются через центральное кольцевое отверстие в четвертый этаж и выходят в четыре чугунные коробки 23. Установкой четырех коробок по периферии печи достигается равномерный отсос продуктов горения нефти и минимальное поступление CO₂ в систему. Коробки 23 при работе на колчедане должны быть отключены.

Кроме подачи нефти в четные этажи подается горячий воздух. Воздух поступает в печь через патрубки 24 из магистральных труб, служащих для отвода нагретого воздуха из гребков. Патрубки 24 имеют дроссели, которыми регулируют количество нагретого воздуха, поступающего в каждый этаж. Управление дросселями производится изнутри печи.

Количество тепла, которое может быть использовано при такой конструкции печи, равно:

$$85 \cdot 60 (170 - 20) \cdot 0,24 \cdot 0,7 = 128\,500 \text{ ккал/час,}$$

где 85 — количество воздуха, нагнетаемого для охлаждения гребков в 1 мин.; 170 — температура нагретого воздуха; 0,24 — те-

плотность воздуха; 0,7 — коэффициент использования. Питание печи нагретым воздухом значительно улучшает тепловой баланс печи при сжигании в ней цинковых концентратов.

При работе на серном колчедане необходим выпуск в печь холодного воздуха. Для этой цели имеются 12 отверстий в седьмом этаже и четыре отверстия в четвертом этаже. Сечения отверстий регулируются шиберами 18. Шиберами на четвертом этаже пользуются при сжигании в печи флотационного колчедана, при обжиге которого необходимо регулировать подачу воздуха в нижнем и в верхнем этажах.

В центральном валу печи имеются отверстия выше уровня сушильного свода, чем создается естественная тяга воздуха и повышается температура внутри вала. Это особо важно для обслуживающего персонала, когда необходимо исправить или сменить внутреннюю деталь вала.

Гребки на седьмом своде подают огарок или обожженный концентрат в течки для огарка. Для огарка предусмотрены две течки одна 19 для механической разгрузки, а вторая 20 для ручной. В течке для механической разгрузки имеется решетка для отделения спекшихся кусков огарка (или обожженного концентрата). Мелочь проходит через решетку в специальную течку, отводящую огарок к транспортеру или рине. Для предотвращения засоса воздуха течка у конца снабжена заслонкой, создающей с непрерывно протекающим огарком огарочный затвор.

При становке механического транспортера пользуются течкой для загрузки огарка в вагонетки. Заслонка на течке снабжена противовесом. Противовес устанавливается так, чтобы по скоплению ошелашенного количества огарка он автоматически высыпался в вагонетку, после чего заслонка снова закрывается.

Конструкция этой печи имеет ряд преимуществ против печи Ведже с водяным охлаждением. К основным преимуществам относятся: 1) замена водяного охлаждения воздушным и 2) отсутствие опорных роликов у большой шестерни. В этой печи вал вращается на роликах, а имеет свою опору, совпадающую с его центральной осью.

Одновременно с этим печь имеет и ряд конструктивных недостатков:

1. Подвод холодного воздуха и отвод нагретого сверху печи ничем не оправдывается и лишь усложняет конструкцию. Это отклонение от конструкций аналогичных печей Льюри и Гумбольдта привело к установке песочного затвора 28, через который происходит выдувание нагретого воздуха вместе с песком. Следовало бы, как это делается в печах подобной конструкции, холодный воздух подводить снизу, а нагретый отвести вверху печи, собрав трубы для нагретого воздуха в одну общую коробку; соединение же коробок с вытяжной трубой сделать посредством сальника.

2. Приклепанные валу кольца для укрепления футеровки не имеют сверху закрай, поэтому футеровка будет отпадать от вала.

3. Кольца, приклепанные к валу, имеют тот же диаметр, что и вал. Поэтому они при неточном изготовлении вала будут при его вращении описывать неправильную окружность и задевать сводные кольца 12. Эти кольца следует делать на 25—30 мм больше диаметра вала, что даст возможность при монтаже печи с помощью железных клиньев, забиваемых между валом и кольцами, установить их точно в центре вращения вала. После установки колец этим способом их следует привернуть болтами к валу.

4. Кольца 12 имеют слишком высокий выступ над сводами печи. При таком выступе верхняя высокая часть сводовых камней у колец 12 будет откалываться; необходимо уменьшить выступы как у колец 12, так и у камней, прилегающих к этим кольцам.

5. Вверху вала отсутствуют удерживающие кольца для футеровки, вследствие чего футеровка в той части может отпасть от вала. Необходимо установить удерживающие кольца в этом месте печи.

6. Установленный на печи питатель, вследствие небольшого затвора и ненадежности работы лопатки 27, будет работать гораздо хуже, чем описанный выше питатель у 15-тонной печи Гумбольдта.

7. Регулировку подачи горячего воздуха в печь латрубками 24 для лучшего обслуживания следует вынести из тела.

III. ПЕЧИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ПЫЛЕВИДНОГО КОЛЧЕДАНА

Флотационный колчедан можно сжигать в механических печах путем особого их регулирования и внесения в конструкцию печей некоторых изменений.

Флотационный колчедан уже в силу своих физических свойств — чрезвычайной мелкости зерен — представляет трудности для обжига его в механических печах, где колчедан передвигается по поверхности сводов. Поэтому, естественно, стал вопрос о создании такой конструкции печи, где особенно флотационного колчедана — мелкость его зерен, была бы использована.

Поскольку проблема сжигания пылевидного топлива уже полностью разрешена, то и конструкторская мысль в изыскании специальных печей для обжига флотационного колчедана пошла в направлении конструирования таких печей, в которых пылевидный колчедан вдувался бы с потоком воздуха в чью и сторад бы в ней в распыленном состоянии.

Для подобных печей мелкость зерен флотационного колчедана является положительным фактором. В этих печах отдельные частицы колчедана разведены друг от друга, поэтому в пространстве обжигания они не могут спекаться; кроме того каждая частица, окруженная со всех сторон потоком воздуха, обжигается значительно быстрее, чем в обычных механических печах. Отсюда понятно, что чем мельче частицы, тем быстрее и лучше пойдет горение в такой печи.

Первая печь для обжига флотационного колчедана в распыленном состоянии была сконструирована американским инж. Фриманом и установлена в США.

На одной американской бумажной фабрике установка для пылевидного сжигания флотационного пиритного концентрата работает бесперебойно и удовлетворительно с 1934 г. Установка состоит из одной печи, в которой сжигается 20—22 т пиритного концентрата в сутки. Содержание серы в концентрате 48—50% и влаги 0,5—1%.

Пирит подается в бункер, установленный над печью. Из бункера он по патрубку поступает в горизонтальную короткую трубу и по ней в шаровую мельницу, где размалываются слежавшиеся комочки пирита. Количество пирита дозируется питателем, приболоченным к горловине бункера. Питатель представляет собой чугунный корпус, в котором имеется крестовина с выходящими наружу осями, на конус которых насажены храповые колеса. Привод осуществляется от мотора ($N=1,5$ л. с.) через редуктор и два эксцентрика, насаженные на концы вала червячного колеса редуктора. Эксцентрики через посредство рычагов имеют зацепление с зубцами храповых колес и проводят последние в движение.

В горизонтальную трубу, примыкающую к шаровой мельнице, вдувается вентилятором воздух. Назначение вентилятора — создать необходимый напор для продвижения наиболее легкого пирита через мельницу. Нагнетаемый воздух вместе с пиритом поступает в центр мельницы с боковой стороны и выходит с противоположной. Размеры мельницы: диаметр 1,5 м, длина 2,5 м, число оборотов 36 в минуту.

Из шаровой мельницы пылевоздушная смесь по изогнутой трубе поступает в установленный вертикально воздушный инжектор (труба Вентури), в который подается воздух под давлением 2,5—3 ат. Инжектор обычно не работает и является запасным на случай остановки воздушного вентилятора. Из трубы Вентури пылевоздушная смесь по вертикальной трубе поступает в турбулентную форсунку, расположенную в центре печи. Форсунка представляет собой чугунную трубу диаметром 12", в которую вставлена такая же труба с винтообразными ребрами. В форсунку сбоку по касательной подводится оборотный газ с температурой 350—380°, который засасывается вентилятором после парового котла.

Печь состоит из цилиндрического железного кожуха диаметром 3,9 м, футерованного внутри огнеупорным и изоляционным кирпичом толщиной 300 мм. Печь внизу имеет железный бункер. Общая высота печи 13,5 м, высота цилиндрической ее части 8,5 м. Внутренний диаметр печи 3,3 м. Бункер печи имеет выходное отверстие диаметром 300 мм. Почти вплотную к нему с небольшим зазором установлен стальной конвейер, по которому удаляется огарок из печи, пыльной камеры и парового котла. Содержание серы в огарке 0,3—0,8%. Через зазор между конвейером и бунке-

ром печи происходит засос воздуха для горения, заменяя собой полностью нижнее дутье в фурмы, применяемые у нас.

По высоте печи имеются наглухо закрытые чугунные люки. Разогрев печи производится переносной нефтяной форсункой, вставляемой в дверцу печи над бункером. Подача нефти производится по гибкому шлангу от нефтяной линии, находящейся под давлением.

Газ из печи выходит вверх по двум железным футерованным патрубкам и поступает в пыльную камеру. Патрубки снабжены штуцерами, закрываемыми пробками; через эти штуцера вводятся трубки, по которым поступает сжатый воздух для удаления пыли, осевшей в патрубках. Отдувка производится на ходу.

Газ из печи поступает в прямоугольную камеру, разделенную на две половины. Первая из них служит пыльной камерой, а во второй половине смонтирован паровой котел. Стены камеры стальные или из чугунных плит и футерованы изоляционным (в $\frac{1}{4}$ кирпича) и огнеупорным (в 1 кирпич) материалами. Газ входит в верхнюю часть первой половины, огибает перегородку, и поступает в паровой котел. В паровом котле газ проходит в направлении снизу вверх, омывая горизонтальные трубки котла, и выходит над трубками вверху камеры с температурой 380° .

Котел представляет собой прямоугольную шахту размером в плане $2 \times 1,5$ м и высотой, равной высоте примыкающей к нему пыльной камеры. Поверхность нагрева котла $92,5$ м². На 1 кг сухого пирита получают 1,3—1,5 кг пара давлением 8 ат. Трубки покрыты чугунными ребристыми кольцами, что увеличивает поверхность нагрева и защищает трубки котла от коррозии.

Котел не имеет разъемных соединений внутри кладки. Концы трубок вынесены за стену камеры и соединены между собой стальными дугами.

В конструктивном отношении котел немногим отличается от описанного ниже при печах для сжигания распыленной серы (стр. 181). Отличие этого котла в том, что он имеет одну, а не две шахты с трубками, так как первая шахта в этом котле служит пыльной камерой.

Газ по выходе из котла по газоходу направляется в первую промывную башню; из этого же газохода отбирается часть газа, которая нагнетается вентилятором в форсунку для распыления пирита в печи.

У нас в СССР для сжигания флотационного колчедана первая печь производительностью 15 т колчедана в сутки была спроектирована в 1928 г. и установлена на Полевском заводе.

Печь представляла собой прямоугольную камеру высотой 4 м и в поперечном сечении $1,5 \times 4,6$ м. Печь перегородкой разделялась на камеру сжигания и пыльник. Колчедан вдувался в камеру сжигания через форсунку, установленную в нижней части камеры наклонно на 15° к фронтальной стене камеры сгорания. В первоначальной своей конструкции печь не могла долго работать, так как размягчающийся обжигаемый материал и огарок при-

липали к своду печи, образуя с течением времени так называемые «козлы» довольно солидных размеров, доходивших до 0,6—0,7 т. Эти наросты, отрываясь от свода, при падении разрушали нижнюю часть печи.

Увеличение высоты печи, снижение начальной скорости смеси воздуха с колчеданом при выходе из форсунки, добавление к колчедану пылевидного огарка не дали положительных результатов. Тогда кирпичный свод печи был заменен железными ящиками, охлаждаемыми водой. Это снизило температуру в верху печи до 700—750° и образование наростов совершенно прекратилось.

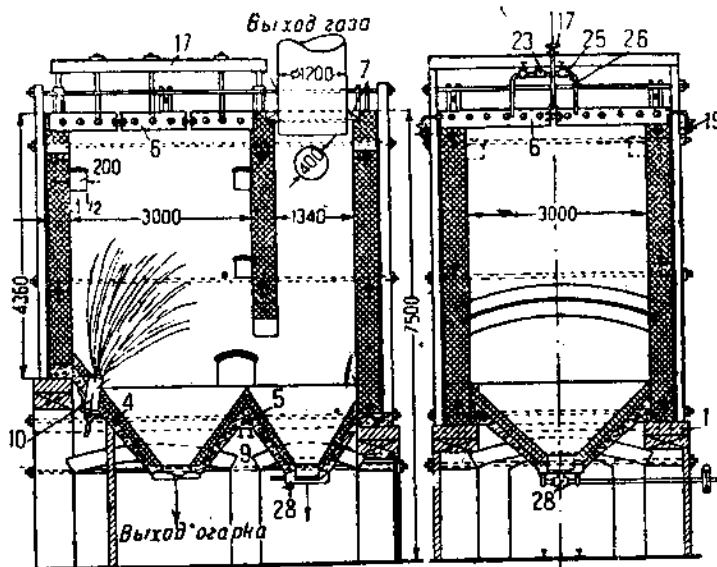


Рис. 39. Прямоугольная печь для сжигания флотационного колчедана.

На рис. 39 представлена прямоугольная печь в том виде, в котором она работает в настоящее время на наших заводах.

Печь представляет собой прямоугольную шахту высотой 7500 мм со сторонами 5500 × 3750 мм. Вся печь (за исключением цоколя) заключена в кожух из 5-мм железа, что помимо прочности предохраняет печь от подсоса воздуха через трещины, могущие образоваться в кладке печи. Печь выложена из огнеупорного кирпича и разделена внутри перегородкой, не достигающей донизу, на две камеры. В первой из них происходит главным образом сгорание колчедана, а во второй осаждение пыли. Горение в значительно меньшей мере продолжается также и во второй камере и даже в газоходах. Печь покоится на кирпичном цоколе 1 высотой в 2300 мм. Внизу печь оканчивается двумя железобетонными бункерами 4 и 5, выложенными изнутри в полкирпича.

Бункеры покоятся на кирпичном цоколе 1, а средней своей частью опираются на две двутавровые балки 9, концы которых заделаны в цоколь.

Камера сжигания вместо свода имеет шесть коробок 6, сделанных из 10-мм котельного железа. Коробки соединены между собой болтами с прокладками из асбеста и опираются краями на футеровку печи. Для предотвращения от провисания средней части коробок они подвешены тягами из круглого железа к двум горизонтально расположенным балкам 17. Как показала практика, прямоугольные и открытые коробки быстро прогорают и поэтому в настоящее время дно этих коробок стали делать цилиндрическим и закрытым. В передней фронтальной части бункера камеры сжигания укреплены две форсунки 10, через которые поступает

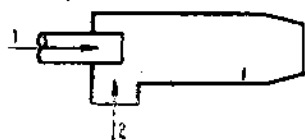


Рис. 40. Форсунка для прямоугольной печи пылевидного обжига.

1 — ввод колчедана и первичного воздуха, 2 — ввод вторичного воздуха.

смесь флотационного колчедана с воздухом. Воздух нагнетается в форсунку вентилятором под давлением 200—250 мм вод. ст. и благодаря этому гонит пылевидный колчедан снизу вверх. Частицы пылевидного колчедана, попадая в камеру сжигания, где температура достигает 800—850°, сгорают и образовавшийся в процессе горения сернистый газ из камеры сгорания, огибая кирпичную перегородку, направляется вверх в железную газовую трубу диаметром 1200 мм. Железная труба опирается при-

клепанным к ней угольником на чугунную плиту 7.

Плита сделана из четырех частей и собирается на болтах с асбестовыми прокладками. Обгоревшие частицы колчедана падают в бункеры 4 и 5, откуда по мере накопления они высыпаются в подставленные вагонетки, для чего предварительно открывают реющие затворы 28.

Вода для охлаждения верхних коробок поступает из общего трубопровода 23, от которого идут ответвления 26 в каждую коробку. Количество подаваемой воды регулируется отдельными вентилями 25. Спуск воды из коробок производится через соответствующие трубки, вваренные в стенках корыт, в две сборные трубы 19. Вода поступает и отводится непрерывно, причем температура отводимой воды не должна превышать 60—70°. Расход воды на охлаждение верхних коробок для печи производительностью 20 т колчедана в сутки равен 1,5—2 м³/час.

Печь снабжена двумя форсунками: производительность каждой из них доходит до 20 т в сутки.

Печь была запроектирована Гипрохимом на производительность в 30 т в сутки, но, как показала практика Кировградского и Пермского заводов, в ней удается сжигать до 40 т в сутки флотационного колчедана, считая на 45%-ный колчедан. По нашему мнению производительность в 40 т также не является пределом.

Весьма важной деталью является форсунка для колчедана, так как от ее работы зависит получение хорошей пылевоздушной смеси, от чего, в свою очередь, зависит полнота сгорания колчедана. Применяемая в прямоугольных печах форсунка представлена на рис. 40. Конструкция форсунки весьма проста. Через внутреннюю трубку производится вдувание колчеданной пыли током первичного воздуха, а в пространство между трубками вводится вторичный воздух, причем у конца форсунки оба воздушных потока соединяются.

Развитие процесса сжигания флотационного колчедана привело к новому типу печи — цилиндрической (рис. 41).

Печь представляет собой цилиндр высотой вместе с цоколем 11 600 мм и диаметром 3700 мм. Огнеупорная футеровка печи в один кирпич заключена в железный кожух толщиной 6 мм. В нижней своей части печь заканчивается бункером, а сверху перекрыта сводом из огнеупорного кирпича.

Вся печь покоится на кирпичном

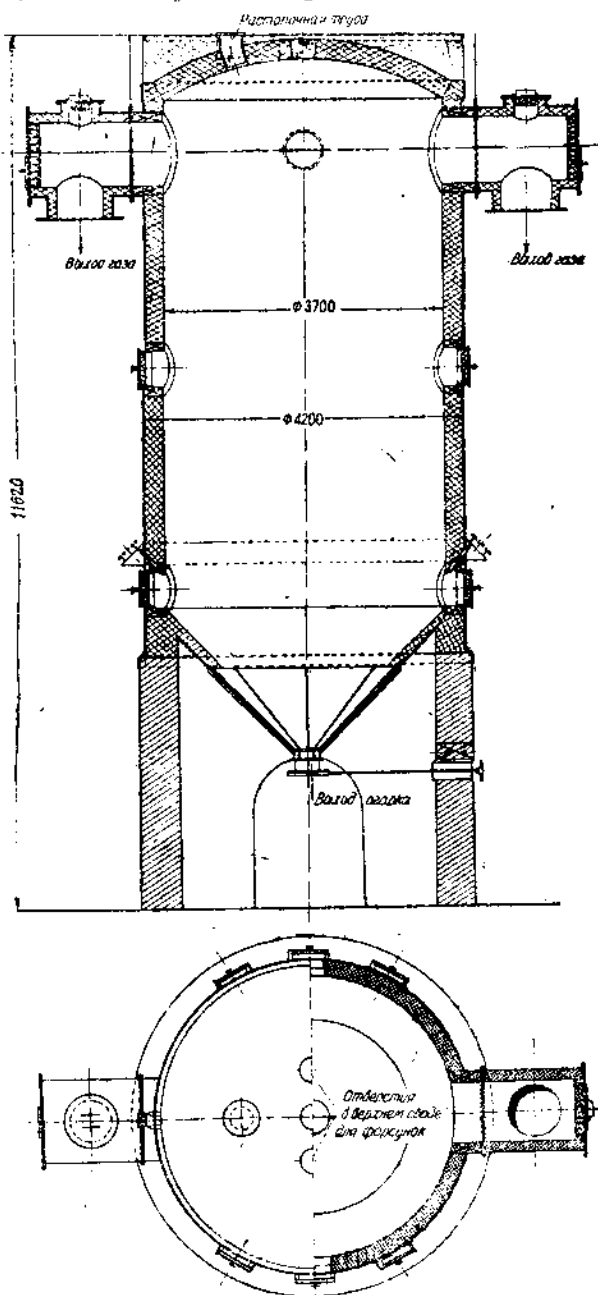


Рис. 41. Цилиндрическая печь.

кольцевом постаменте, имеющем проем, через который вкачивается вагонетка под бункер печи. Бункер имеет реечный затвор, через который выпускается огарок по мере его накопления.

В своде печи устанавливаются две форсунки, через которые в печь вдувается флотационный колчедан. Колчедан, поступая через форсунки в раскаленную зону печи, сгорает и образовавшийся сернистый газ направляется по двум боковым газоходам диаметром 640 мм, присоединенным к верхней части печи. Газоходы футерованы огнеупорным кирпичом и имеют шиберы, которыми печь отключается и включается при остановке и пуске. Шиберы обслуживаются небольшой лебедкой, установленной на верхней площадке печи.

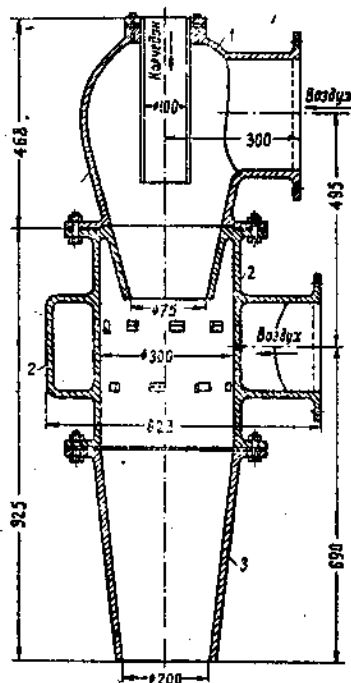


Рис. 42. Форсушка.

1 — верхняя часть форсунки, 2 — средняя часть, 3 — конус.

Для лучшего выгорания серы в колчедане часть воздуха помимо форсунок подается в нижнюю часть печи. Несгоревшие частички колчедана, падая вниз, подхватываются этим воздухом, поддерживаются некоторое время во взвешенном состоянии и выгорают. Воздух подается в нижнюю часть печи в количестве до 60—70% от общего количества воздуха, необходимого для всего технологического процесса. Остальной воздух подается в печь через форсунки. Огарок (по мере его накопления в бункере) удаляется через реечный затвор в подставленную для этой цели вагонетку. Печь снабжена рядом дверок, расположенных на разной высоте, дверцы служат для наблюдения за процессом, а также на случай периодической чистки и ремонта печи.

При нормальной эксплуатации печь дает высокопроцентный газ, содержащий 11—13% SO_2 , и сжигает 25—30 т флотационного колчедана в сутки. Эта производительность без особых затруднений может быть повышена до 35—40 т. Температура в круглых печах, вследствие отсутствия верхних охлаждающих коробок, на 200° выше, чем в прямоугольных, и достигает $950\text{—}1000^\circ$. Чем крепче газ, чем больше серы содержит сжигаемый колчедан и чем выше нагрузка печи, тем выше температура в печи. Высокая температура в печах благоприятствует их хорошей работе. С понижением температуры горение колчедана замедляется и остаток серы в огарке увеличивается.

При нормальной эксплуатации печи содержание серы в огарке не превышает 2—2,5%, что соответствует эффекту, получаемому на механических печах. Обслуживание печи несложно: для удовлетворительной работы печи необходима равномерная подача колчедана и воздуха, что достигается исправной работой механизмов и вентиляторов, питающих печь колчеданом и воздухом.

Высокая температура выходящего газа из печи ($900-950^{\circ}$) и необходимость охлаждать его для нормальной работы коттрелей до $400-450^{\circ}$ дает возможность использовать эту разницу температур на получение пара или на подогрев воздуха. В существующих работающих установках эта теплота не используется и охлаждение газа производится путем устройства длинных железных газоходов.

Для подачи колчедана в печь в ее своде устанавливают три форсунки, из которых две работающие и одна запасная. На рис. 42 представлена форсунка для цилиндрических печей. Форсунка представляет аппарат, состоящий из трех основных деталей: 1 — верхняя часть форсунки, 2 — средняя часть и 3 — нижняя часть, или конус. Все эти детали изготовляются из чугуна и соединяются между собой болтами на асбестовых прокладках. В верхней части форсунки укреплена труба диаметром 100 мм; по этой трубе из шнекового питателя поступает флотационный колчедан, подхватываемый первичным воздухом, поступающим через боковой штуцер, диаметром 250 мм. Вся средняя часть форсунки окружена круглой коробкой со штуцером диаметром 200 мм, через который подается так называемый вторичный воздух. Воздух из коробки поступает во внутреннюю часть форсунки через прямоугольные отверстия размером 40×20 мм в корпусе средней части форсунки; отверстия в теле коробки имеют направления в низ форсунки.

Первичный воздух, поступая в форсунку, как бы инжектирует колчедан и направляет его вниз, вторичный же воздух, поступающий в круглую коробку, устремляется в отверстия и, приобретая известную скорость, подхватывает и завихряет частички колчедана, перемешивает их и через нижний конус форсунки выбрасывает в печь. Воздух подается в форсунку специальным вентилятором под давлением 200—250 мм вод. ст. Выходное отверстие нижнего конуса форсунки делается трех размеров: диаметром 150, 180 и 200 мм. В зависимости от количества и качества поступающего колчедана устанавливается тот или иной конус. Общая длина форсунки 1390 мм, вес ее 200 кг. Питание колчеданом регулируется шнековым питателем, выходное отверстие которого соединено с центральным каналом форсунки.

Шнековый питатель представлен на рис. 43. Внутри чугунного корпуса помещается шнек питателя, изготовленный из стали. Применение стали для шнека вызывается быстрой изнашиваемостью другого вида металла (чугуна, железа). Корпус питателя верхним патрубком прикрепляется к нижней части колчеданного бункера.

К выходному отверстию корпуса примыкает труба, по которой колчедан из питателя поступает в форсунку. Диаметр вала шнека 50 мм, диаметр витка 100 мм. Вал шнека питателя покоится на специальных подшипниках; для центрирования вала в левой части установлен упорный шарикоподшипник; левая часть вала выходит из корпуса питателя и на него насаживается коническое зубчатое колесо, приводимое во вращение от другого конического колеса, в свою очередь, насаженного на общий вал привода шнековых питателей. В оба конца вала подается смазка из установленных штауферов. Для быстрой очистки питателя и для удобства ремонта и смены отдельных частей корпус питателя изготовлен из двух половин (верхней и нижней), собранных на болтах

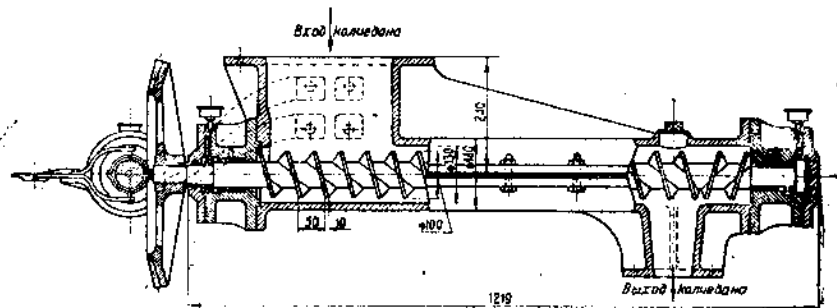


Рис. 43. Шнековый питатель.

с асбестовой прокладкой между ними. При вращении питателя материал движется вправо к выходному отверстию и для предотвращения от забивания пылью правого подшипника два последних витка вала питателя имеют уклон в обратную сторону и тем самым не дадут проникать частичкам колчедана во втулку подшипника.

Привод шнекового питателя следует делать от индивидуального мотора, ибо, как показала практика, регулирование числа оборотов питателя в зависимости от качества поступающего колчедана от общего привода шнековых питателей весьма затруднительно, так как каждый питатель, ввиду неравномерной его срабатываемости, подает различное количество флотационного колчедана; привод шнековых питателей от индивидуального мотора в этом случае имеет преимущество. Для регулирования числа оборотов шнекового питателя между мотором и валом питателя устанавливается специальный фрикционный привод, позволяющий регулировать число оборотов от 25 до 50 в минуту, что соответствует производительности шнекового колчедана в сутки. Увеличение производительности питателя вызывается тем обстоятельством, что зачастую приходится сжигать флотационный колчедан с содержанием серы не в 40—45%, а 30—32%; в этом случае печь должна сжигать соответственно большее количество колчедана,

так как производительность печи рассчитывается, исходя из количества сожженной серы в колчедане.

Вследствие частой порчи фрикционного привода его обыкновенно на заводах заменяют ступенчатым шкивом. Но мы не считаем это целесообразным; гораздо правильнее идти по пути улучшения конструкции фрикционного привода. Потребная мощность мотора для шнекового питателя не превышает 1 л. с., но, принимая во внимание низкий коэффициент полезного действия (к. п. д.) фрикционного привода, большое количество трущихся деталей, установочную мощность мотора принимают 2—3 л. с. Уход за шнековым питателем чрезвычайно прост, наблюдение ведется лишь за своевременной подачей масла в штауферы и за тем, чтобы в питатель не попадали посторонние тела, что легко определяется по вращению вала. На случай аварии питателя он быстро выключается из работы специальной отводкой, скрепленной с расцепной муфтой, и замена сломанной детали производится весьма быстро, так как корпус питателя состоит из двух половинок. На время ремонта питателя включается один из резервных питателей, обычно всегда устанавливаемых в системе питательных механизмов печи. Печи пылевидного обжига имеют перед механическими печами ряд следующих преимуществ:

1. Тип самой печи устраняет опасность спекания колчедана.
2. Сжигание колчедана в распыленном состоянии дает возможность вести процесс обжига при меньшем коэффициенте избытка воздуха, а следовательно получить более концентрированный и более горячий газ.
3. Пуск печей осуществляется в течение 4—5 час., тогда как пуск механических печей занимает 3—4 дня. Точно так же можно выправить и отрегулировать работу печей пылевидного обжига гораздо быстрее, чем работу механических печей.
4. Печи пылевидного обжига просты по устройству и не требуют для своего сооружения специальной керамики и сложного литья. Кроме того эти печи требуют меньше чугунного литья для своего изготовления.
5. По сравнению с механическими печами они занимают меньший объем, что уменьшает затраты на здание.
6. В печах пылевидного обжига возможно использование тепла печных газов.

Однако печи пылевидного обжига имеют ряд существенных недостатков. Без устранения некоторых из этих недостатков дальнейшее распространение таких печей нецелесообразно.

1. Сгорание в распыленном состоянии создает условия для большей запыленности газов. В то время как запыленность газов при механических печах составляет 4—8 г/м³, запыленность газов печей пылевидного обжига достигает 70—80 г/м³. Поэтому газоходы после печей должны быть особой формы и конструкции, так как применение обычных горизонтальных газоходов неприемлемо ввиду забивания последних пылью после нескольких часов работы печного отделения. Чистка же газоходов вызывает столь частые

остановки, что ведение нормального процесса в системе становится весьма затруднительным.

2. Высокая температура огарка делает работу по его удалению в вагонетку, особенно когда в нем еще есть невыгоревшая сера, чрезвычайно тяжелой и антигигиеничной. Основной трудностью работы этих печей оказалось неравномерное выгорание серы. Временами давая нормальный по содержанию серы огарок, эти печи часто выпускают огарок с содержанием до 8—10% серы.

3. Вследствие значительной запыленности газов при печах пылевидного обжига необходимо устанавливать двойную электроочистку.

4. Вследствие полного отсутствия в этих печах запаса горящего колчедана при малейшем перебое в питании печи концентрация газа резко меняется.

5. В нижних бункерах печи часто наблюдается спекание огарка (козлы).

/Требование равномерности величины частиц колчедана, подаваемого в печь, должно быть основным при работе на этих печах. Вот почему колчедан должен обладать особой сухостью, исключаяющей возможность его комкования. Полнота выгорания серы зависит не только от количества и качества колчедана, поступающего в печь, но и от умелого регулирования работы самой печи (см. ниже).

IV. ВРАЩАЮЩИЕСЯ ПЕЧИ

Вращающиеся печи хорошо известны в цементной промышленности и лишь в последнее время их начали применять в производстве серной кислоты.

Попытки применить эти печи для обжига колчедана известны почти 25 лет назад, но эти попытки оканчивались неудачами, так как колчедан на некотором расстоянии от ввода в печь спекался и покрывал печь коркой. Известны также случаи, когда огарок из печи выходил в расплавленном состоянии. Это объясняется тем, что в печи развивалась высокая температура, при которой получающиеся в первой стадии сернистое железо (FeS) вместе с частично образовавшимися окислами железа ошлаковывалось. Вследствие этого реакция горения приостанавливалась и расплавленный первоначально материал затвердевал, образуя корку. Горение в печи затруднялось также и потому, что количество воздуха, подаваемого в печь с одного конца, было недостаточно.

Таким образом первые опыты сжигания колчеданов во вращающихся печах обычной конструкции были не удачны. В дальнейшем изменения, внесенные в конструкцию печи инж. Кауфманом, доктором Гансом-Клеммом и Дейчем, значительно улучшили работу печей и сделали возможным применение вращающихся печей для сжигания всех видов серусодержащего сырья. Эти изменения сводились к тому, что необходимый для горения колчедана воздух стали вводить не с одного конца печи, а по

всей ее длине, вследствие чего печь получала в каждой своей части столько воздуха, сколько нужно для горения и для предупреждения от чрезмерного накала.

В той части печи, где горение происходит особенно энергично, для отвода тепла стали делать наиболее тонкую футеровку; у конца печи на выходе, наоборот, футеровка была увеличена, что уменьшило потерю тепла в этой части печи и способствовало лучшему выгоранию последних остатков серы в огарке. Работа печи значительно улучшилась еще вследствие того, что на внутренней поверхности печи стали делать лопаточные выступы с целью создать дополнительную поверхность для обжига руды. Этими выступами при вращении печи руда поднималась и при падении частички ее, находясь в атмосфере печи, лучше и быстрее выгорали.

В американских установках с целью понижения температуры во вращающихся печах при сжигании в них колчедана в шихту добавляется огарок в 3—4-кратном количестве от веса колчедана.

В настоящее время вращающиеся печи в производстве серной кислоты применяются для обжига всех видов колчеданов, для получения SO_2 из гипса с одновременным получением портланд-цемента, для совместного обжига углистого колчедана и гипса и т. д.

1. Устройство и работа вращающейся печи

Вращающиеся печи представляют собой железный барабан, внутри футерованный огнеупорным кирпичом. Ось барабана расположена наклонно под углом 3° . Печь работает по принципу противотока материалов и газа.

Общий вид печи, работающей по немецкому методу, представлен на рис. 44. Печь имеет три стальных банджа; каждый бандаж покоится на двух роликах, вращающихся на осях. Для вращения печи на нее насажена большая шестерня, имеющая зацепление с малой шестерней.

При сжигании колчедана с размером зерен от 0 до 10 мм продолжительность одного оборота в минутах равна диаметру в метрах. Таким образом печь диаметром 2 м делает один оборот в 2 мин., а печь диаметром 2,8 м делает один оборот в 2,8 мин., следовательно окружная скорость у всех печей для данного класса зерен колчедана постоянна и равна 0,0523 м/сек.

Лучшим отношением размера печи является отношение диаметра к длине 1 : 10.

Для установления средней производительности печи с некоторым приближением может служить очень простая формула (Дебуха)

$$Q_{\text{м/сутки}} = Rl,$$

где $Q_{\text{м/сутки}}$ — количество колчедана в т, сжигаемого в сутки, R — радиус печи, l — длина печи. По этим данным, зная диаметр печи, легко определить ее длину и производительность. Если например говорят о двухметровой печи, то под этим понимают печь, у которой внутренний диаметр железного барабана равен 2 м, длина печи равна $2 \times 10 = 20$ м, производительность печи

Отсутствует равна $Rl = 1 \times 20 = 20$ т/сутки мелкого колчедана с размером зерна от 0 до 10 мм. Печь делает в 2 мин. один оборот и при этих условиях даст наилучшие результаты обжига.

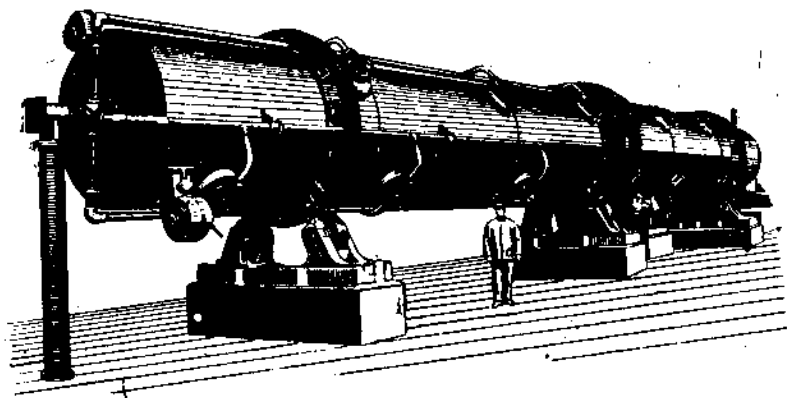


Рис. 44. Общий вид вращающейся печи.

Размеры печей, изготовляемых фирмой Льюриг, даны в табл. 15.

У верхнего конца печь снабжена коробкой для выхода газов и питательным устройством для колчедана. На рис. 45 изображена коробка для выхода газа. В конструктивном отношении коробка представляет наиболее сложную деталь печи. Требования, предъявляемые к этой детали, — полная герметичность в месте ее присоединения к печи. Вследствие значительной длины и большого диаметра печи, а также и температурных расширений, конец печи неизбежно производит некоторое качание. При таких условиях герметичность достигается тем, что коробка не прикреплена намертво, а подвешена таким образом, что она может качаться одновременно с печью.

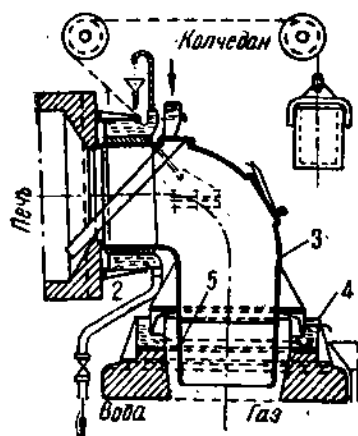


Рис. 45. Коробка для выхода газа:

1 и 2 — кольца, 3 — колено, 4 — водяной латвор, 5 — цилиндрический манжет.

Конструкция коробки заключается в следующем: чугунное кольцо 1 прикреплено к торцевой стенке печи; в это кольцо вставлено полое кольцо 2 с двойными стенками, не соединенное с кольцом 1. Поверхность соприкосновения колец 1 и 2 тщательно обработана и смазывается пласуферными маслом. Между стенками кольца 2 циркулирует вода для охлаждения. Так как холодная поверхность кольца может конденсировать на себе пары серной кислоты, то она облицована

изнутри фасонным огнеупорным кирпичом. Эта футеровка служит одновременно и тепловой изоляцией, не допускающей охлаждения газа. С полым кольцом 2 соединено чугунное колено 3, по которому отводится из печи газ. Чугунное колено 3 подвешено на двух канатах с роликами и противовесами. Нижний конец колена 3 опущен в гидравлический затвор 4. Для устранения попадания пыли в затвор и во избежание соприкосновения газа с водой затвора к колену 3 прикреплены манжеты 5. Подвеска колена 3

Таблица 15

Тип печи	Диаметр печи в м	Длина печи в м	Производи- тельность печи в т за 24 часа	Потребная мощность в л. с.
1	1,6	17	9—11	8—10
2	2,0	20	15—17	10
3	2,0	24	19—21	10—12
4	2,4	24	23—26	12—14
5	2,4	28	26—29	12—14
6	2,8	28	34—38	14—16
7	3,0	35	45—50	20—25

на канатах и устройство затвора 4 позволяет колену 3 и кольцу 2 производить те же колебания, что и конец печи, без расстройства герметичности между кольцами 1 и 2.

Питание печи колчеданом производится по чугунной закрытой трубе, установленной в колене 3 и опускающейся своим концом в нижнюю половину печи. При такой подаче удастся избежать встречи руды с газом и этим самым уменьшить унос пыли. Труба, подающая руду в печь, верхним своим концом соединена гибкой металлической муфтой с питателем (рис. 46).

Выходное отверстие колчеданного бункера оканчивается гладкой чугунной трубой, закрываемой в нижней части поворачивающимся в обе стороны цилиндрическим сегментом. Посредством эксцентрика, шатуна и вала, соединенного с сегментом, по-

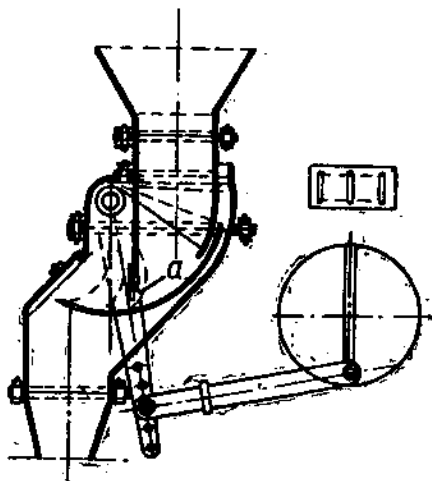


Рис. 46. Питатель для загрузки колчедана.

следнему сообщается колебательное движение. Подача колчедана в печь регулируется высотой слоя материала на сегменте. Увеличение или уменьшение подаваемого материала достигается подъемом

или опусканием задвижки *a* над цилиндрическим сегментом. Питательное устройство помещается внутри закрытого чугунного кожуха, присоединенного болтами к течке бункера, нижняя же часть кожуха через гибкую металлическую муфту присоединена к трубе в головке печи.

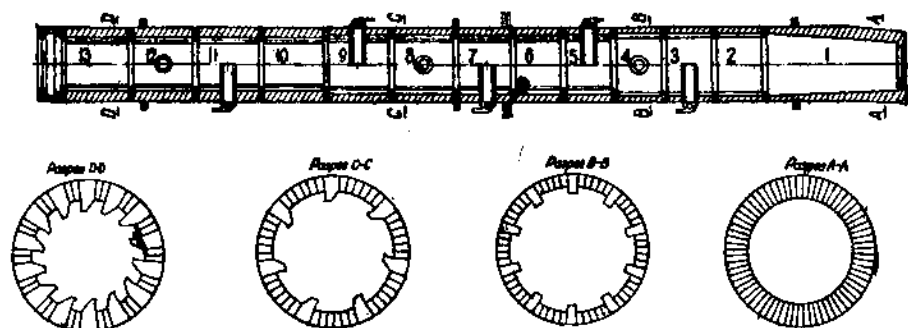


Рис. 47. Футеровка печи.

Печь внутри футерована огнеупорным кирпичом. На рис. 47 в продольном и поперечном разрезах дана футеровка печи. Футеровка в камере 1 в печи гладкая (см. разрез А—А); в камерах 2, 3 и 4 футеровка имеет девять прямых выступов (см. разрез В—В); камеры 5, 6, 7, 8 и 9 имеют по семь изогнутых выступов (см. разрез С—С), а камеры 10, 11, 12 и 13 по 14 таких же выступов. Выступы поднимают руду при вращении печи; этим увеличивается поверхность обжига. Футеровка камеры 14 имеет форму жолоба. В этой части печи диаметрально противоположно расположены два выгрузочных устройства для огарка (рис. 48).

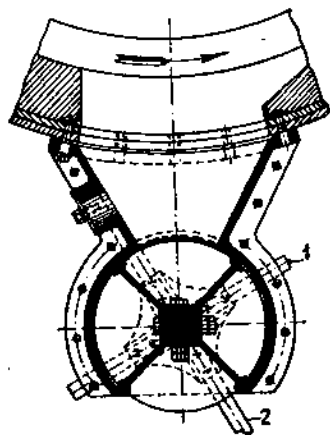


Рис. 48. Выгрузка огарка:

1 — четырехконечная звезда,
2 — длинный конец.

Выгрузочные устройства состоят из чугунного кожуха, в котором имеется поворотная крестовина. На валу крестовины снаружи кожуха укреплен из полового железа четырехконечная звезда 1, конец 2 которой при повороте печи всякий раз наталкивается на упор, благодаря которому при одном повороте печи крестовина поворачивается на угол в 90° , опорожняя $\frac{1}{4}$ кожуха.

По всей длине печи установлены дюзы для подачи воздуха. Одни из них предназначены для работы со всасыванием воздуха, другие же для работы со сжатым воздухом. Подача сжатого воздуха производится по трубопроводу, подходящему снаружи к центру печи (рис. 44); этот трубопровод соединен сальником с наружным трубопроводом, укрепленным на торцевой и цилиндрической поверхности печи.

От продольных трубопроводов идут отростки к дюзам, работающим сжатым воздухом. На рис. 49 представлен дюз, работающий со всасыванием воздуха.

Дюз представляет собой полый усеченный конус, который закрывается с наружного конца железным шибером. Шибер состоит из двух круговых секторов, из которых один неподвижный, а второй подвижный. Поворачиванием подвижной части можно увеличивать или уменьшать отверстие для прохода воздуха. На шибере имеется градуированная шкала, показывающая процент открытия при разных положениях шибера. Наружная часть дюза имеет ши-

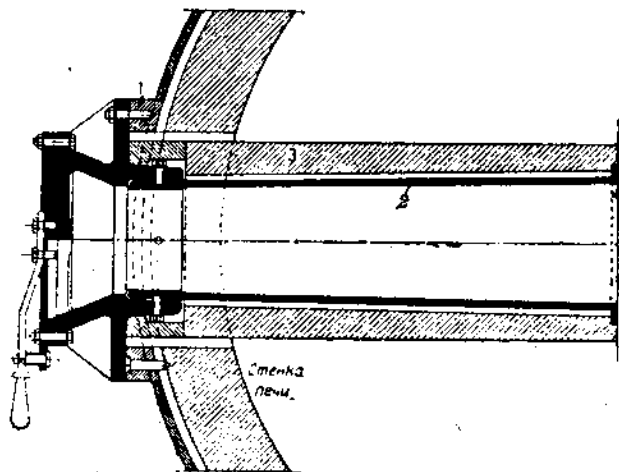


Рис. 49. Дюзы для воздуха:

1 — втулка, 2 — чугунная труба, 3 — шмотная гильза.

рокий фланец, который шпильками привертывается к втулке 1, приваренной к цилиндру печи. Внутренняя часть дюза представляет собой коническую чугунную трубу 2, доходящую до оси печи. При таком положении дюза исключается возможность его засыпания горящим колчеданом. Для защиты от высокой температуры и коррозии труба помещена в шмотную гильзу 3. Конструкция дюза позволяет после отвинчивания шпильек вынуть его целиком из печи. Дюзы, работающие с засасыванием воздуха, одновременно являются и смотровыми окнами. Дюзы, работающие воздухом под давлением, по своей конструкции аналогичны описанным выше. Общее количество дюз 11—13 шт. Регулирование воздуха, подаваемого через дюзы, делает возможным точное распределение требуемого для горения воздуха по всей длине печи, в зависимости от хода обжигового процесса.

Горизонтальные вращающиеся печи дают более высокое содержание SO_2 в газе, чем механические. По данным Дебуха процент SO_2 в печных газах в среднем держится равным 10%, а временами достигает 11—13%. Содержание SO_3 в газах в среднем равно 0,3—0,4%. Температура в печи и отходящих газах зависит глав-

ным образом от содержания серы в колчедане. На рис. 50 приведены кривые изменения температур по длине печи для разных сортов колчедана.

Отходящие газы имеют температуру, равную 600—650°, при содержании SO_2 в газе 8,5—9,5%. Температура измеряется по дюзам и относится к печи диаметром 2,8 м и длиной 28 м. Производительность печи 35—40 т в сутки. Количество выгорающей серы по длине печи зависит от величины зерен колчедана. Опыты, про-

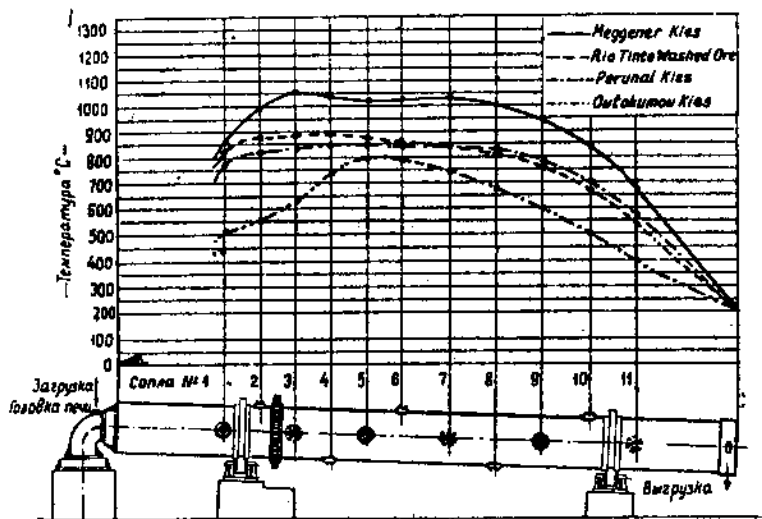
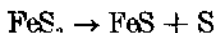


Рис. 50. Кривая обжига колчедана в печи длиной 28 м, диаметром 2,8 м, при нагрузке 30—40 т в сутки.

изведенные в этом направлении с меггенеровским колчеданом, дают полное представление о характере обжига зерен колчедана разной величины. Для этой цели через дюзы отбирались пробы, которые после охлаждения разделялись на зерна величиной 0—2, 2—4, 4—6 и 6—8 мм; каждая фракция анализировалась отдельно. Результаты анализов даны в табл. 16 и представлены в виде кривых на рис. 51.

В диаграмме на рис. 51 по оси ординат отложено процентное содержание серы, а по оси абсцисс — номера дюзов, через которые были взяты пробы. Вид кривых и данные табл. 16 показывают, что содержание серы у первого и второго дюзов во всех пробах независимо от величины зерен, почти одинаковы. Это объясняется тем, что на этом участке происходит отщепление 1 атома серы по реакции



и что это отщепление в очень малой степени зависит от величины зерен. Обессеривание колчедана продолжается и в той нижней

части печи, которая представляется нам наиболее холодной и где мы этого совершенно не ожидали. Это явление объясняется тем, что воздух, который поступает через дюзы в нижнюю часть печи

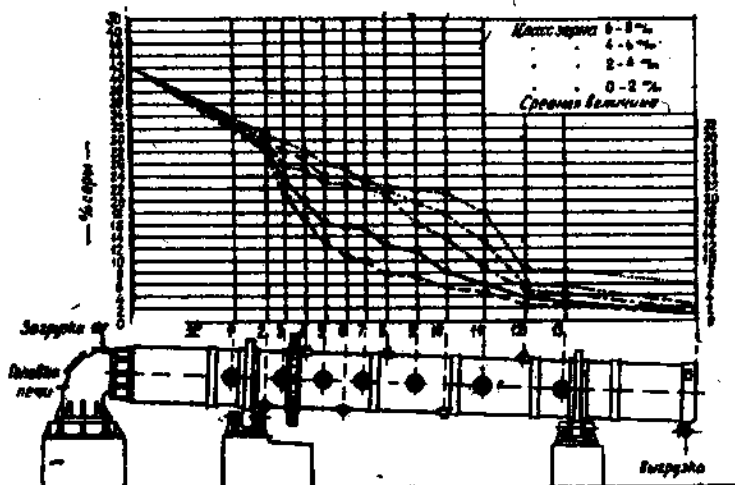


Рис. 51. Кривая обжига в зависимости от размера зерна.

на сравнительно небольшом расстоянии, вследствие тесного соприкосновения с горячей рудой быстро нагревается и производит об-

Таблица 16

Проба	Процент серы в пробе при размере зерен в мм				
	0—2	2—4	4—6	6—8	Среднее
Колчедан . . .	—	—	—	—	42,3
1-й дюз . . .	31,8	31,6	31,8	32,7	31,6
2-й . . .	28,4	29,9	29,8	30,9	29,2
3-й . . .	21,4	25,7	28,0	28,3	23,8
4-й . . .	17,2	25,4	27,0	27,5	20,3
5-й . . .	12,8	23,1	26,4	25,9	16,1
6-й . . .	10,8	22,8	23,8	24,8	15,5
7-й . . .	10,0	22,0	23,6	23,7	15,5
8-й . . .	7,5	19,5	21,8	23,4	12,1
9-й . . .	7,2	16,5	19,8	21,7	11,6
10-й . . .	5,6	13,7	17,6	21,0	9,2
11-й . . .	4,8	8,3	13,0	17,9	8,1
12-й . . .	2,3	4,9	6,1	8,8	3,6
13-й . . .	2,5	4,3	5,7	8,2	3,2
Огарок . . .	0,77	1,7	2,3	6,0	1,22

жиг материала при температуре 350—400°. Этим же объясняется и тот факт, что температура огарка при выходе из печи равна всего 200—250°.

Наиболее интенсивный обжиг мелкого колчедана (0—2 мм) происходит в верхней части печи и с возрастанием размера крупинок оптимум передвигается книзу. Выгорание серы в мелком колчедане (0—2 мм) почти заканчивается на расстоянии $\frac{2}{3}$ от головки печи и в дальнейшем идет обжиг лишь более крупных зерен. Из сказанного следует, что скорость обжига значительно возрастает с уменьшением величины зерен и следовательно при обжиге флотационного колчедана печь должна иметь меньшую длину, чем при обжиге рядового колчедана.

Обжигаемый материал во вращающихся горизонтальных печах находится в большей своей части во взвешенном состоянии и поэтому содержание серы в огарке при этих печах меньше, чем при механических. По данным Дебуха при обжиге обыкновенного колчедана в механических печах остается серы в огарке 1,2—1,8 %, а в горизонтальных вращающихся 0,8—1 %.

При обжиге медистого колчедана горизонтальная печь давала огарок с содержанием серы 2—2,8 %, а механическая при обжиге того же колчедана 3,5—4,5 %.

В табл. 17 дано содержание серы в огарке в зависимости от величины зерен для горизонтальных и механических печей. Обжигаемый колчедан содержал до 7 % цинка.

Таблица 17

Величина зерен	Процент серы в огарке	
	горизонтальная печь	механическая печь
До 5 мм	4,7	5,7
5—2,5 "	3,6	3,9
2,5—1,0 "	2,6	3,3
1—40 меш	2,3	2,8
40—80 "	2,6	2,8
80—120 "	2,7	2,9
120—200 "	3,0	3,1
От 200 и меньше меш .	2,9	3,6
Среднее	3,1	3,5

Содержание пыли в газе, как это и должно быть, при горизонтальных печах значительно больше, чем при механических. К. М. Малин приводит следующие сравнительные данные для тех и других печей (табл. 18).

Таким образом запыленность газов при горизонтальных печах почти в 3 раза больше, чем при механических. Однако запыленность газов и при горизонтальных печах не высока и может быть легко очищена электрофильтрами, так как последние могут легко

Таблица 18

№ пробы	Содержание пыли в г/м ³			
	При выходе из печи		После простой пыльной камеры	
	горизон. печь	механ. печь	горизон. печь	механ. печь
1	10,77	5,22	0,445	0,073
2	4,27	1,11	0,020	0,032
3	—	1,75	0,025	0,040
4	5,23	1,36	0,114	0,040
5	3,40	0,84	0,030	0,096
6	5,63	6,42	0,050	0,048
Среднее . .	5,85	2,79	0,114	0,055

очищать газ с запыленностью, доходящей до 15 г/м³ при 0° и 760 мм давления.

Опыты, произведенные в Германии по заданию Сталингорского завода при участии наших инж. Н. П. Сосновского и Г. Л. Немчика, выявили невозможность обжига одного необогащенного углистого колчедана в горизонтальных вращающихся печах. Опыты производились в печи диаметром 1,4 м и длиной 14 м. Эта печь обжигала 10 т меггенеровского колчедана в сутки (41,8% S, 34% Fe, 8% Zn). Необогащенный колчедан имел следующий состав: 12,5% C, 38,7% S, 34,9% Fe, 0,8% H₂, 3,6% O₂, 3,9% влаги, 5,3% примесей. Степень измельчения колчедана была следующая (в %):

Частицы размером	до 0,5 мм	23,6
" " от 0,5	" 1 "	11,4
" " " 1	" 2 "	23,9
" " " 2	" 3 "	26
" " " 3	" 4 "	13
" " выше	4 "	2,1

Лучшие результаты, которых удалось достигнуть в этих опытах, следующие:

1. В сутки печь пропускала 10 т шихты, в состав которой входило 5 т углистого колчедана и 5 т огарка.
2. Состав газов был такой: 5,8—6,2% SO₂, 5,1—5,4% CO₂, 7,1—6,4% O₂, окиси углерода и углеводородов в газах не было.
3. Содержание пыли в газах по выходе из печи было 32—52 г/м³, из которой 65% оставалось в пыльниках, а 35% улавливалось электрофильтрами.
4. Сера в огарке 0,24%.

Приведенных результатов удалось достигнуть лишь при том

условии, что шихту приходилось подавать в нескольких точках печи не только через питатель, но и через дюзы.

Как показали опыты, температура в $920-940^{\circ}$ является той наивысшей температурой, при которой еще не происходило спекание в опытной печи. При увеличении нагрузки выше 10 т шихты температура поднималась значительно выше и происходило спекание материала. Дальнейшее повышение нагрузки печи возможно лишь при увеличении теплоотдачи печи в окружающую среду путем уменьшения толщины футеровки и искусственного охлаждения снаружи зоны высоких температур в печи.

Тепловой баланс вращающейся печи решается в зависимости от производительности и размеров печи, а также и от содержания серы в обжигаемом колчедане и в среднем составляется из следующего: потеря тепла в окружающую среду 47%, с отходящими газами 50% и с огарком 3%.

2. Вращающиеся печи фирмы „Кемико“

Вращающиеся печи в американских установках по своей конструкции и по методу работы отличаются от описанных выше печей. Понижение температуры в американских печах достигается не вводом воздуха по всей длине печи, а добавлением огарка к колчедану. Шихта, подаваемая в печь, состоит из 80% огарка и 20% колчедана. Огарок, добавляемый в шихту, берется из той же печи. Для охлаждения и передвижения огарка в печном отделении имеется ряд аппаратов и транспортеров.

Мы опишем здесь печное отделение, имеющее две вращающиеся печи, в том виде, как это запроектировано для наших химкомбинатов. На рис. 52 представлена схема этого печного отделения.

Колчедан из склада по ленточному транспортеру поступает в элеватор 1, а из него по течке или в бункер 2 или же по ленточному транспортеру 3 в бункер 2 (справа). Из бункеров 2 шнеками 4, находящимися в низу бункеров, колчедан подается по течкам 5 в печь № 1 и № 2. Шнеками 6 в те же печи подается и огарок из бункера 7. Колчедан, пройдя печь, сгорает и отводится вместе с обратным огарком при температуре 550° через колосниковую решетку в шнековый транспортер 8 с охлаждающим устройством. Огарок из каждой печи, охлажденный в шнековых транспортерах, подается по течкам 20 в ковши огаркового конвейера 9, в котором он транспортируется в питательный бункер 7. Избыток огарка через центральную выпускную трубу 10 поступает по течкам в скребковый транспортер 11. В верхней части огаркового бункера установлен шнековой разравниватель 12, предназначенный для обеспечения полного наполнения бункера во время остановки по какой-либо причине шнеков 6. Скребковый транспортер 11 устанавливается внизу и предназначается для собирания пылевидного огарка из загрузочных камер печей, из четырех циклонов 13, из перепускной трубы огаркового бункера и из запасного бункера 14 для огарка. Транспортером 11 огарок подается в элеватор 15, который служит для подъема огарка на пластинчатый транспор-

тер 16. Этот транспортер подает огарок в агломерационную установку, а в случае ее остановки огарок ссыпается в запасный бун-

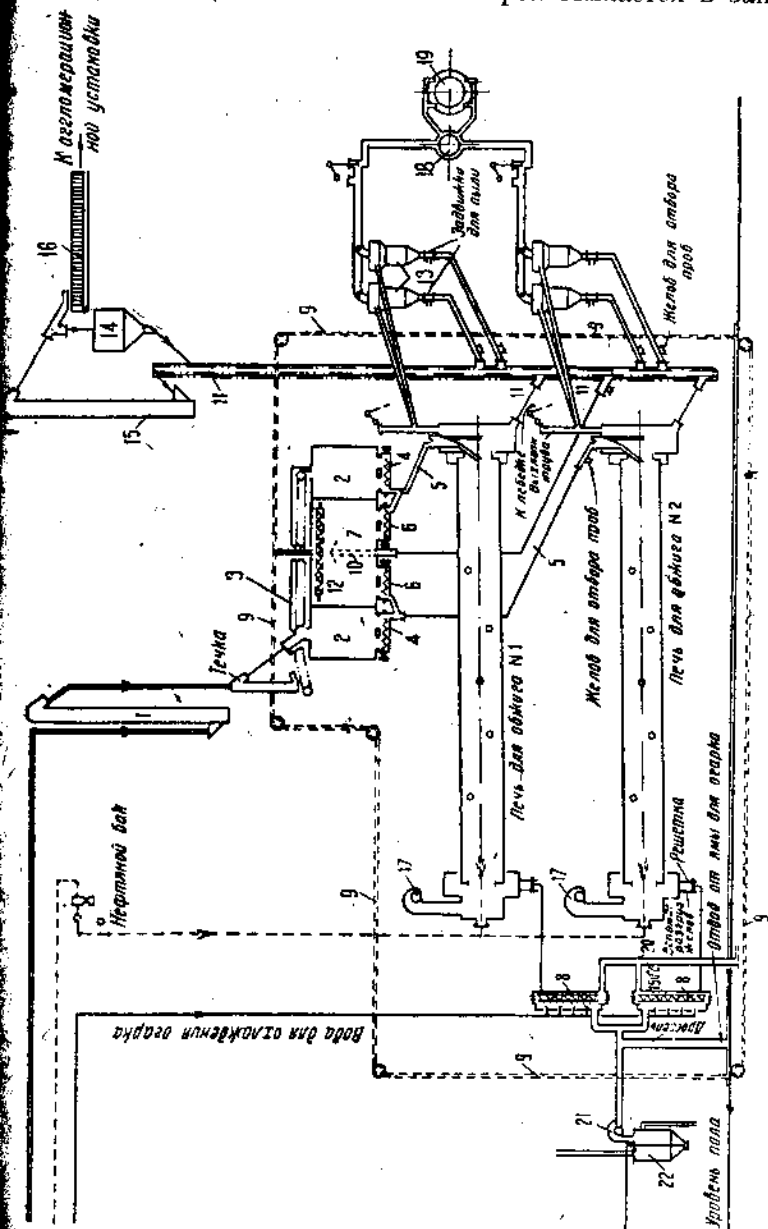


Рис. 52. Схема печного отделения с вращающимися печами Кемико:

1 — элеватор для колледжана, 2 — бункеры для колледжана, 3 — транспортёр, 4 — шнеки для колледжана, 5 — точки, 6 — шнеки для отгара, 7 — бункер для отгара, 8 — шнековый транспортёр, 9 — отгаровый конвейер, 10 — перпендикулярная труба, 11 — скребко-выд транспортёр, 12 — шнековый разравниватель, 13 — циклоны, 14 — запальный бункер для отгара, 15 — элеватор для отгара, 16 — пластинчатый транспортёр, 17 — вентилятор, 18 — сборный коллектор, 19 — промывная машина, 20 — точки, 21 — вентилятор для паров, 22 — резервуар для конденсации пара и охлаждения масла.

При пуске печи ее разогрев достигается сжиганием нефти или керосина. С этой целью печь снабжена форсунками и вентиляторами 17. Газ из каждой печи поступает в два циклона 13, включенных параллельно и служащих для осаждения пыли. По выходе из циклонов газ по газоходам поступает в сборный коллектор 18.

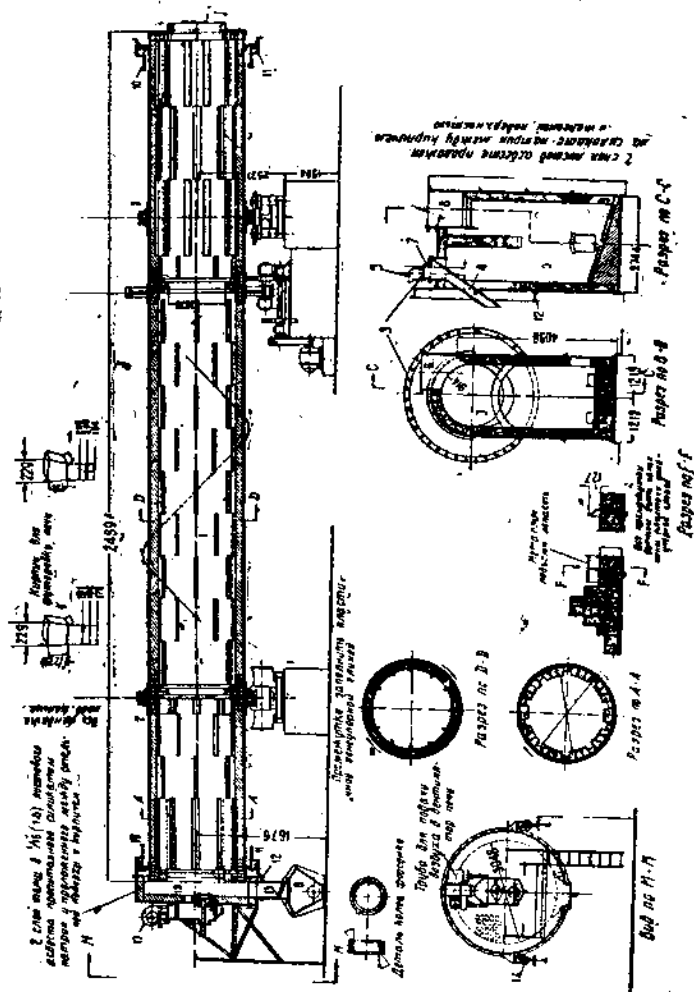


Рис. 53. Вращающаяся печь "Коминко".

1 — печь, 2 — опорные бабки, 3 — загрузочная пылесосающая камера, 4 — загрузочная труба, 5 — тележка, 6 — труба для газа из печи, 7 — место для шибера, 8 — шнековый транспортер, 9 — осыль для пыли, 10 — тружина, 11 — уплотняющее кольцо, 12 — угольный камера, 13 — разгрузочная камера, 14 — колеса, 15 — колесниковая решетка.

а из него в промывную башню 19 контактного завода. Пар и газы, образующиеся в шнековых транспортерах 8 и в жолобе огаркового конвейера 9, отсасываются вентилятором 21 и нагнетаются в резервуар 22, где конденсируются пары и осаждаются пыль, а газы удаляются через трубу, установленную на крышке резервуара.

На рис. 53 представлены продольный разрез печи и ее детали. Печь 1 представляет собой горизонтальный цилиндр, установленный с уклоном 1 : 48. Внутренний диаметр печи 2743 мм, тол-

щина железа 16 мм, длина печи 24 384 мм. Печь таких размеров, по данным Дебуха (стр. 131) для немецких конструкций, должна сжигать $\sim 1,37 \times 24,4 = 33,5$ т колчедана в сутки. Производительность же печи (согласно данным фирмы «Кемико») равна 50 т. Повышенная производительность достигается вводом в печь 4-кратного количества огарка, вследствие чего температура в горячей зоне печи может держаться не выше 850° , и спекания в печи материала не происходит.

Печь внутри футерована огнеупорным фасонным кирпичом толщиной 230 мм. Температура плавления кирпича 1775° ; состав кирпича: 43% — Al_2O_3 , 53% — SiO_2 . В части опорных роликов и передачи устройство печи аналогично применяемым в цементных печах и сушильных барабанах. Печь имеет два стальных бандажа 2, которыми она покоится на роликах. Приводной механизм состоит из закрытого мотора 30 л. с., делающего 750 об/мин, и трех пар шестерен. При этой передаче печь делает при полной загрузке минимум 1 об/мин, максимум 2 об/мин. Число оборотов меняется реостатом. Если окажется необходимым давать большую скорость, то она может быть увеличена путем замены шкива на моторе.

В начале и в конце в футеровке печи имеются углубления, служащие для подъема колчедана при вращении печи (см. разрез AA) в средней части печи, чтобы не уменьшать толщины футеровки, для подъема колчедана служат расположенные в шахматном порядке подъемные лопасти, изготавливаемые из специального материала, выдерживающего высокую температуру (см. разрез DD). Лопасти прикрепляются к кожуху болтами. Загрузочная (пылеосадительная) камера 3 (см. разрез CC) печи устанавливается на полу, делается из железа толщиной в 10 мм и футеруется внутри огнеупорным кирпичом.

Шихта из питательного бункера по течке 5 и загрузочной трубе 4 поступает в печь. Газ, выходящий из печи, проходит камеру и по трубе 6 направляется по наклонному газоходу в циклоны (рис. 52, 13). Регулировка количества поступающей в печь шихты производится шибером 7 (рис. 53), установленным между течкой 5 и загрузочной трубой 4. Осаждающаяся в камере пыль через окоп 9 поступает в скребковый транспортер (рис. 52, 11). Особое внимание должно быть обращено на создание надежной герметичности между стенками камеры и печи, что достигается посредством ряда пружин 10 (рис. 53), прижимающих при завинчивании гаек запорное уплотняющее кольцо 11 к угольнику 12 загрузочной камеры. Для лучшей изоляции от потери тепла между железным кожухом камеры и кирпичной кладкой укладывают два слоя листового асбеста.

Колчедан, пройдя печь, сгорает и вместе с обратным огарком поступает в разгрузочную камеру 13. Уплотнение между печью и разгрузочной камерой достигается такими же пружинами и уплотняющими кольцами, как и в загрузочной камере. Между уплотняющими кольцами и стенками камер прокладывается шнуровой

асбест толщиной 19 мм. Для того чтобы производить затяжку и воспринимать удлинения от тепловых расширений, разгрузочная камера поставлена на колеса 14 (см. вид по ММ) и может перемещаться по рельсам. Разгрузочная камера сделана из железа толщиной 10 мм и футерована внутри огнеупорным кирпичом толщиной в 230 мм. Огарок из разгрузочной камеры через колосниковую решетку 15 поступает в шнековый транспортер 8 с охлаждающим устройством.

Охлаждение огарка достигается водой, разбрызгиваемой непосредственно на него. Количество охлаждающей воды регулируется таким образом, чтобы вся вода могла испариться и огарок выходил бы из шнекового транспортера с температурой 150°. Расход воды составляет 1,75 м³/час на одну печь. Шнековый транспортер для охлаждения огарка представляет собой стальной резервуар, в крышке которого устанавливаются шесть форсунок для воды. Внутри резервуара имеется шнек с чугунными лопастями. Диаметр шнека 460 мм. Подшипники для вала снабжены водяным охлаждением. Привод мотора осуществляется через редуктор и цепную передачу. Шнек делает 22—75 об/мин; производительность шнека 6—7 т/час, максимальная производительность 15 т/час. Расход мощности 3 л. с.

Общий вес аппарата без огарка и воды 6 т. В том случае, когда часть форсунок должна быть выключена, следует выключить те форсунки, которые наиболее удалены от течек, по которым огарок поступает в охлаждающий шнек. Пар и газы, образующиеся в огарковом транспортере при охлаждении огарка, отсасываются вентилятором в резервуар, установленный вне здания. В этом резервуаре конденсируются пары и осаждается пыль, а газы удаляются через трубу, установленную на крышке резервуара. Производительность вентилятора 8650 м³/час, статическое давление 75 мм вод. ст., мощность 5 л. с., число оборотов 1000 в минуту. Производительность вентилятора регулируется дросселями. Воздух и пары из ямы огаркового конвейера отсасываются в отдельный газоход. Кожух вентилятора чугунный, он покрывается внутри листовым свинцом, газоходы к вентилятору и после него железные, покрытые внутри 3-мм свинцом.

Резервуар-отстойник (рис. 52, 22) представляет собой сварной железный цилиндр с коническим дном. Внутренний диаметр аппарата 1370 мм. Аппарат внутри покрыт 3-мм свинцом. Отстойник снабжен свинцовой (идущей до самого дна) трубой диаметром 25 мм для подвода воды и переливной трубой диаметром 50 мм для удаления избытка воды. Газы и пары проходят вдоль поверхности воды, отстоящей на 100 мм от нагнетательной трубы. Из этого аппарата газ поступает в трубу, установленную на крышке отстойника. Труба покрыта внутри 3-мм свинцом; внутренний диаметр ее 460 мм; верх трубы выходит выше крыши здания на 2,5 м.

Питательный бункер в печном отделении (рис. 52, 2, 7), общий для огарка и колчедана, делится двумя перегородками на три отделения: оба крайние для колчедана и средний для огарка.

Емкость каждого отделения 50 т колчедана. Так как можно опасаться воздействия находящейся в огарке серной кислоты на железо бункера, то среднее отделение, предназначенное для огарка, футеруют кислотоупорной плиткой толщиной в 65 мм. Общая длина бункера 12 400 мм и высота 4500 мм. Конструкция бункера осуществляется совместно с металлическими стойками, к которым бункер и крепится. Из бункера колчедан поступает в шнековые питатели, имеющие устройства для изменения скорости.

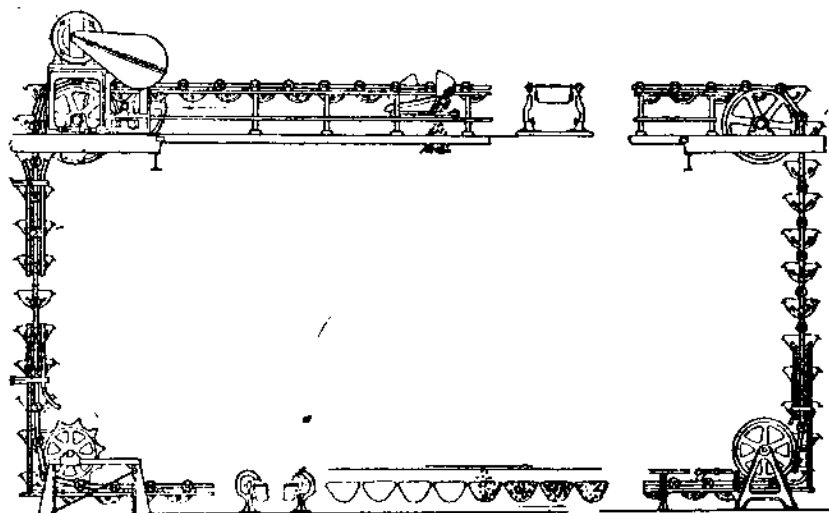


Рис. 54. Огарковый конвейер.

Производительность шнека от 1 до 4 т в час при числе оборотов от 6 до 24 в минуту. Мощность мотора для вращения шнека 2 л. с., диаметр шнека 200 мм и кожуха 250 мм.

Шнеки сделаны из стали и имеют штуцеры для поступления в них колчедана: они крепятся непосредственно к низу бункера и из них материал по течкам поступает в загрузочную камеру печи. Каждая печь питается колчеданом из своего бункера. Огарковый бункер общий для обеих печей, но он имеет два шнека, по одному для каждой печи. Производительность огаркового шнека 3—10 т/час, число оборотов от 6 до 24 в минуту, расходуемая мощность 2 л. с., диаметр шнека 300 мм, диаметр кожуха 360 мм.

Чтобы бункер был полностью засыпан огарком, в верхней части бункера установлен шнековый разравниватель. Диаметр шнека 300 мм, мощность мотора 3 л. с., число оборотов шнека 25 в минуту, материал шнека — сталь, общий вес 420 кг. Этот шнек во время нормальной работы установки не действует. Во время нормальной работы ковши транспортера разгружают огарок в середине бункера и по наполнению бункера огарок удаляется через центральную выпускную течку в скребковый транспортер. В случае прекращения расходования огарка (например при кратковре-

менной остановке печи, падении температуры в печи) пускают шнек, и огарок, вместо того чтобы выходить через указанную выпускную точку, направляется к периферии бункера и тем самым увеличивает его вместимость. Скребковый транспортер предназначен для собирания пылевидного огарка из загрузочных камер обжиговых печей, из четырех циклонов, из перегусочной трубы огаркового бункера и из запасного бункера для огарка.

Огарок из этих течек подается в элеватор (рис. 52), из которого он высыпается на пластинчатый транспортер или на огнестойкую асбестированную ленту и направляется в агломерационную установку. В случае аварии агломерационной установки или порчи транспортера огарок подается элеватором по течке в специальный бункер емкостью 50 т (рис. 52, 14). Из этого бункера огарок можно снова подать на скребковый транспортер и следовательно в дальнейшем на агломерацию; производительность скребкового цепного транспортера максимум 12 т/час. Обычная производительность 90 т в сутки. Расходуемая мощность 3 л. с. Кожух скребкового транспортера — полунепроницаем. Максимальная производительность элеватора для огарка ~ 12 т/час, мощность мотора 5 л. с., бункер для огарка имеет внутренний диаметр 3046 мм, высоту 7192 мм, емкость 50 т, толщину железа 10 мм, общий вес без огарка 6,6 т.

Огарок, охлажденный в шнековых транспортерах, подается течкой в ковши огаркового конвейера (рис. 52, 9). Транспортер, общий для двух печей, состоит из непрерывного ряда ковшей, прикрепленных к двум параллельным бесконечным цепям, движущимся в горизонтальном и вертикальном направлениях в одной вертикальной плоскости. Ковши подвешены на шарнирах так, что при всяком положении цепи они сохраняют свое вертикальное положение, возвращаясь снова в него, если какие-либо силы выведут ковши из состояния равновесия. На рис. 54 представлен общий вид огаркового конвейера. Непрерывность ряда ковшей имеет место только при горизонтальном движении; при движении же по вертикали между ковшами образуется свободное пространство, так как длина ковша больше, чем его глубина.

К преимуществам этих транспортеров, указываемым фирмой, относятся: 1) один привод как для подъема, так и для горизонтального передвижения, 2) крупный диаметр несущих роликов (поэтому минимум трений и расхода энергии), 3) спокойная работа.

Для разгрузки ковшей они имеют так называемые бутели (выступы), которые на месте разгрузки находят на упоры, вследствие чего ковши опрокидываются и опоражниваются (рис. 55). Упор устанавливается над огарковым бункером, и огарок, пройдя колосниковую решетку, попадает в огарковое отделение питательного бункера.

Конвейер снизу проходит по тоннелю, в котором имеется вода, и ковши, проходя по тоннелю, нижней своей частью погружаются в воду, вследствие чего огарок окончательно охлаждается. Тоннель перекрывается рифленным железом, кромки которого изогнуты

под прямым углом и опущены в песочный затвор. Этим достигается почти полная герметичность тоннеля и возможность быстрого снятия крышки при ремонте конвейера. Весь конвейер заключен в железный кожух, имеющий отверстие, соединенное с вытяжной трубой,

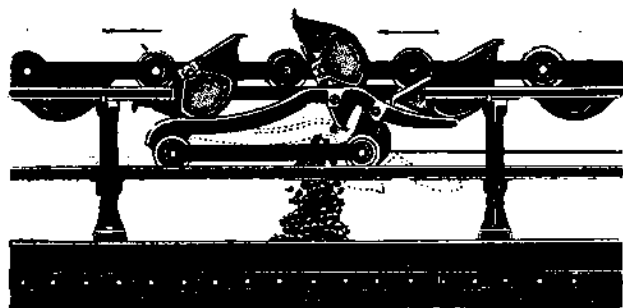


Рис. 55. Разгрузка ковшей.

Ковши для огарка, штампованные из ковкой стали, толщина стенки 8 мм, размер ковша 610×610 мм при высоте в 240 мм. Вес 1 пог. м конвейера 184 кг. Для того чтобы огарок не просыпался при движении конвейера в горизонтальной плоскости, стенки ковшей перекрывают друг друга. Максимальная производительность конвейера 30 т в час, обычно, 520 т в сутки. Мощность мотора 10 л. с. В зависимости от производительности конвейера ковши изготавливаются длиной от 450 до 1000 мм и шириной от 375 до 1000 мм. Цепи конвейера стальные, шарнирные. На рис. 56 даны детали цепи и собранное звено цепи с роликом.

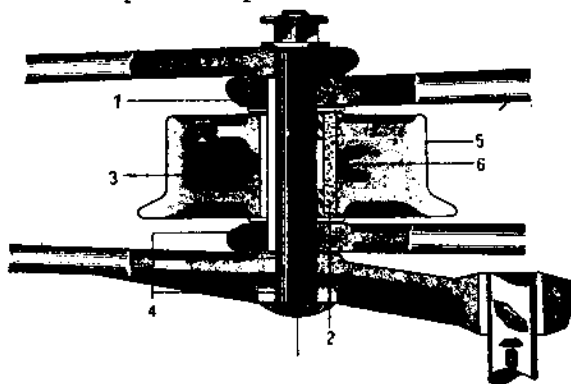


Рис. 56. Звено цепи конвейера:

1 — стальная втулка, 2 — фитиль для смазки, 3 — внутренняя масленка, 4 — опорная часть звена, 5 — опорный бандаж ролика, 6 — клявца для масла.

Вращающиеся печи являются вполне работоспособными аппаратами для сжигания сульфитного сырья, но принятая схема с оборотом огарка, осуществляемая целым рядом транспортных сооружений, не может обеспечить правильной дозировки колчедана и огарка. В результате этого, должно иметь место шлакование печей, что влечет за собой перерывы в подаче газа и изменения в концентрации газа.

При неправильной дозировке предупредить шлакование невозможно, ибо в этой печи нет дюз, как в печах Льюри, и поэтому регулировать горение и температуру по длине печи невозможно. Заметить начало шлакования с торца при сильном ее накале вряд ли также будет возможно.

В связи с этим мы рекомендуем до пуска монтируемой установки в Кемерово прекратить дальнейшее проектирование и постройку вращающихся печей, работающих с обратным огарком.

Очистка газа в американских печах производится не в электрофильтрах, а в циклонах.

Из печи газ по наклонным газоходам поступает в два (для каждой печи) циклона, установленных параллельно.

Осевшая в них пыль по мере накопления автоматически выгружается в скребковый транспортер посредством откидного клапана. Конструкция клапана для пыли предотвращает возможность просачивания воздуха в циклон. Этот затвор имеет очень важное значение для бесперебойной работы циклона. Клапан снабжен двумя внутренними откидными затворами, валы которых имеют снаружи противовесы. Эти противовесы должны быть отрегулированы при монтаже таким образом, чтобы не было засасывания воздуха в циклон и вместе с тем в циклоне не накапливалось бы большое количество пыли.

Для лучшего выделения пыли важно, чтобы в циклоне не происходила конденсация серной кислоты, поэтому ведущие в

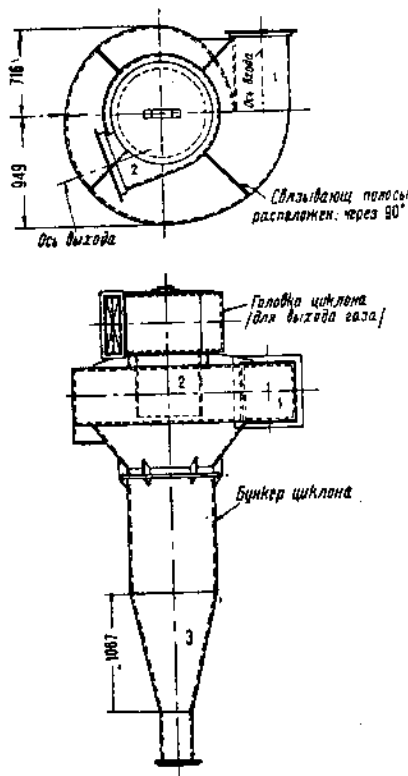
Рис. 57. Циклон для очистки газа от пыли:

1 — вход газа, 2 — выход газа, 3 — бункер циклона.

циклоны газоходы изолируются и температура газа в циклоне всегда должна быть выше температуры точки росы кислоты.

На рис. 57 в плане и в разрезе представлен один из двух циклонов, устанавливаемых после каждой печи. Газ входит в циклон по трубе 1 и выходит по трубе 2. Собравшаяся пыль по мере накопления автоматически удаляется через конус 3.

Общая высота циклона 4068 мм, наибольший диаметр 1200 мм. Весь циклон изготовляется из 5-мм стали, за исключением частей, которые расположены внутри циклона, и подвергаются воздействию высокой температуры; эти части делаются из хромоникеле-



вой стали. Общий вес циклона 3,6 т (без пыли). Циклоны помещены внутри так называемых экранов, благодаря которым обихайка циклона подвергается воздействию тока свежего воздуха, что и предохраняет стенки циклона от чрезмерного нагревания. Экраны делаются алюминиевые. Общий вес экрана 1000 кг.

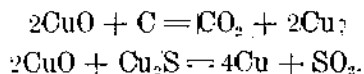
По данным фирмы циклоны задерживают из газа 85—95% пыли; но нашему мнению такая очистка печных газов циклонами вряд ли возможна, но в данном случае это не обязательно, так как после циклонов в системе для полной очистки газа имеется промывная башня без насадки. При этой башне установлен специальный отстойник для удаления осевшей пыли.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА МЕДНЫХ РУД И ПЛАВКИ МЕДИ КАК ПОСТАВЩИКИ СЕРНИСТОГО ГАЗА

Выше в первой главе мы говорили о печах медеплавильной промышленности, как об одном из больших источников получения сернистого газа.

Кратчайшим методом получения меди из руды был бы ее полный обжиг (обжиг намертво) с последующим восстановлением медных окислов до меди углеродом или полусернистой медью по реакциям:



Однако выяснилось, что плавить руду непосредственно на металлическую медь нецелесообразно, так как при такой выплавке получается большое количество богатых медью шлаков и следовательно теряется значительное количество меди. Поэтому процесс отделения главной массы породы в виде отвального плака ведут в тот момент, когда медь еще находится в виде соединения Cu_2S , почти не переходящего в плак; при этих условиях содержание меди в шлаках понижается примерно вдвое. Таким образом медь из сернистых руд получают не непосредственно в один прием, а двойным процессом — плавкой руды или продукта ее обогащения, называемого концентратом, на штейн, представляющий собой сплав сернистых соединений меди и железа, с последующим переделом штейна на медь. Непосредственная плавка нигде не применяется.

При плавке сернистых руд на штейн в него переходит почти вся медь, а также и некоторое количество железа и серы. Сера переходит в штейн лишь в количестве, необходимом для образования полусернистой меди и сернистого железа, а остальная сера окисляется до SO_2 . Штейн таким образом в основном состоит из меди, серы и железа. При получении меди из штейна пользуются

свойством серы окисляться в SO_2 и способностью закиси железа легко отплаковываться кремнекислотой.

Из вышеизложенного следует, что при обоих процессах, т. е. при плавке руды на штейн и при получении меди из штейна, в отходящих газах получается сернистый газ.

Получение штейна производится или предварительно обжиганием руды с последующей плавкой получаемого продукта в отражательных печах или обжигом и плавкой руды в один прием на штейн в шахтных печах. Медь из штейна в том и другом случае получается в конверторах. Получение штейна по первой схеме применяют при наличии мелкой или измолотой руды, а по второй — при однородной крупнукусковой руде. Количество выжигаемой серы при каждом процессе зависит от содержания серы, меди и железа в исходном сырье.

По данным Красноуральского медеплавильного завода количество окисляемой серы в SO_2 по аппаратам составляет (в %):

В обжиговых печах	63
В отражательных печах	9
В конверторах	28
	100%

Из этого количества SO_2 могут быть использованы для производства серной кислоты газы обжиговых печей и конверторов, т. е. 84% от всего количества серы, содержащейся в концентрате. Количество кислоты, которое можно было бы получить из газа медеплавильных печей, в одном лишь Красноуральске составляет 350—400 тыс. т моногидрата.

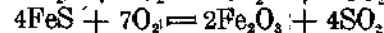
1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ОБЖИГ

Предварительный обжиг медной руды употребляется почти исключительно для удаления лишней серы, ненужной для дальнейшего процесса.

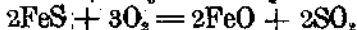
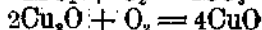
Медь в руде содержится обычно в виде халькопирита, который в обжиговых печах предварительно распадается по схеме:



В дальнейшем сера сгорает в SO_2 , а часть Cu_2S и FeS обжигаются по реакциям:



Кроме этих основных реакций идут еще и следующие:



Поэтому в огарке, выходящем из печи, имеются следующие соединения: Cu_2S , FeS , FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , Cu_2O , CuSO_4 и FeSO_4 .

Процентное содержание Cu , Fe , S и других элементов зависит от состава задаваемой в печь шихты. Огарок, выходящий из обжиговых печей Красноуральского медеплавильного завода, в период 1935 г. имел следующий состав:

Cu . . .	7,74 — 11,39%	Si . . .	10 — 120%
S . . .	8,5 — 15%	Al_2O_3 . . .	4 — 10%
Zn . . .	1,5 — 3%	Au . . .	1,6 — 2,4 г/т
Fe . . .	38 — 42%	Ag . . .	32 — 35 "

Количество огарка, выходящего из печи, составляло 85% по отношению к весу сухого концентрата, заданного в печь, и 76% — к весу всей шихты.

Значительное содержание SiO_2 объясняется тем, что в печи одновременно с шихтой загружали и кварц, необходимый в качестве флюса при плавке огарка в отражательных печах. К такому методу добавления флюса иногда прибегают с целью лучшего его перемешивания с шихтой. Количество SO_2 в обжиговых газах зависит от содержания серы в шихте. При обжиге концентрата, получаемого из комплексных сернистых руд, обжиговые газы содержат обычно 5—7% SO_2 .

При обжиге медных руд печи обычно работают без добавочного топлива. Но если в обжигаемом материале содержится серы меньше 25% и из этого количества необходимо выжечь меньше 10% серы, то в этом случае приходится сжигать дополнительное топливо, которое обычно вводится в виде мазута, сжигаемого в нижних этажах печи.

Для предварительного обжига медных руд пригодны описанные выше печи для обыкновенного колчедана. На заводах СССР предварительный обжиг медного концентрата производится в печах Ведже или Никольс—Герресгофа. С первой из этих печей мы познакомились выше при описании механических печей для обыкновенного колчедана.

На одном из медеплавильных заводов Урала (в Карабаше) для обжига мелкой руды и концентрата имеется печь Мак-Дугаль. Конструкция печи Мак-Дугаль устарела, и на всех новых заводах устанавливаются исключительно печи Ведже и Никольс-Герресгофа. В связи с этим мы и не даем описания печи Мак-Дугаль.

1. Печь Никольс-Герресгофа

Печь по своему типу относится к механическим подовым печам. Внешний диаметр печи 6,55 м. Высота печи от опорной плиты подъятника центрального вала до верхней части опор того же вала 13 м. Печь имеет 10 рабочих подов общей площадью 246 м². Занимаемое печью пространство 440 м³.

Печь обжигает до 140 т в сутки медистого концентрата. Большая производительность печи объясняется тем, что обжиг медистых концентратов не доводят до конца; для дальнейшего техноло-

гического процесса в концентрате оставляют 10—12% S. Цинкового концентрата печь может обжечь от 40 до 50 т при полном обжиге и от 55 до 75 т при неполном обжиге. Рядового 45%-ного колчедана печь должна обжечь 40—50 т в сутки.

Подача руды на печь производится у центрального вала, откуда колчедан верхними гребками переносится к периферии печи в воронку 1 (рис. 58). Из воронки 1 руда периодически подается в первый этаж, что происходит в тот момент, когда палец 2 верхнего гребка повернет за ролик 3 качающуюся ручку 4. По проходе пальца 2 крышка 5, под действием противовеса 6 возвращается в свое прежнее положение и закрывает воронку 1. Пальцы 2 имеются на обоих гребках и поэтому за каждый оборот вала воронка 1 опорожняется два раза.

Центральный вал 7 изготовлен из семи секций, из которых нижняя опирается на опорную подушку 8, вращающуюся в подшипнике 9. Верхняя часть вала 10 вращается в верхнем подшипнике 11 и заканчивается неподвижным цилиндром 12, перекрытым сверху перекидным клапаном 27.

Движение колчедана и газа происходит по одним и тем же каналам: в нечетных этажах по центральным отверстиям 13 у вала и в четных — по 36 отверстиям 14, расположенным у периферии печи. Отвод газа из печи производится из верхнего этажа через патрубок 15. В каждом этаже для обслуживания имеется по шести дверок 16 с механизмами 17, служащими для наблюдения за процессом обжига. При обжиге в печи цинкового концентрата для его полного обжига в дверки нижнего этажа вставляются нефтяные форсунки. В том случае, если обжиговый газ не перерабатывают в серную кислоту, продукты сгорания вместе с этим газом выходят из печи через патрубок 15. При желании же иметь газ, богатый по содержанию SO_2 , продукты горения через патрубки, установленные в восьмом этаже, направляются в дымовую трубу.

Вращение печи происходит следующим образом: мотор через ременную или шестеренную передачу приводит в движение редуктор 18, винтовое колесо которого посажено на одном валу с малой шестерней 19, имеющей сцепление с большой шестерней 20. В четных сводах заделаны выступающие кольца 21, перекрытые защитными крышками 22. При такой конструкции исключена возможность просыпания колчедана вдоль вала печи с четного этажа на нечетный. Обожженный концентрат выходит из печи с десятого этажа у периферии через точки, не указанные на рисунке.

Воздух для охлаждения гребков и вала нагнетается вентилятором в воздушную камеру 23, откуда он поступает в центральную часть вала, и из нее в гребки 24. Внутри гребков имеются трубы 25, по которым воздух проходит до конца гребка; по выходе из трубы воздух по кольцевому пространству между телом гребка и трубой возвращается к валу и поступает во внешний его цилиндр 26. Большая часть нагретого воздуха выходит в атмосферу через перекидной клапан 27, а некоторая его часть, необходимая для обжига концентрата и горения нефти, через отстойники 28 по-

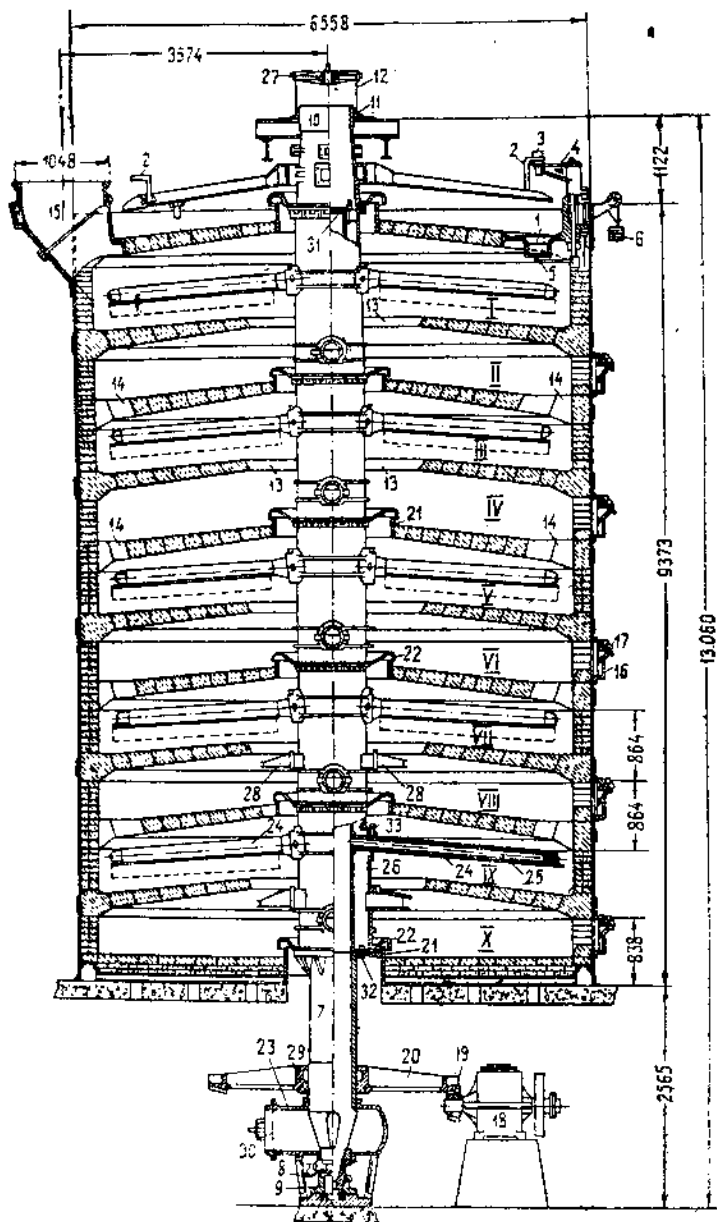


Рис. 58. 10-этажная печь Никольс-Горресгофа для обжига медистых и цинковых концентратов:

1 — воронка, 2 — палец, 3 — ролик, 4 — поворачивающаяся ручка, 5 — крышки, 6 — противовес, 7 — центральный вал, 8 — опорная подушка, 9 — подшипник, 10 — верхняя часть вала, 11 — верхний подшипник вала, 12 — неподвижный цилиндр, 13 — центральные отверстия для колчедана и газа, 14 — отверстия для колчедана и газа, 15 — вентиль для отвода газа, 16 — дверки для обслуживания, 17 — глазки для наблюдения, 18 — редуктор, 19 — малая шестерня, 20 — большая шестерня, 21 — сводовые кольца, 22 — зашитые крышки, 23 — воздушная камера, 24 — гребки, 25 — внутренние трубы гребков, 26 — внешний цилиндр вала, 27 — перекидной клапан, 28 — отверстия для нагретого воздуха, 29 — сальник, 30 — заслонка для регулирования, 31 — крышка для внутреннего цилиндра вала, 32 — крышка для внешнего цилиндра вала, 33 — шпилька.

ступает в нижнюю часть печи — в десятый и восьмой этаж. При сжигании в печи обыкновенного колчедана, с целью получения лишь сернистого газа, подача горячего воздуха в печь через отстойки 28 (рис. 58) не должна производиться.

Уплотнение между нижней частью центрального вала и воздушной камерой 23 достигается сальником 29. Регулирование поступающего в воздушную камеру 23 воздуха для охлаждения вала и гребков производится заслонкой 30. Внутренний цилиндр вала перекрыт крышкой 31, а внешний цилиндр крышкой 32.

Гребки по своему внутреннему устройству почти тождественны с гребками в 10-тонных печах Гумбольдта и в печах «Г». На

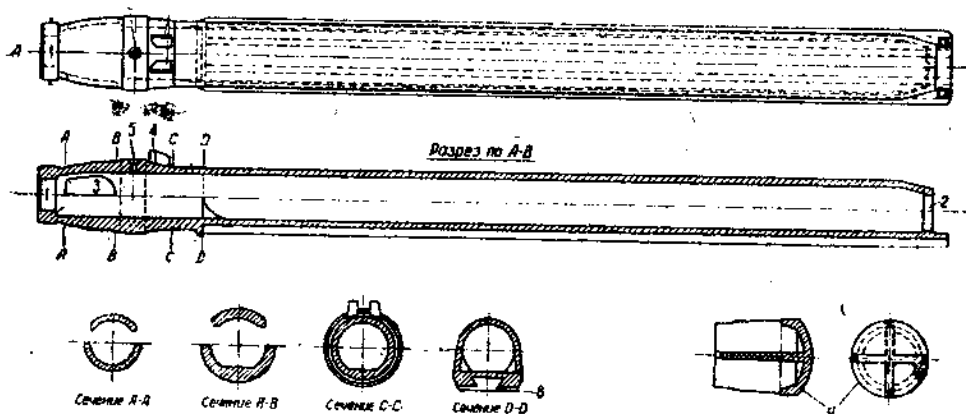


Рис. 59. Гребки для печей Никольс-Герресгофа:

1 — отверстие для вставки воздушной трубы в гребок, 2 — отверстие для пробки, 3 — отверстие для выхода нагретого воздуха из гребка, 4 — упорные приливы, 5 — отверстие для шпильки, 6 — прилив с вырезом для лопатки, а — пробка.

рис. 59 представлен гребок печи Никольс-Герресгофа без внутренней трубы. Гребок имеет отверстие 1, в которое вставляется железная труба для поступающего холодного воздуха. Труба не доходит до противоположного конца гребка на 200 мм. Отверстие 2 на противоположном конце гребка заделывается пробкой, а нагретый воздух выходит из гребка через отверстие 3 во внешний цилиндр вала. Гребок имеет два прилива 4, которыми он упирается в вал. Приливы 4 препятствуют гребку подниматься при его вращении. Конец гребка, входящий в гнездо вала, обрабатывается точно по шаблону. На конце гребка имеется отверстие 5, в которое вставляется шпилька 33 (рис. 58), проходящая через тело гнезда в гребке. Эта шпилька препятствует гребку выпадать из гнезда и поворачиваться вокруг своей оси. В нижней части гребка имеется по всей его длине прилив с вырезом 6 для вставки лопаток гребка (разрез по D—D).

Лопатка 1 (рис. 60) вставляется проушиной а в вырез 6 (рис. 59) гребков, перегребающих концентрат от центра к периферии (четные этажи), а лопатка 2 (рис. 57) в гребки, перегребаю-

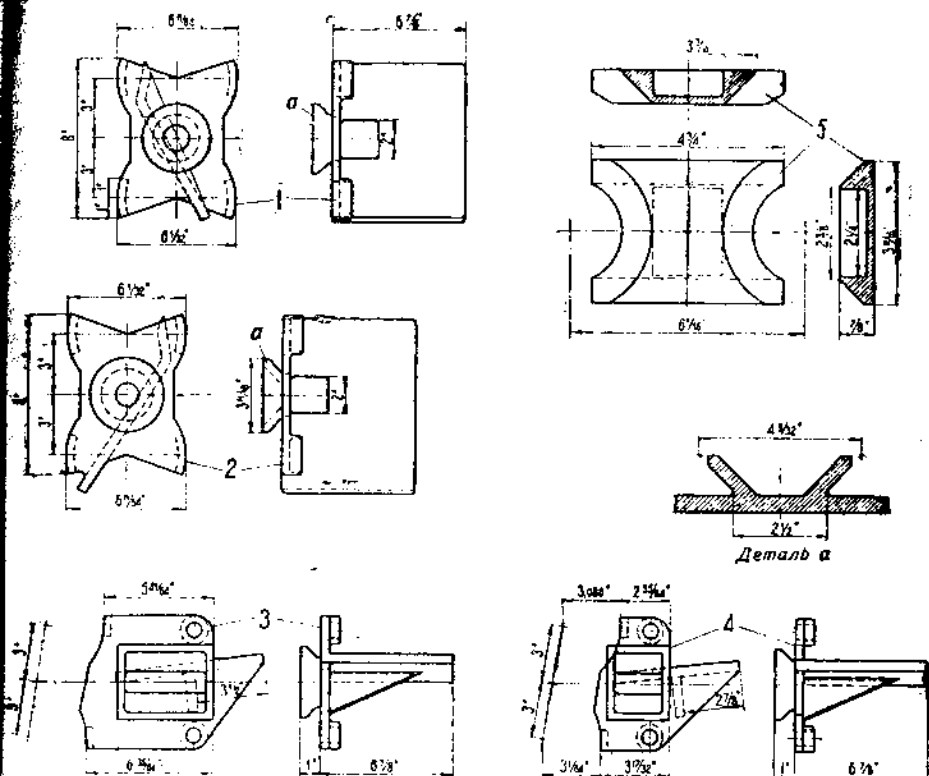


Рис. 60. Лопатки для гребков печи Никольс-Герресгофа:

1 — лопатки четных этажей, 2 — лопатки нечетных этажей, 3 — концевые лопатки четных этажей, 4 — концевые лопатки нечетных этажей, 5 — ползушка между лопатками, а — проушина.

щие концентрат от периферии к центру (нечетные этажи). В каждом гребке между двумя лопатками вставляются ползушки 5. Лопатка и ползушка вставляются с торцевой стороны гребка у периферии. Лопатки 3 вставляются на конце гребков в четных этажах, а лопатки 4 на конце гребков в нечетных этажах.

Медный концентрат, подаваемый в бункеры над печами, довольно часто содержит до 10% воды, вследствие чего он застревает в бункерах, и плохо подается скребущими ножами верхних гребков. Поэтому для влажных концентратов выпускное отверстие

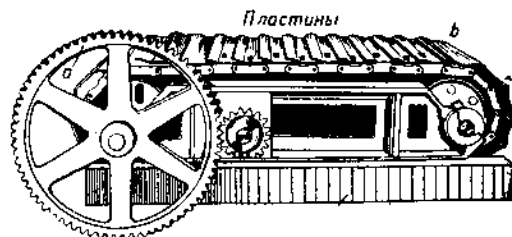


Рис. 61. Пластинчатый питатель.

под печными бункерами делают больших размеров и устанавливают пластинчатые питатели (рис. 61).

Передняя шестерня *a* приводится в движение маленькой звездочкой, для чего на оси последней имеется шкив (на рисунке не показан), приводимый в движение ременной передачей. На оси шестерни *a* посажен барабан, приводящий в движение пластинки, на которые поступает концентрат из бункера. Пройдя расстояние от *a* до *b*, концентрат сваливается на верхний свод обжиговой печи. Пластинчатый питатель удобен тем, что он может быть сделан шириной до 1,5 м в соответствии с большим выпускным отверстием в дне бункера.

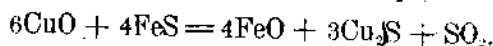
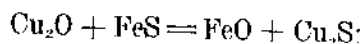
На Красноуральском заводе пластинчатые ленты заменены резиновыми.

II. ОБЖИГ НА ШТЕЙН

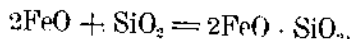
Плавка обожженной руды на штейн производится с целью отшлаковать большую часть железа и выжечь серу, за исключением той, которая в виде сернистых соединений меди и железа переходит в штейн.

В процессе плавки в низу печи собирается более тяжелый штейн, а сверху шлак. Для хорошего отделения шлака от штейна необходимо, чтобы шлак был значительно легче штейна и обладал легкоплавкостью. Для этой цели к шихте добавляют флюсы: SiO_2 , CaO и т. п., которые, как выше было сказано, иногда добавляют перед загрузкой шихты в обжигательные печи.

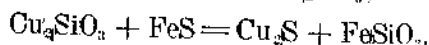
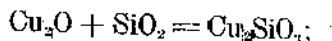
При плавке в печи окислы меди переводятся сернистым железом в полусернистую медь; при этом происходят следующие реакции:



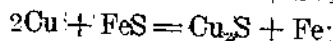
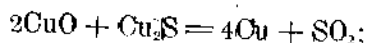
Образующаяся закись железа соединяется с кремнекислотой и переходит в шлак:



Закись меди также шлакуется кремнекислотой, но образующееся соединение под действием FeS дает полусернистую медь:



Происходит также восстановление окислов меди до металлической меди; сернистым железом медь переводится в полусернистую медь, а выделившееся железо восстанавливает окись железа до закиси:



Полученная FeO переводится кремнекислотой в шлак.

Таким образом в результате плавки в шлак переходят окислы железа, кремнезем, кальций и др., а в штейн — полусерпистая медь и неокисленное серпистое железо. Часть серы, около 20—30%, сгорает в SO_2 и уходит с дымовыми газами. Содержание SO_2 в газах не велико: 2—2,5%, поэтому эти газы и не используются.

1. Отражательные печи

Плавку предварительно обожженной руды на штейн производят в отражательных печах.

Отражательная или пламенная печь представляет собой канал шириной от 6 до 8 м, длиной от 24 до 45 м, перекрытый сверху сводом. Высота свода от пола от 2,4 до 3,3 м. Под печи делают набивным из мелкого кварца, который перед пуском печи сваривается действием высокой температуры в плотную массу. Высокая температура внутри отражательной печи, достигающая до 1500°, заставляет применять для постройки печи лучшие сорта дынясового кирпича.

Отражательные печи отапливаются мазутом или угольной пылью, которые вдуваются в рабочее пространство печи над расплавленной массой. Шихта загружается в печь через загрузочные отверстия с боку печи или, что реже, сверху в середине печи.

Штейн выпускается из печи, по мере требования из конверторного цеха, через отверстия, называемые шпуррами. Подача расплавленного штейна в конверторный цех производится специальными ковшами. Выпускать штейн можно в любом месте печи, но чем ближе находятся шпурры от конца печи, тем выше температура в конце печи. Шлак выпускается почти всегда в конце печи. Вытекающий по жолобу шлак или направляют в ковш и вывозят в отвал или же гранулируют водой до величины мелкого гравия и вместе с водой направляют в отвал.

Температура выходящего газа в конце печи должна быть не ниже 1100°, так как при более низкой температуре шлак становится более густым и плохо отстаивается. Ввиду высокой температуры отходящих газов тепло их обычно используют для получения пара в котлах, установленных вблизи отражательных печей.

2. Ватер-жакеты

Плавка руды без предварительного обжига непосредственно в штейн производится в так называемых ватер-жакетах. В ватер-жакетах плавят кусковую руду. Если в ватер-жакетах требуется плавить рудную мелочь или же концентрат, то их необходимо предварительно превратить в кусковое состояние спеканием на машинах Двайт-Ллойда или прессованием в брикеты. Шихта загружается в ватер-жакет сверху в смеси с топливом, для сжигания которого, а также и для окисления серы и железа, в него вдувается через фурмы воздух.

В зависимости от состава руды и количества топлива в ватер-жакетах разделяют три вида плавки: восстановительную, пиритную и полупиритную. Восстановительная плавка ведется в том случае, если руда содержит главным образом окисленные медные руды (Cu_2O , CuO , CuSO_4 и т. д.) и мало сернистых руд меди и железа. В этом случае в ватер-жакет дается топливо в значительном количестве, порой до 20% от веса проплавляемой руды.

При пиритной плавке шихта состоит преимущественно из богатых серой и железом руд, к которым добавляются кварц и известняк, для того чтобы шлаки были и легче и более легкоплавки; этим облегчается их отделение от штейна и уменьшается потеря меди. В руде большей частью находится серный колчедан — пирит, от имени которого плавка и получила свое название. Медь присутствует в виде халькопирита. Процесс плавки идет почти исключительно за счет сжигания серы и окисления железа шихты в струе вдуваемого в печь воздуха. Топливо загружается в крайне незначительном количестве, не превышающем 1—4% от веса шихты.

Полупиритная плавка по характеру руд и расходу топлива лежит между восстановительной и пиритной плавкой. Она ведется при рудах, которые бедны серой.

При пиритной плавке в ватер-жакетах происходят те же химические процессы, что и в обжиговых и отражательных печах, но так как дополнительное топливо здесь дается в меньшем количестве, чем при отражательных печах, то и концентрация SO_2 в отходящих газах выше. Содержание SO_2 — 5—8%, кислорода — 8—12%, CO_2 — 1—3%. Такой состав газов в смысле содержания в нем SO_2 немногим отличается от состава газов колчеданных печей и с успехом мог бы быть использован для получения серной кислоты.

Газ по выходе из ватер-жакета (на границе руды) содержит обычно 10—12% SO_2 и в нем почти отсутствует кислород. Разбавление же газа воздухом происходит через неплотности в окнах для загрузки шихты и в дверках для шуровки и наблюдения за процессом. Периодическое разбавление газа при открытии окон и дверок еще более значительное. Непостоянная концентрация SO_2 , падающая при продолжительном открытии окон и дверок до 2—2,5% SO_2 , является основной причиной небольшого использования SO_2 для производства серной кислоты даже и при пиритной плавке. При устранении подсосов воздуха, что по нашему мнению возможно, концентрация SO_2 в газе будет не только постоянной, но при пиритной и полупиритной плавке достаточно высокой для производства из этого газа серной кислоты обычными методами.

Конструкция ватер-жакета представлена на рис. 62. Нижняя часть ватер-жакета изготавливается из чугунных или железных стенок 1, охлаждаемых внутри водой. Эти стенки (так называемые кессоны) ограничивают шахту печи с четырех сторон. Шихта поступает в печь с загрузочной так называемой колонниковой пло-

щадки 2, через окно 3. Снизу в печь вдувается воздух, поступающий по трубе 4, рукавам 5 в фурмы 6. Кессоны охлаждаются водой, поступающей по отрезкам труб 7. Нагретая вода уходит по трубкам 8.

Часть шахты печи, расположенная ниже уровня фурм, носит название горна печи. Этот горн ограничивается с боков кессонами, а снизу лежачей печи 9. В старых печах расплавленные материалы скоплялись во внутреннем горне печи и по мере надобности выпускались через специальное отверстие, называемое пилуrom. В новых конструкциях печей для накапливания большого количества расплавленного штейна делают снаружи передовой горн. Для отделения штейна от шлака пользуются большей легкостью и легкоплавкостью последнего, спуская его после удаления штейна.

Обжиговые газы из ватер-жакета через верхнюю кирпичную камеру 10 удаляются по газопроводной трубе 11. Ватер-жакеты делаются разных размеров, причем ширина печи на уровне фурм, т. е. расстояние между противоположными фурмами 6, не превышает 1,42 м. Длина печи на уровне фурм весьма разнообразна — от 3 до 26 м; она зависит от производительности ватер-жакета. Высота загрузочной площадки 2 от фурм 6 делается от 4 до 6,5 м.

Процесс в ватер-жакете при пиритной плавке идет следующим образом. По мере плавки нижних слоев шихты верхние, опускаясь вниз, понемногу прогреваются. Халькопирит и пирит по мере нагревания частью начинают разлагаться, выделяя серу и давая FeS и Cu_2S . При опускании ниже шихта попадает в фокус печи, т. е. в область высокой температуры. Здесь происходит окисление FeS до FeO .

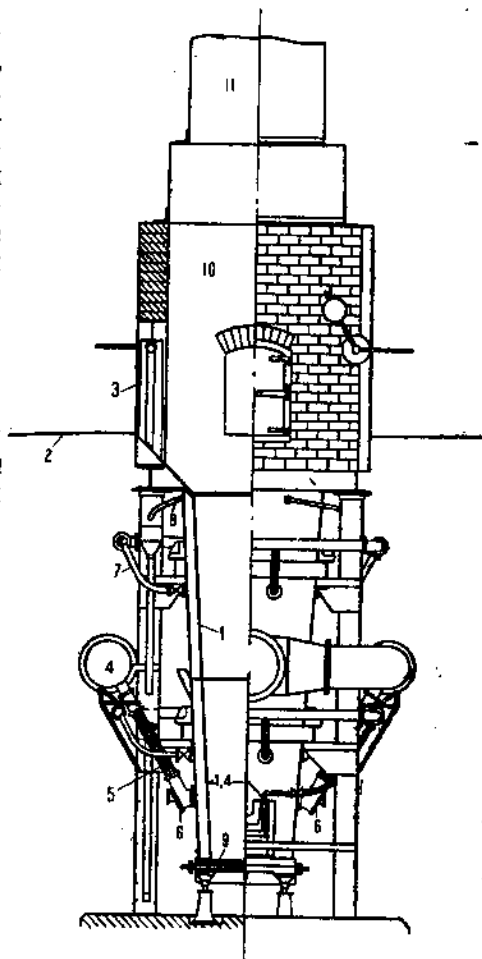


Рис. 62. Ватер-жакетная печь:

1 — кессоны, 2 — загрузочная площадка, 3 — окна для загрузки, 4 — трубопровод для воздуха, 5 — рукав к фурмам, 6 — фурмы, 7 — трубы для воды, 8 — трубы для отработанной воды, 9 — лежачая, 10 — кирпичная камера, 11 — газопроводная труба.

которая ошлаковывается кремнеземом, добавляемым в шихту в виде кварца. При окислении FeS выделяется значительное количество тепла, вследствие чего плавится полусернистая медь и часть самого FeS . Расплавленные полусернистая медь и сернистое железо стекают вниз, образуя штейн. Расплавленные же шлаки, содержащие FeO , Al_2O_3 , SiO_2 , CaO и др., также стекают вниз, собираясь сверху штейна, как более легкие.

Загружаемое топливо сгорает в средней части ватер-жакета частью за счет кислорода воздуха, вдуваемого через фурмы, но в большей части за счет кислорода сернистого газа с выделением элементарной серы. Эта сера, а также и получаемая при разложении пирита и халькопирита, сгорает в самом верху за счет кислорода воздуха, засасываемого через дверки и окна ватер-жакета.

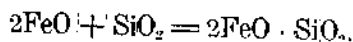
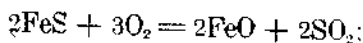
Ватер-жакеты все больше и больше вытесняются отражательными печами, так как руда в настоящее время большей частью обогащается, что связано с ее размолом, а ватер-жакеты могут работать только на кусковой руде.

III. ПОЛУЧЕНИЕ ЧЕРНОВОЙ МЕДИ

Полученный в ватер-жакете или в отражательной печи штейн в расплавленном состоянии передается в конвертор для дальнейшей переработки в черновую медь.

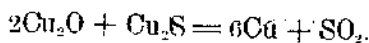
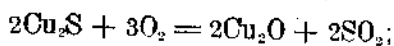
Процесс получения меди из штейна называется бессемерованием. Штейн состоит главным образом из FeS и Cu_2S с прибавкой значительного количества SiO_2 , CaO , оставшихся еще вместе со шлаком в штейне. Задача бессемерования заключается в окислении всей находящейся в штейне серы и в отшлаковании железа, SiO_2 , CaO и др. Для этой цели в расплавленный и перелитый в конвертор штейн вдувают воздух.

За счет теплоты реакций, происходящих в конверторе, штейн во все время процесса бессемерования поддерживается в расплавленном состоянии. Первоначально окисляется сернистое железо, которое кремнеземом, добавляемым в конвертор в виде кварца, переводится в шлак по реакциям:



Конец первого периода наступает тогда, когда почти все сернистое железо выгорает, а остается в виде так называемого белого матта одна полусернистая медь.

Во время второго периода бессемерования сгорает полусернистая медь и по мере образования закиси меди она восстанавливается той же Cu_2S до металлической меди по реакциям:



Получаемая при процессе бессемерования металлическая медь, называемая черновой медью, не является совершенно чистой и содержит около 1% примесей.

1. Конверторы

Процесс бессемерования ведется в аппаратах, называемых конверторами. Применяются два типа конверторов. В первом типе аппарат бочкообразного вида ставится вертикально и называется вертикальным конвертором или конвертором Грэт-Фоллс. Во вто-

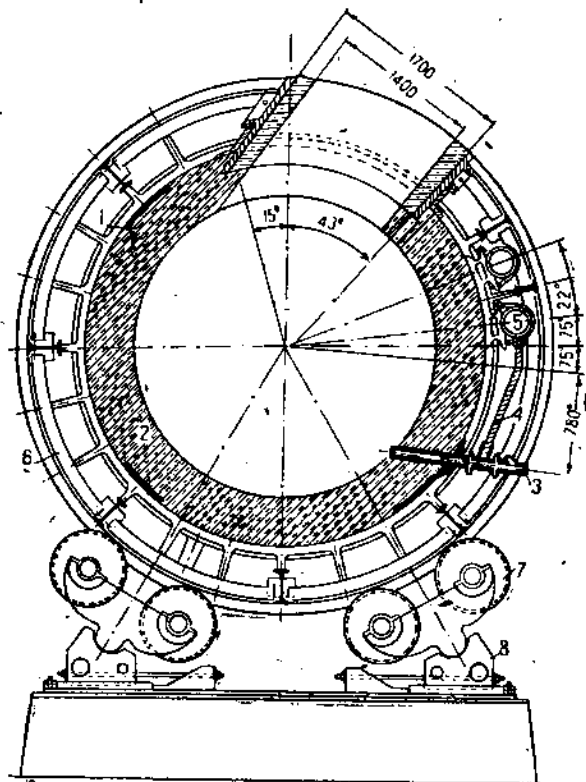


Рис. 63. Горизонтальный конвертор Пирса и Смита:

1 — кожух, 2 — футеровка, 3 — фурма, 4 — рукав для воздуха, 5 — воздушный трубопровод, 6 — балласт, 7 — ролики, 8 — опоры.

ром типе конверторов аппарат представляет собой цилиндр, положенный горизонтально. Эти конверторы называются горизонтальными конверторами или конвертерами Пирса и Смита. На рис. 63 представлен в поперечном разрезе конвертор Пирса и Смита, установленный на медеплавильных заводах Урала (Карабаш, Кировград, Красноуральск).

Конвертор состоит из кожуха 1, склепанного из листового железа и футерованного внутри магнезитовым кирпичом 2. Воздух

в конвертор нагнетается через фурмы 3, в которые он поступает по рукавам 4 из трубы 5. Кожух опирается бандажами 6 на восемь роликов 7. Для того чтобы при поворачивании конвертора он опирался на все ролики, последние делаются качающимися в опорах 8. Поворот конвертора для приема через горловину штейна и слива шлака производится посредством специального привода (на рисунке не указан).

Газы удаляются через горловину, над которой делается колпак, называемый напыльником. Многие новые конверторы в средней части имеют второй кожух, диаметр которого делается наравне с выступом горловины. Поэтому при повороте конвертора второй кожух закрывает отверстие напыльника и этим самым прекращает доступ в газоход атмосферного воздуха. Это устройство необходимо во всех тех случаях, когда конверторные газы перерабатываются в серную кислоту.

Горизонтальные конверторы Пирса и Смита изготавливаются диаметром от 3,05 до 3,97 м, длиной от 6,1 до 10,67 м. О составе конверторных газов нами подробно было сказано в первой главе, а поэтому на этом здесь мы не будем и останавливаться.

ГЛАВА ПЯТАЯ

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕЧИ ДРУГИХ КОНСТРУКЦИЙ

1. ПЕЧИ РАННИХ КОНСТРУКЦИЙ

При описании механических печей для получения сернистого газа мы подробно останавливались на тех конструкциях, которые в настоящее время наиболее распространены в сернокислотной, сульфитцеллюлозной и медеплавильной промышленности. Печи других конструкций встречаются единицами, а некоторые из них уже совсем не устанавливаются, в связи с чем мы даем лишь краткое описание характерных деталей этих печей.

1. Печи с водяным охлаждением вала и гребков

Из печей, в которых вал и гребки охлаждаются водой, известны печи «Геркулес» и Бакема. Печи «Геркулес» бывают производительностью от 5 до 25 т колчедана в сутки. Вода для охлаждения гребков поступает по трубе, расположенной в центре вала, и по выходе из гребков, пройдя полую часть вала, попадает в резервуар, находящийся на верху вала печи. Печи эти 6- или 8-этажные; своды имеют сферическую поверхность; колчедан в первый этаж поступает у периферии. Гребки имеют по 10 съемных зубьев. Печь «Геркулес» была установлена на Винницком суперфосфатном заводе и на заводе Красный химик (быв. Тентелевский завод) в Ленинграде.¹ Производительность печи 12 т колчедана.

¹ На том и другом заводе печи «Геркулес» домонтированы.

В Голландии для обжига серных колчеданов применяется печь Thorba фирмы Бакема. Печи этой конструкции строятся производительностью от 8 до 20 т. Вал и гребки печи охлаждаются водой, причем охлаждение каждого отдельного гребка происходит самостоятельно, для чего вода по трубе, находящейся в центре вала, подводится в гребки, а из них по отдельным трубам, расположенным по внутренней периферии вала печи, вверх в коробку с отдельно замкнутыми камерами для каждой трубы. Из каждой камеры вода отводится отрезками в общую неподвижную кольцевую коробку, расположенную на верхней раме печи. Отвод воды из каждого гребка отдельной трубой позволяет регулировать количество воды, поступающей в гребки, и этим повышать или понижать температуру в отдельных этажах. Гребки нижнего этажа не охлаждаются. Своды печей имеют сферическую форму и гребки наклонены параллельно склону. Печи питаются у вала и поэтому у них нечетное число этажей. Печи этой конструкции делаются без железного кожуха, снаружи они стянуты блядами из полосового железа: толщина футеровки у таких печей 500 мм, т. е. в $1\frac{1}{2}$ —2 раза больше, чем у печей, имеющих кожух. На верхнем своде печи гребки отсутствуют, поэтому сушальным сводом служит первый рабочий свод печи.

Печь Бакема работала на Шелковском химическом заводе. В отношении процесса сжигания колчедана она работала удовлетворительно, но конструкция крепления гребков, приводившая к остановке печи при смене и поломке гребков, а также и разрушение футеровки печи водой при поломке гребков, побудило заводоуправление отказаться от эксплуатации этой печи.

2. Печь Шерфенберга

Печь имеет семь обжиговых этажей, снабжена полным валом и гребками, охлаждаемыми воздухом. Отличие этой печи от обычных заключается в том, что каждые два этажа II и III; IV и V; VI и VII соединены между собой обычным образом через кольцевое отверстие у вала печи. Через эти отверстия пересыпается колчедан на нижележащий свод и проходит газ с нижележащего этажа в верхний. Каждый четный этаж (II, IV и VI) не имеет постоянного сообщения с вышележащим этажом; от каждого из этих этажей имеются в футеровке печи каналы, идущие к верхнему этажу печи. По этим каналам образующийся газ поступает в первый этаж и отсюда он направляется в газодход. Таким образом газ не проходит последовательно все этажи с нижнего до верхнего, как это делается во всех вышеописанных печах, а от каждой пары этажей, смешавшись, поступает по каналам в первый этаж.

При таком движении газа почти отсутствует встречное движение газа и колчедана и поэтому пылеобразование в этих печах весьма мало. Пересыпание колчедана с нечетного этажа в четный происходит через отверстия у периферии, открываемые колчеданом при прохождении над отверстием гребка. После высыпания

колчедана отверстия автоматически закрываются. Таким образом нечетные этажи сообщаются с четными периодически при открывании отверстий во время прохождения над ними гребков. Воздух, необходимый для горения колчедана, поступает отдельно в каждый этаж, за исключением верхнего, через каналы в сводах печи. Эти каналы выходят на внешнюю периферию печи.

Верхние три этажа имеют по два гребка, а нижние четыре по одному гребку. Гребки нечетных этажей находятся в одной вертикальной плоскости, перпендикулярной к плоскости гребков четных этажей. Воздух для охлаждения нагнетается вентилятором в центральную часть вала, откуда он поступает в гребки и из них обратно в вал, как у печей Гумбольдта. Печи Шерфенберга были установлены на некоторых сульфитцеллюлозных фабриках еще в дореволюционное время.

Установка печей этой конструкции оправдывается лишь необходимостью получать газ с минимальным количеством пыли, что в настоящее время, при совершенной очистке газа от пыли в электрофильтрах не является необходимым.

3. Печи с несколькими вертикальными валами

В основу конструкции механических печей с несколькими вертикальными вращающимися валами положен тот же принцип, что и в обычных механических печах с одним валом. Эти печи вследствие наличия нескольких валов имеют большую площадь каждого свода и меньшее число этажей против обычных печей.

Из печей этого типа в Англии отчасти применялась печь Гарриса.

Печь Гарриса имеет два вращающихся вала и четыре свода, образующих три этажа. Колчедан подается в печь у одного из валов и гребком на этом валу передвигается к гребку второго вала. Этим гребком колчедан двигается ко второму валу, где и просыпается во второй этаж. Движение колчедана во втором этаже происходит от второго вала к первому, где колчедан просыпается в третий последний этаж. В третьем этаже движение колчедана аналогично, как и в первом этаже. Огарок из печи у второго вала принимается транспортером, выводящим огарок за периферию печи. Движение газа происходит в противоток движению колчедана и обжиговые газы отводятся с первого этажа.

В печах Гарриса вертикальное движение колчедана сокращено вдвое по сравнению с обычными печами, вследствие чего в них меньше образуется пыли, чем в печах с одним валом при одинаковой площади рабочих сводов.

Печь Гарриса можно рассматривать как вдвоенную обычную печь. Можно сконструировать печь с тремя, четырьмя и более валами; так как с увеличением числа валов площадь одного свода растет приблизительно пропорционально числу валов, то можно себе представить одноэтажную печь с несколькими валами. В такой печи колчедан будет перемещаться горизонтально от вала к

валу. Высота этой печи будет значительно ниже обычных, но те неудобства, которые связаны с обслуживанием многих валов, препятствуют распространению печей с многими валами.

4. Печи с вращающимся подом

Вращающиеся подовые печи мало распространены и встречаются лишь при предварительном обжиге медного концентрата и главным образом свинцовых руд и свинцового штейна.

С одним из видов подобных печей мы познакомимся при агломерации (круглый Двайт-Аллойда). Были попытки применить круглую вращающуюся печь, по конструкции напоминающую закалочную печь в стекловом производстве. Она представляет собой

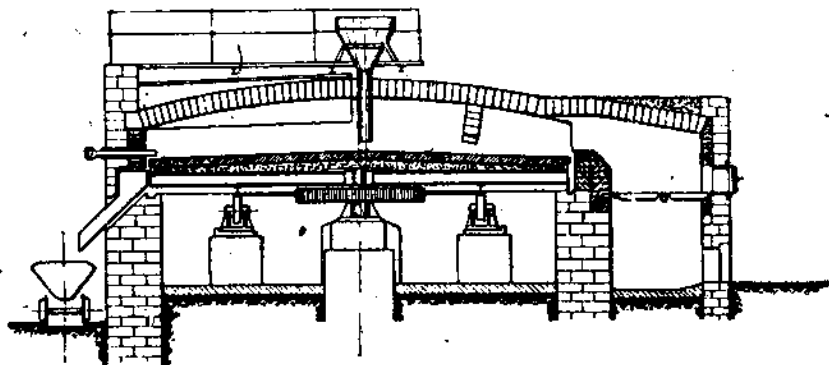


Рис. 64. Печь с вращающимся подом.

круглый под, катающийся на роликах, расположенных под подом; боковые стены ее перекрыты сверху сводом. Загрузка колчедана производится из воронки, установленной на своде. Для перемешивания колчедана в свод печи вставлялись неподвижно закрепленные гребки. Печь не получила большого распространения, так как была вытеснена механическими печами, а в некоторых случаях круглыми (Двайт-Аллойда).

Из печей с подвижным подом для обжига свинцовых руд и свинцового штейна применяется круглая печь Гунтингтона-Герберейна (рис. 64).

Эта печь имеет вращающийся под диаметром от 6 до 8 м и расположенную сбоку наклонную или горизонтальную колосниковую топочную решетку для сжигания угля. Вместо твердого топлива применяют и мазут. Загрузка материала производится в середине печи через воронку с поднимающимся и опускающимся патрубком, которым регулируется высота падения шихты. Гребки прикреплены к раме, вделанной в свод, легко перемещаются в вертикальном направлении и сменяются. Загрузочная воронка специально устроена так, что загруженный материал захватывается при первом повороте центральными гребками и продвигается к пе-

рифери, пока не попадет при последующем повороте под вторые гребки и т. д. Крайние гребки выносят обожженный материал через борт пода в воронку, из которой материал высыпается в подставленную вагонетку. На различном расстоянии от середины находятся в своде четыре выходных отверстия для газов. Открывая и закрывая эти отверстия, можно менять в печи направление газов и тем самым регулировать температуру в печи. Получаемая температура в печи не очень высока и поэтому эта печь подходит лишь для предварительного обжига цветных руд.

5. Печи с винтообразным подом

В этих печах колчедан передвигается по винтовому своду гребками, закрепленными на одном или нескольких валах. После некоторого поворота вала он на некоторый момент останавливается и гребки вместе с валом поднимаются вверх до первоначального положения, и движение вала с гребками возобновляется снова. Благодаря винторезному своду движение колчедана происходит как бы по наклонной плоскости и совершенно исключается вертикальное пересыпание колчедана, как в обычных печах. Поэтому содержание пыли в обжиговых газах должно быть меньше, чем при обычных печах.

Винт свода имеет небольшой уклон и при большом диаметре печи плоскости винторезного пода близки к горизонтальным и плоскости вращения гребков почти параллельны плоскостям свода.

На одном из сернокислотных заводов СССР была установлена печь Брак-Лорана с винтообразным подом и одним центральным валом. Охлаждение вала и гребков печи производилось водой. Производительность печи была 8 т сожженного колчедана в сутки. Под печи был расположен по винтовой линии, так что колчедан проходил весь путь в печи сверху вниз по наклонной, винтообразно расположенной плоскости. Для разных движений вала и гребков имелось несколько моторов.

Работа и ремонт печи оказались настолько сложными, что заводоуправление вынуждено было отказаться от эксплуатации этой печи.

6. Четырехугольные печи без центрального вала

Печи эти имеют один или несколько параллельных этажей, в которых колчедан особым устройством передвигается с этажа на этаж. По своей конструкции эти печи напоминают ручные печи Малетра и Шаффнера, в которых ручной труд для перегревания с этажа на этаж заменен механизмами.

Первоначальная конструкция такой печи предложена Спенсом. Эта печь применялась в 80-х годах прошлого столетия на некоторых заводах Америки.

Пересыпка колчедана с одной полки на другую в этих печах производится с помощью особой тележки, поставленной на колеса и движущейся по рельсам. На тележке имеется передвижная рама

со штангами, которые входят в печь через соответствующие отверстия. На концах штанг прикреплены гребки, снабженные зубьями с сечением треугольника. Направление зубьев гребков соответствует передвижению колчедана по сводам. Тележка движется взад и вперед и зубья гребков перегревают постепенно колчедан с одного этажа на другой нижележащий. Загрузка печи производится вверху, а удаление огарка из приемника внизу, куда огарок сгребается с нижнего этажа. Печи Спенса не получили распространения, так как механизмы быстро деформировались и их часто приходилось ремонтировать.

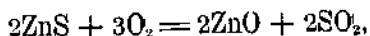
Подобной конструкции известны печи Догета. Хотя в конструктивном отношении последние и улучшены против печей Спенса, но ввиду явных преимуществ цилиндрических механических печей с центральным валом они распространения не получили.

II. ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ЦИНКОВЫХ РУД

Выше мы говорили о получении SO_2 в цинковой промышленности и возможности утилизации этого газа для получения серной кислоты.

На цинковых заводах цинк получают или непосредственно из руды, содержащей ZnS , или чаще из концентратов, получаемых при обогащении цинковой руды. Процесс получения металлического цинка происходит в две основные фазы. Первая фаза — обжиг сырья, содержащего цинк, для превращения ZnS в ZnO . Вторая фаза — восстановление полученного ZnO углем до металлического цинка при такой температуре, что цинк получается в парообразном состоянии. Пары цинка конденсируются при отсутствии воздуха и углекислоты с тем, чтобы металлический цинк не дал снова ZnO . Каждая из двух фаз производства ведется в разных аппаратах. Нами будут описаны лишь печи для обжига цинковых руд, так как вторая фаза не относится к поставленной нами задаче.

Цинковая обманка, находящаяся в руде или в цинковых концентратах, обжигается по реакции:



причем в дальнейшем ZnO с образующимся в печи SO_2 может дать сульфат цинка по реакции:



Для полной диссоциации ZnSO_4 необходима температура 900° , которая обычно бывает на средних этажах печи. Для полного разложения ZnSO_4 и других сульфатов желательно вести обжиг руды при возможно более высокой температуре, но при очень высокой температуре может улетучиться также и часть ZnO и ZnS . Поэтому температуру обжига стараются не доводить выше 900° . Высокая температура нужна во второй стадии обжига, когда обра-

зуется главная масса $ZnSO_4$, но поддержать высокую температуру в этой стадии за счет горения руды невозможно, так как к этому моменту в руде остается уже мало ZnS . Для поддержания высокой температуры во второй стадии сжигают постороннее топливо. При обжиге цинковой руды без сжигания постороннего топлива в ней остается 7—10% S . Такой огарок, называемый *vorrest* (неполный обжиг), не может идти для получения цинка и поэтому в дальнейшем выжигается на аппарате Двайт-Аллойда до огарка *totrest* (обжиг намертво).

Во многих печах, о которых будет идти речь ниже, цинковую руду сразу обжигают на *totrest*. Цинковая руда обжигается вручную или в механических печах. Ручные печи по принципу работы не отличаются от ручных колчеданных печей Малетра или Шаффнера (см. стр. 62). Ручная печь Дельпласа для обжига цинковой руды имеет шесть этажей, обслуживаемых вручную с двух сторон, а не с одной, как в печах Шаффнера. Основное отличие печи Дельпласа от печи Шаффнера заключается в том, что она имеет внизу топку для сжигания топлива, и топочные газы, нагрев нижний этаж печи, уходят в специальный дымоход, не смешиваясь с обжиговыми газами руды. Такие печи называются муфельными. Известны и другие муфельные ручные печи, устанавливаемые для обжига цинковой руды. Печи Газенклевера, Эйхорна и др. В настоящее время для обжига ZnS главным образом применяют механические печи.

1. Печь Спирле

Печь Спирле применяется для обжига цинковых руд и концентрата. В этой печи можно обжигать руду как на *totrest*, так и на *vorrest*. В первом случае сжигают дополнительное топливо в топке под печью, а во втором обжиг руды ведут без топлива.

На рис. 65 представлена печь Спирле. Эта печь по типу относится к механическим печам, но в отличие от них не имеет центрального вала и имеет два вращающихся нода. В печи четыре этажа, которые образуются пятью круглыми сводами. Нечетные своды 1 неподвижны; четные же своды 2 вращаются вокруг своей геометрической оси. На вращающиеся своды насажены по их наружной окружности большие шестерни, имеющие зацепления с маленькими шестернями, вращающимися на вертикальном валу 3. При вращении вала 3 вращаются следовательно и своды 2. Для поддержания вращающихся сводов имеются ролики 4, которые катятся по рельсам 5. Неподвижные своды обхвачены круглой металлической рамой, лежащей на шести кронштейнах, прикрепленных к колоннам 6. Своды сделаны из огнеупорного кирпича и снабжены, за исключением нижнего, зубьями из того же материала.

Для того чтобы обжиговые газы не проникали из печи в помещение, своды снабжены металлическими фартуками, опускающимися в песочные затворы нижележащего свода. Подлежащая

обжигу руда из бункера 7 питателем через патрубок 8 подается в первый этаж на вращающийся свод 2. Этот свод не имеет на верхней поверхности зубьев и передвижение по нему шихты производится зубьями, вделанными в неподвижный верхний свод. Зубья в этом своде расположены под определенным углом к ра-

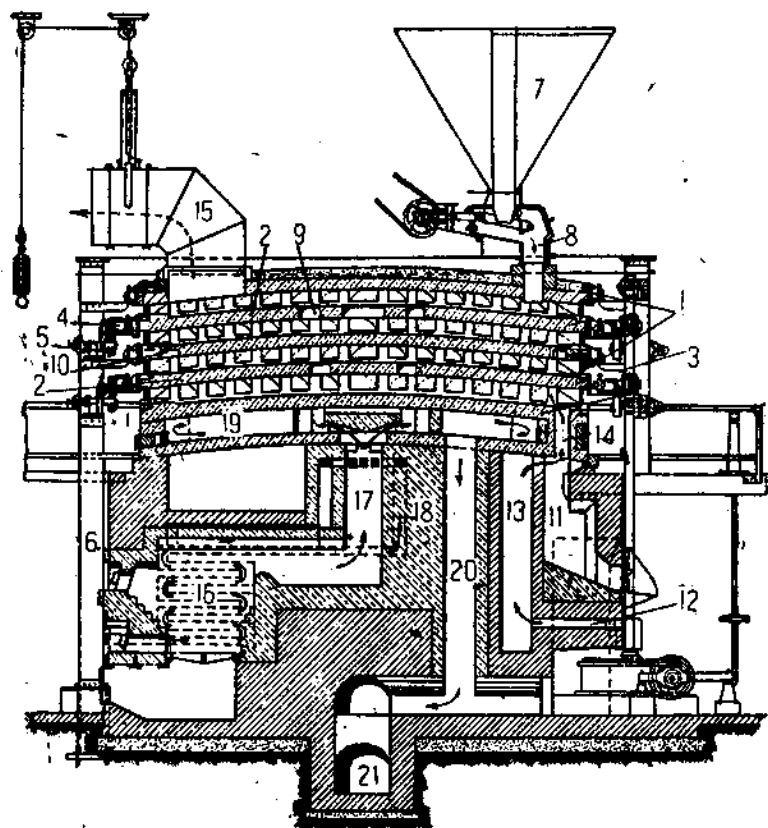


Рис. 65. Печь Спирса:

1 — нечетные своды, 2 — четные своды, 3 — вал, 4 — ролик, 5 — рельсы, 6 — колонны, 7 — бункер, 8 — патрубок, 9 — отверстия, 10, 12, 14, 18 и 20 — каналы, 11, 13 и 19 — камеры, 15 — колено, 16 — топка, 17 — верхняя часть канала, 21 — бороз.

диусу печи и вследствие вращения свода 2 материал передвигается зубьями от периферии к центру, где он и просыпается через отверстия 9 в следующий этаж на неподвижный свод. Перемещение материала по этому своду к периферии производится зубьями вращающегося свода 2. Направление зубьев в своде 2 противоположно направлению в своде 1. Со следующего свода материал просыпается через каналы 10 на нижележащий свод, где он движется подобным же образом, как и по своду 1. На нижнем своде материал движется к периферии, где просыпается в камеру 11, откуда периодически и выгружается.

Необходимый для процесса обжига руды воздух поступает через канал 12 в камеру 13, где он отчасти подогревается и по каналу 14 поступает в печь. Движение в печи воздуха и образовавшегося SO_2 при горении цинковой руды происходит по тем же каналам, по которым движется и обжигаемая руда, но в обратном направлении. Образовавшийся в печах SO_2 выходит из первого этажа печи по колену 15. Для полного разложения ZnSO_4 , как выше было сказано, необходима температура $\approx 900^\circ$. Для получения этой температуры в печи имеется полутенераторная топка 16 для каменного угля. Образующийся в этой топке генераторный газ сгорает в верхней части канала 17, за счет вторичного воздуха, поступающего по каналам 18.

Вторичный воздух, пройдя по каналу, расположенному в стенках топки, подогревается и поступает в камеру смешения уже достаточно нагретым. Продукты горения поступают в камеру 19, нагревают нижний свод с находящимся на нем материалом. В камере 19 имеются перегородки, расположенные таким образом, чтобы продукты горения могли обогреть всю площадь нижнего свода. Из камеры 19 продукты горения по каналам 20 поступают в боров 21.

Расход каменного угля составляет 8—12% от веса обжигаемой руды. На вращение сводов одной печи требуется мотор в 1,5 kW. Печь в течение 24 час. обжигает от 5 до 7 т цинковой руды. Производительность печи в значительной мере зависит от состава руды. Газы, получаемые при обжиге цинковых руд и концентратов, нормально содержат 5,5—6% SO_2 и вполне пригодны для переработки на серную кислоту.

Нормальная температура по сводам в пятитонной печи Спирле следующая:

В первом этаже печи	750—800°
Во втором " "	900—950°
В третьем " "	850—900°
В четвертом " "	680—710°

Главное условие нормальной работы печи Спирле — это исправность зубьев. Если зубья стираются или ломаются и на их место не ставят новых, вся работа печи нарушается. Ручное переталкивание руды с этажа на этаж еще более ухудшает дело, так как печь охлаждается, газы разжижаются воздухом и получаемый цинковый огарок содержит слишком много серы. Нормальный остаток серы в огарке 1—2%.

Второе условие хорошей работы печи — надлежащий нагрев нижнего свода. Температура на нижнем своде не должна быть ниже 380—700°.

Преимущество этих печей по сравнению с обычными механическими — это отсутствие металлических деталей, работающих при высокой температуре, а основной и весьма значительный недостаток этих печей — это легко ломающиеся керамические зубья. В последние годы печи Спирле стали строить производительностью 12—13 т в сутки. Такие печи имеют 8 сводов и диаметр их равен 5,5 м.

Из механических печей с центральным валом и неподвижными подами для обжига цинковых руд применяются печи Никольс-Геррестгофа и Ведеже, описанные выше.

Если обжиг цинковой руды в механических печах производится без сжигания постороннего топлива, то серы в огарке остается 8—10%. Такой огарок обычно дожигают на totrest в аппаратах Двайт-Ллойда. При обжиге огарка с содержанием серы 8—10% на аппаратах Двайт-Ллойда в начале аппарата можно получить газ с содержанием 4—5% SO_2 , пригодный для переработки в серную кислоту; в конце же аппарата получается разбавленный газ с содержанием SO_2 0,2—0,3%, для получения кислоты не пригодный.

Автором этой книги осматривалась в Норденгамо (Германия) установка, где цинковый концентрат обжигался на vorrest в печи Гумбольдта и в дальнейшем дожигался на totrest в аппарате Двайт-Ллойда. Газ из печи Гумбольдта получался с содержанием 5—6% SO_2 , а огарок при первоначальном содержании серы в руде 31% выходил из печи с 8% S. Газы, собираемые в первой половине Двайт-Ллойда, содержали 4,5% SO_2 и перерабатывались в серную кислоту совместно с газом из печи Гумбольдта в башенной системе Петерсена. Газы, собираемые в конце аппарата Двайт-Ллойда, содержали всего 0,2% SO_2 и выпускались в атмосферу.

Сжигание дополнительного топлива при полном обжиге цинковых руд требуется не потому, что нехватает теплоты горения самой руды, а для того чтобы обеспечить высокую температуру во второй стадии обжига.

К. М. Малин в своей книге¹ приводит тепловые расчеты, доказывающие правильность такого предположения.

Путем прекращения охлаждения вала и пребков, а также и отнятия тепла от выходящих из печи газов и использования этого тепла во второй стадии обжига в виде подогретого воздуха, возможно спроектировать печь, которая не требовала бы дополнительного топлива при полном обжиге цинковой руды. В печи Ингэллсома, установленной в США на заводе National Zink Separating Company, о которой говорит К. М. Малин, повидимому тепловой баланс печи улучшен этим методом.

III. ВРАЩАЮЩИЕСЯ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ГИПСА

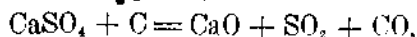
Гипс как сырье для получения серной кислоты при параллельном получении портланд-цемента, впервые был применен фирмой Байера в Леверкузене (Германия) во время мировой войны. Впоследствии начал работать на этом сырье завод в Англии (Биллингем).

Для разложения сульфата кальция по реакции



¹ Технические проблемы производства серной кислоты, Госхимтехиздат 1934.

необходимо затратить 116,36 ккал; если же разложение производить при добавке угля по реакции



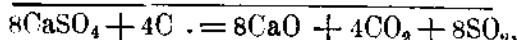
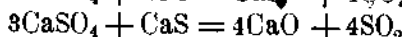
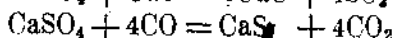
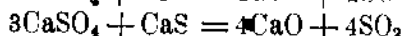
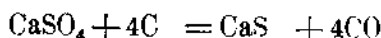
то затрачиваемое тепло будет равно 87,3 ккал. Но затрата угля равносильна затрате тепла и поэтому вторая реакция не улучшает процесс с точки зрения расхода топлива. Диссоциация CaSO_4 начинается при 800° и заканчивается при 1400° .

Проф. Будников приводит следующие данные о потере в весе гипса при 4-часовом прокаливании в зависимости от температуры (табл. 19).

Таблица 19

Температура прокаливания в $^\circ\text{C}$	Процент потери веса	Температура прокаливания в $^\circ\text{C}$	Процент потери веса
800	0,14	1200	2,30
900	0,27	1300	4,10
1000	0,30	1380	58,30
1100	1,60	—	—

По второй реакции, т. е. при добавлении угля температура разложения гипса падает и при составе шихты 1 ч. угля и 2 ч. гипса при 800° в течение 1 часа разлагается 36,34% гипса. При добавлении к гипсу SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 температура разложения гипса также снижается. Химизм разложения CaSO_4 в присутствии углерода протекает по следующей схеме:

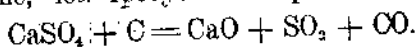


т. е. первоначально образуется CaS и CO , которые в дальнейшем, реагируя с CaSO_4 , дают SO_2 и CaO . Если в шихте имеется SiO_2 , Al_2O_3 или Fe_2O_3 , то они не только понижают температуру разложения, но и соединяются с CaO , образуя цемент.

Гипс, как требующий для своего разложения затраты постороннего топлива, экономически не выгоден как сырье для получения SO_2 . Параллельное же получение цемента и SO_2 может создать экономические предпосылки для развития производств серной кислоты и цемента в районах, потребляющих эту продукцию, но не имеющих дешевого серусодержащего сырья для получения серной кислоты. Кроме этого SO_2 , получаемый при разложении CaSO_4 , не содержит мышьяка, и это может дать экономию на капитальных затратах и на эксплуатационных расходах контактных заводов, перерабатывающих SO_2 из гипса.

Для получения SO_2 и цемента в Леверкузене установлена вращающаяся печь диаметром 2,5 м и длиной 50 м, тождественная по конструкции с печами, работающими в цементной промышленности. В этой печи шихта, состоящая из гипса, угля, глины и песка, подвергается обжигу. Соотношение между составными элементами шихты берется таким, чтобы в получаемом клинкере отношения процентного содержания кремнекислоты к процентному содержанию полутвердых окислов (силикатный модуль) и отношение процентного содержания глинозема к процентному содержанию окиси железа (железный модуль) соответствовали бы стандартным маркам портланд-цемента.

Печь отопливается пылевидным каменным углем, который вдувается в печь вентилятором. Размолотая и смешанная шихта подается с противоположной стороны печи. Количество угля в шихте в два раза меньше, чем требуется по реакции



Состав газов выходящих из печи, следующий: 7—9% SO_2 , 0,8—1,5% O_2 и 18—20% CO_2 . Содержание в газе O_2 недостаточно для процесса получения серной кислоты и его разбавляют воздухом, при этом получается газ, содержащий 4—5% SO_2 и 10% O_2 .

В Англии (Биллингем) на гипсе работает контактный завод производительностью 75 т моногидрата в сутки.

Газы, получаемые при обжиге гипса, на выходе печи имеют следующий состав: SO_2 —6—7%, O_2 —1,2—1,5%; SO_3 —0,54%, остальное CO_2 и N_2 . Так как концентрация газа неблагоприятна для переработки его в контактную кислоту, то газ повидимому подвергается обогащению путем абсорбции водой и десорбции водного раствора сернистого ангидрида воздухом. В этом случае газы должны освободиться от углекислоты и обогащаться кислородом.

Сырьем для производства служат: гипс, глина, зола и песок. Глина и зола перед поступлением в шихтовальное отделение подвергаются предварительному смешению и затем сушке во вращающейся печи, отопливаемой горячим газом.

Высушенная смесь измельчается на трубчатой мельнице и подается в бункера шихтовального отделения. Сухой песок и молотый гипс хранятся также в соответствующих бункерах. Все бункера в количестве 6 шт. снабжены тарельчатыми питателями и расположены двумя параллельными секциями; под каждой секцией имеется ленточный транспортер, подающий материал в загрузочные устройства обжиговых печей.

Длина печи — 50 м, диаметр 5, 4 и 3 м, наибольший диаметр со стороны топки и наименьший со стороны поступления шихты. Число оборотов печи 1 об/мин. Максимальная температура печи 1200°. Печь установлена на четырех опорах. Таких печей две. Топливом служит угольная мелочь, вдуваемая вентилятором в противоток шихте. Вследствие высокой температуры кожух печи вначале (со стороны топки) охлаждается водой. Температура газов, выходящих из печи, 900°. В дальнейшем газы очищаются от

пыли (циклоны и электрофилтры), охлаждаются и поступают в баппи для абсорбции и дезорбции сернистого газа.

На концах печи имеются неподвижные головки, через одну из них выходят газы и задается шихта и через вторую высыпается обожженный клинкер. Клинкер поступает в воронку, а из нее на классификатор, расположенный под печью. Из классификатора более крупный материал возвращается обратно на обжиг, а мелкий подается металлическим трясучим транспортером на завод портланд-цемента. Полученный клинкер смешивают с различными добавками и обжигают вторично в цементных печах, отапливаемых угольной мелочью. Вторичный обжиг очевидно производится с целью получения портланд-цемента высокого качества. Гидравлический модуль получаемого цемента 2,5, а силикатный модуль 2,0.

В СССР Научно-исследовательским институтом цемента произведены исследования и проведены заводские опыты получения цемента из CaSO_4 . В этом институте гипс обжигался в лабораторных условиях в течение 20 мин. при различных температурах с добавкой угля, полуторных окислов в разных соотношениях. Результаты обжига даны в табл. 20.

Таблица 20

Состав смеси	Температура обжига °C					
	1000		1100		1250	
	Процент разложения CaSO_4	Процент восстановления до CaS	Процент разложения CaSO_4	Процент восстановления до CaS	Процент разложения CaSO_4	Процент восстановления до CaS
$2\text{CaSO}_4 + \text{C}$	41,40	10,19	84,20	0,52	91,52	0,16
$6\text{CaSO}_4 + 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C}$.	47,96	1,07	87,67	—	93,27	—
$2\text{CaSO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C}$. .	82,18	—	89,08	—	93,81	—

Прокаливание одного CaSO_4 в тех же условиях при температуре 1200° дало процент разложения всего лишь 1,7%. В стандартных марках портланд-цемента железный и силикатный модули и коэффициент насыщения имеют определенные величины, поэтому во второй серии опытов институтом брались шихты с расчетом получить цементы стандартных марок. Результаты опытов приведены в табл. 21.

При произведенных в дальнейшем опытах обжига шихты в небольших вращающихся печах получался цемент, отвечающий всем требованиям, предъявляемым к цементам высокой марки.

Для выяснения состава газа был произведен обжиг гипса в промышленной цементной печи на Косогорском заводе. Шихта состояла из артемовского гипса и коксика; она вводилась в печь в измельченном и в увлажненном состоянии. Печь отапливалась

пылевидным каменным углем, как это практикуется на цементных заводах. Заводское испытание дало следующие результаты:

1. Выходящий газ из печи имел состав: 8,4% SO_2 , 1,5% O_2 , 21,2% CO_2 , 69,9% N_2 .

2. В отходящих из печи газах H_2S , CS_2 , CO , COS и углеводороды отсутствовали.

3. Газ выходил из печи при температуре 600° и содержал пыли 45 г в 1 м^3 , из которой оставалось в пыльной камере 33 г на 1 м^3 (количество пыли пересчитано на нормальные условия для газа).

Таблица 21

Коэффициенты			Температура в $^\circ\text{C}$					
			1000		1100		1250	
насыщенность	силикатный модуль	железистый модуль	Процент разложения CaSO_4	Процент восстановления до CaS	Процент разложения CaSO_4	Процент восстановления до CaS	Процент разложения CaSO_4	Процент восстановления до CaS
0,9	1,5	1,5	46,16	5,30	72,68	—	92,32	—
0,9	1,5	2,5	32,85	7,65	78,09	—	89,47	—
0,9	1,5	3,5	39,13	8,63	74,85	0,41	85,87	—
0,9	2,5	2,5	32,44	9,91	74,00	0,83	85,74	0,42
0,9	3,5	1,5	34,35	11,04	75,54	0,59	93,23	—
0,9	3,5	2,5	29,06	7,12	71,33	1,66	88,79	—
0,9	3,5	3,5	32,63	9,63	70,94	0,07	88,17	—

4. Полученный клинкер полностью отвечал требованию стандарта.

5. При обжиге CaSO_4 необходимо соблюдать равномерный режим печи, иначе CaSO_4 не успевает полностью разложиться и кроме того может произойти частичное спекание материала, ведущее к повышенному содержанию серы в клинкере.

6. Содержание кислорода в отходящих газах должно составлять 1—1,5%. При меньшем содержании в газе появляется COS , а в клинкере CaS .

7. Необходимая температура для получения стандартного цемента $1400\text{—}1500^\circ$.

8. Производительность печи при работе на гипсе уменьшилась на 50% по сравнению с работой на CaCO_3 в пересчете на цемент.

Проведенными заводскими опытами вполне установлена возможность получения SO_2 , годного для переработки в серную кислоту, при одновременном получении портланд-цементов стандартных марок.

IV. ПЕЧИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ СЕРЫ

В некоторых странах (Америка, Италия и др.) для получения сернистого газа сжигают серу. Сжигание серы гораздо легче, чем колчедана; поэтому и печи, устанавливаемые для этой цели, проще печей, применяемых для сжигания колчедана.

На рис. 66 представлена печь для сжигания серы. Печь имеет загрузочную воронку, которая закрывается крышкой 2. Из воронки 1 сера по открытии клапана высыпается в конический патрубок 3, где и плавится за счет тепла, образующегося в самой печи при горении серы. Расплавленная сера выливается на тарелку 4 и из нее разливается по дну печи, сгорая в SO_2 . Воздух для горения нагнетается в печь

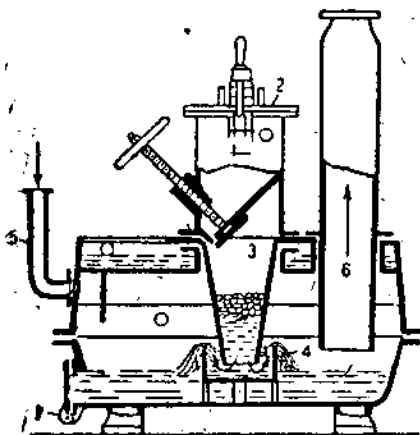


Рис. 66. Печь для сжигания серы:

1 — воронка, 2 — крышка, 3 — патрубок, 4 — тарелка, 5 и 6 — трубы, 7 — люк.

для горения нагнетается в печь вентилятором или компрессором через трубу 5. Получающийся при горении серы SO_2 выходит из печи по трубе 6. Так как сера содержит некоторые примеси, то остающийся в печи после сгорания серы шлак выпускается периодически через люк 7. Для наблюдения за процессом горения в печи имеются глазки, закрываемые слюдой. О целью предохранения печи от разрушения низ печи футеруют кирпичом и верх охлаждают водой.

Описанные печи строятся на различную производительность, зависящую от площади горения серы. На 1 м^2 сгорает в сутки $0,55 \text{ т}$ серы. Перед пуском печь

разогревают дровами или углем, а в дальнейшем процесс поддерживается за счет теплоты горения самой серы.

Для сжигания серы наиболее часто применяют вращающиеся механические печи. Подобная печь (рис. 67) представляет собой чугунный цилиндр А, вращающийся на роликах а. Для предохранения от разрушения цилиндр футеруется внутри огнеупорным кирпичом. Сера расплавляется, за счет тепла обжигаемых газов, в резервуаре В, расположенном над сжигательной камерой.

Расплавленная сера по трубе С поступает в печь А. Количество поступающей в печь серы регулируется вентилем J, закрывающим отверстие в дне резервуара В. Воздух для горения поступает через отверстия D. Газ из печи поступает в сжигательную камеру, где догорают пары серы, летящие вместе с газом, и после этого по трубе H направляется для дальнейшей переработки. Печь перед пуском разжигают углем или дровами и в дальнейшем процесс сжигания идет за счет тепла, выделяемого при горении серы.

Подобные печи работают в Америке и Англии. Производительность печей от 3 до 60 т серы в сутки.

Концентрация SO_2 в газе довольно высокая и содержит 10—15% SO_2 при 11—6% O_2 .

В последнее время в Америке начали применять печи, в которых расплавленная сера сжигается в распыленном состоянии.

Применение норвежского метода для получения серы на некоторых наших медеплавильных заводах делает возможным с целью получения серной кислоты сжигать серу и у нас в СССР.

На рис. 63 представлена печь, спроектированная Гипрохимом для Невского химзавода. Печь состоит из топки, в которой сжи-

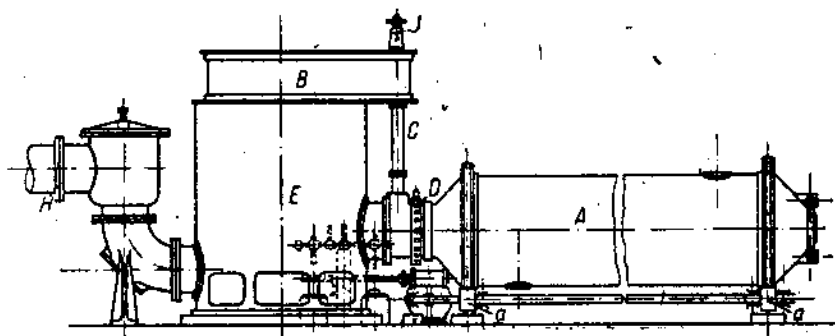


Рис. 67. Вращающаяся печь для сжигания серы:

А — цилиндр, В — резервуар, С — труба, D — отверстия, Е — дожигательная камера, J — вентиль, H — труба, а — ролики.

гается сера, и парового котла, в котором используется теплота топочных газов. Топка представляет собой железный кожух 15 с наружным диаметром 3466 мм и длиной 7850 мм. Толщина железа 12 мм. Внутри топка футерована в четверть инфузорным кирпичом 19 и в один кирпич шамотным огнеупорным 18. Между обичайкой и футеровкой проложен слой асбеста 20 толщиной 6 мм. Внутренний диаметр топки 2800 мм. Объем топочного пространства 30 м³. Вес топки 86 т. Температура в топке 1000°. Количество сжигаемой серы 1435 кг/час. Состав газа в топке при этом:

Газ	Количество в м ³ /час	Количество в кг/час	Объем в %
SO_2	1 005	2 872,5	11
O_2	891,6	1 270	9,75
N_2	7 123,2	8 925	78
H_2O	130,2	104,5	1,25
	9 150,0	13 172,0	100

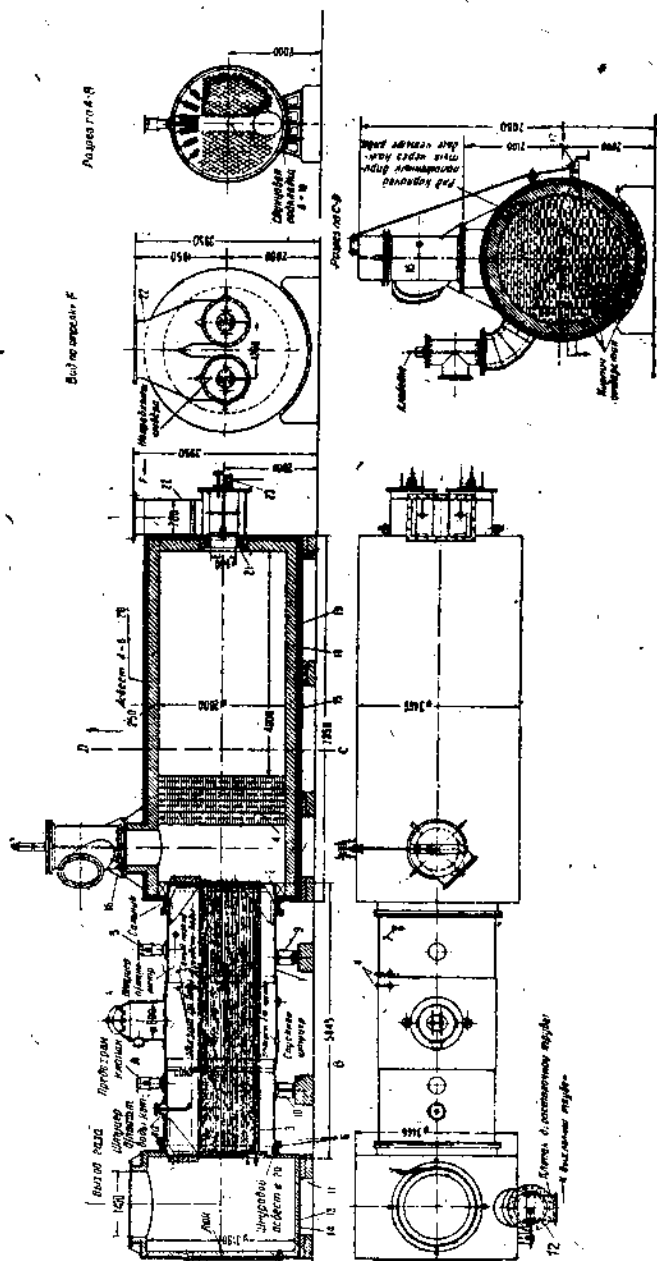


Рис. 68. Толка и котел для сжигания серы:

1 — обшивка котла, 2 — листы котла, 3 — дымогарные трубы, 4 — решетчатая перегородка, 5 — двойной предохранительный клапан, 6 — сальник, 7 — диаметр, 8 — указатель уровня воды, 9 — половина опора котла, 10 — неподвижная опора котла, 11 — коуха камеры, 12 — клапан расточной трубы, 13 — футеровка камеры, 14 — асбест, 15 — коуха точки, 16 — клапан с байпасом и трюнк в межу, 17 — отверстие для подтема клапанов, 18 — вырлик огнеупорный, 19 — инфурзорный кирпич, 20 — асбест, 21 — кольцо из шамотной глины, 22 — коуха воздушной коробки, 23 — форсунка с паровой рубашкой.

Для сжигания серы на фронте топки устанавливаются две форсунки 23. Сера подводится в форсунку в расплавленном состоянии. Для предохранения серы от охлаждения форсунка имеет паровую рубашку. Форсунка по конструкции аналогична форсунке Кертинга. Расплавленная сера, проходя по винту внутри форсунки, получает вихревое движение и под давлением 3—4 ат распыляется в топке. Регулировка количества воздуха, поступающего в топку, производится задвижкой на воздухопроводе и шиберами в самой топке. Для наблюдения за горением на фронте топки имеются два смотровые глазка. Для растопки топки имеются соответствующие люки. Для равномерного распределения топочных газов по всему сечению топки имеется перегородка 4 с отверстиями. Перегородка делается из огнеупорного кирпича.

Тепло печных газов используется в паровом котле, соединенном вместе с топкой. Котел весьма компактен по своей конструкции и запроектирован по типу котлов для отходящих газов мареновских печей. Поверхность нагрева котла 360 м². Давление пара 16 ат абс. Съем пара 14 кг/м² в час. Температура газа перед котлом 1000° и после котла 500°.

Общий вес котла (без воды) 27,5 т. Вся обичайка котла сварная. Внутренний диаметр котла 2400 мм, длина котла 5845 мм. Толщина листа 30 мм, а днища 34 мм. Диаметр дымогарных простых труб 57/50 мм, длина 5878, число 328. Диаметр связанных труб 57/47 мм, число 48. Котел установлен на двух опорах 9 и 10, из которых одна опора подвижная. Присоединение котла к топке сделано сальником 8 и уплотнено асбестом.

Печные газы, пройдя котел с температурой 500°, собираются в камере, на которой установлен регулирующий клапан с внутренним диаметром 1400 мм. Клапан служит для включения и выключения котла с топкой от общего газохода и регулирует тягу. Клапан колокольного типа на отгарковом затворе. Подъем клапана осуществляется лебедкой. Для растопки котла и выпуска газа в атмосферу имеется на той же камере специальный растопочный клапан 12, соединенный с выхлопной трубой диаметром 500 мм. Для регулирования количества газа, поступающего в котел, предусмотрено устройство байпаса 16, дающего возможность часть газа направлять в общий газоход, минуя котел.

Питание котлов водой производится двумя насосами Вортингтона (давление пара 15 ат, давление воды 20 ат), из которых один насос работающий, а второй запасной. Ввиду опасности конденсации серной кислоты в трубах котла при низких температурах сжигание серы в топке начинают производить лишь после разогрева котла мазутом и когда давление в нем достигнет 6—8 ат.

Для хранения мазута в изолированном помещении устанавливаются два бака объемом по 3 м³ с внутренним змеевиком для пара. Из этих баков мазут по трубам самотеком поступает в две форсунки. Производительность каждой форсунки в час 350 кг мазута. Распыливание мазута производится сжатым воздухом.

В настоящее время в американской промышленности применяются главным образом следующие печи для сжигания серы.

1. Стационарные печи, в которых сжигание серы производится в распыленном состоянии.

2. Вращающиеся печи, в которых сера сжигается в расплавленном или кусковом виде.

3. Стационарные печи с насадкой, в которых расплавленная сера сжигается на насадке печи.

Для расплавления серы устанавливают плавильный котел. На одном из американских заводов плавильный котел представляет собой бетонный ящик, расположенный в земле. Сера подвозится на вагонетках, взвешивается и по жолобу сбрасывается в плавильный котел. Размер котла (бетонного ящика): длина ~ 6 м, ширина $\sim 1,5$ м и глубина $\sim 1,5$ м. В ящике сера не только расплавляется, но и отстаивается от механических примесей, содержащихся в сере; для этого ящик разделен тремя перегородками на 4 отделения. Загрузка серы производится в 1-е отделение, из которого расплавленная сера переливается во 2-е отделение через перегородку, не достигающую до верха ящика. Из 2-го отделения сера перетекает через отверстия, имеющиеся внизу перегородки, в 3-е отделение. В 4-е отделение сера поступает через верх перегородки.

Все 4 отделения снабжены змеевиками из стальных труб диаметром $1\frac{1}{2}$ ". Для удобства очистки ящика все змеевики расположены по стенкам ящика. Нагревание производится паром, проходящим по змеевикам. Сера должна быть нагрета до температуры $130-140^\circ$. Перегревать серу не следует, ибо при температуре 160° она становится менее подвижной.

Для лучшей очистки серы от механических примесей на перегородке между 3-м и 4-м отделениями вставлена наверху сетка размером 250×750 мм. Сетка заключена в рамку из полосового железа. Прямоугольные отверстия сетки имеют размер 120×65 мм.

Из последнего 4-го отделения расплавленная сера выкачивается поршневым или вертикальным центробежным насосом. Обычно устанавливают два насоса — работающий и запасный.

От насосов сера по короткому трубопроводу, снабженному паровой рубашкой для подогрева паром, поступает сбоку вниз ресивера. Диаметр ресивера 200 мм, высота 600 мм. Ресивер установлен на полу и снабжен паровой рубашкой; из него сера выходит вверх и подается по трубопроводу, обогреваемому паровой рубашкой, в форсунку печи. Для стока серы на случай остановки насоса, трубопровод имеет уклон в сторону ресивера. Сера в форсунке поступает под давлением $1-1,5$ ат. Распыление серы производится сжатым воздухом, подаваемым в форсунку под давлением $5-6$ ат.

Воздух поступает в форсунку по $\frac{1}{2}$ " стальной центральной трубке, вставленной в 2" трубку, по которой подается сера. Вокруг второй трубки имеется паровая рубашка, изолированная снаружи слоем измельченного асбеста. Для защиты изоляции от высокой

температуры топки сверху изоляционного слоя имеется вторая рубашка, в которой циркулирует вода.

Вода к форсунке подводится и отводится гибким шлангом. Остальные трубопроводы прикреплены свертными гайками. Производительность форсунки 455 кг/час. Сера распыляется воздухом в туман и сгорает в печи светложелтым пламенем.

Применяются также форсунки, в которых распыливание серы производится не воздухом, а давлением в 3—4 ат, развиваемым насосом при нагнетании серы (см. выше стр. 179). В таких форсунках сера подается в центральную трубу с винтовым стержнем. Расплавленная сера, проходя по винту внутри форсунки, получает вихревое движение и под давлением 2,5—3 ат распыляется в топку.

Топки для сжигания серы в расплавленном состоянии представляют собой железные цилиндры, футерованные внутри огнеупорным материалом. Конструкции их на разных заводах отличаются друг от друга числом перегородок. Устанавливают три, две и даже одну перегородку.

Одна из таких печей описана нами выше (стр. 177).

Размеры печи зависят от количества сжигаемой серы. В 1 м³ печи сжигают серы 40 кг/час. При теплотворной способности серы 2900 кал/кг напряжение топки равно 116 000 кал/м³. Строятся печи для сжигания серы от 500 до 2000 кг/час. Концентрация газа может быть очень высока и на заводах бумажной промышленности содержание SO₂ доводят до 18—19,5%.

Разогрев печи производится отдельной форсункой. Форсунка расположена на фронте печи, в нижней его части. Во время работы печи форсунка вынимается. Разогрев продолжается около 30 час. Однако при остановке печи на 24 часа не требуется разогрева мазутом. Можно зажечь факелом сразу и серную форсунку, но этого нельзя рекомендовать, так как в холодной печи наблюдается возгонка серы, которая затем осаждается в аппаратах.

Воздух для горения поступает с фронта печи. Если воздух не сушится и печь работает под разрежением, то воздух поступает в печь за счет имеющегося в ней разрежения.

На большинстве заводов тепло печных газов утилизируется для получения пара. На этих заводах воздух для горения обычно сушится в башнях и подается в печь под давлением. При высокой концентрации SO₂ иногда сушку воздуха не производят.

Для утилизации печных газов за топкой устанавливают паровой котел. Котел представляет собой прямоугольную камеру, разделенную на две половины перегородкой, не достигающей доверху. Газ входит в нижнюю часть первой половины, поднимается вверх, огибает перегородку и выходит внизу второй половины. Камера делается из чугунных плит и футеруется внутри огнеупорным кирпичом. При прохождении камеры газ омывает горизонтально расположенные трубы. Трубы соединены в секции по 4—6 рядов.

Наверху, сбоку камеры находится железный цилиндр, который служит для питания котла водой и для сбора пара. От низа ци-

цилиндра вода подводится в нижние трубы секций котла и образующийся пар отводится из верхних труб секций в верх того же цилиндра. Для увеличения поверхности нагрева и предохранения от коррозии трубы покрыты чугунными ребристыми кольцами.

Концы труб выходят за стены камер и соединяются между собой на фланцах стальными дугами. Чистка трубок от пыли производится на ходу сжатым воздухом. Отверстия для очистки расположены между каждым рядом секций, что позволяет легко очищать трубы от пыли.

Конструкция этого котла во многом отличается от описанного выше горизонтального трубчатого котла (стр. 177). Особенности котла заключаются в: 1) отсутствии разъемных соединений и концов развальцованных труб внутри топки; 2) в малом объеме воды, что приближает котел по конструкции к прямоточным котлам; 3) в покрытии трубок чугунными ребристыми кольцами, что увеличивает поверхность нагрева и защищает трубки от коррозии.

При остановке серной печи соблюдают следующие правила:

1. Газ из печи дают на выхлоп и затем закрывают все отверстия печи.

2. Вода из котла не спускается.

3. Включается переносная нефтяная форсунка для поддержания котла в рабочем состоянии.

4. Дымовые газы от сжигания нефти протягиваются на выхлоп.

Для отключения котла на время ремонта имеются обходные газходы с газовыми холодильниками.

Поверхность нагрева котлов различна и зависит от количества сжигаемой серы и флотационного колчедана. Имеются в работе котлы с поверхностью нагрева 90—300 м². Напряжение 1 м² поверхности нагрева котлов 10—12 кг/м². Давление пара 13—14 ат. Температура газов при поступлении в котел 1000—1500°, в зависимости от концентрации SO₂, и на выходе из котла 260—270°. При сжигании 1 кг серы получается 2—2,2 кг пара.

Вращающиеся механические печи для сжигания серы применяются двух типов. В первом типе, описанном выше (стр. 176), сера поступает в печь в расплавленном виде; во втором типе печи сера в твердом виде подается шнеком из бункера в один конец печи, где она расплавляется и сгорает. Дожигание серы происходит в камере, примыкающей к печи с другого конца, в эту камеру вводят и добавочный воздух.

Дожигательная камера представляет собой железный футерованный внутри цилиндр, установленный вертикально. Внутри камеры имеется перегородка, не доходящая несколько до верха. Газ поступает вниз камеры, огибает перегородку и выходит внизу во второй половине камеры.

Стационарная печь с насадкой представляет собой клепанный футерованный внутри цилиндр. В цилиндре на расстоянии 2/3 от дна имеется арка, на которой установлена пирамида из огнеупорного кирпича. Такая же пирамида устроена и на дне печи.

Расплавленная сера подается насосом на верх печи и стекает

по трубе на верхнюю пирамиду. Образующиеся газы и негоревшая сера проходят через отверстия в верхней арке в нижнюю часть печи, где и происходит дожигание серы. Воздух для горения поступает сбоку в верхнюю часть печи. Содержание в газах SO_2 — 8—9%. Температура газов 1000° . Газы выходят из печи в нижней ее части и поступают в паровой котел. В печи объемом 90 м^3 сгорает 950 кг серы в час. Напряжение печи равно $30\,740 \text{ ккал/м}^3$, что более чем в три раза меньше топок, в которых сера сжигается в распыленном состоянии.

V. ПЕЧИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГАЗООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ

Газоочистительную массу обычно смешивают с серным колчеданом и полученную смесь сжигают в механических печах. При сжигании газоочистительной массы без добавления колчедана она быстро сгорает на первых трех этажах и остальные этажи печи излишни. На заводах, где газоочистительная масса является основным сырьем, применяют печи для ее сжигания, несколько отличающиеся от обычной конструкции механических колчеданных печей.

На рис. 69 представлена печь для сжигания газоочистительной массы. Газоочистительная масса загружается в воронку, установленную на верхнем своде печи. Сбоку воронки имеется шток, который при движении вправо открывает нижнюю крышку воронки, а при движении влево закрывает ее. Таким образом масса поступает в печь периодически. Нахождение массы на верхнем своде, как это бывает в обычных печах, недопустимо, так как она может загореться от нагревания обжигаемыми газами даже через свод печи. Поступающая в первый этаж масса не передвигается от периферии к центру, как при колчедане, а удерживается зубьями гребков у периферии и время от времени перегребается теми же зубьями во второй этаж через каналы, расположенные у периферии печи (на рис. 69 они показаны с левой стороны). По этой причине гребки первого этажа имеют зубья не по всей своей длине. Движение массы и воздуха по второму и третьему этажам не отличается от движения колчедана в обычных колчеданных печах.

Воздух для охлаждения вала поступает вниз во внешний его цилиндр и через отверстия, имеющиеся во внутреннем цилиндре, поступает в последний. Из внутреннего цилиндра вала воздух поступает в верхнюю половину гребка и, обогнув горизонтальную перегородку, направляется во внешний цилиндр вала. Часть нагретого воздуха через отверстия в вале (между вторым и третьим этажами) поступает в печь в количестве, необходимом для сжигания массы. Остальная часть воздуха по кольцевому пространству между цилиндрами вала поднимается вверх и отводится трубой (на рисунке не показанной) в атмосферу.

Обжиговые газы отводятся из печи с первого этажа в газопровод, установленный на верхнем своде печи. Отключение каждой печи

от общего газохода производится опусканием клапана. Такой клапан значительно удобнее шиберов, обычно применяемых в механи-

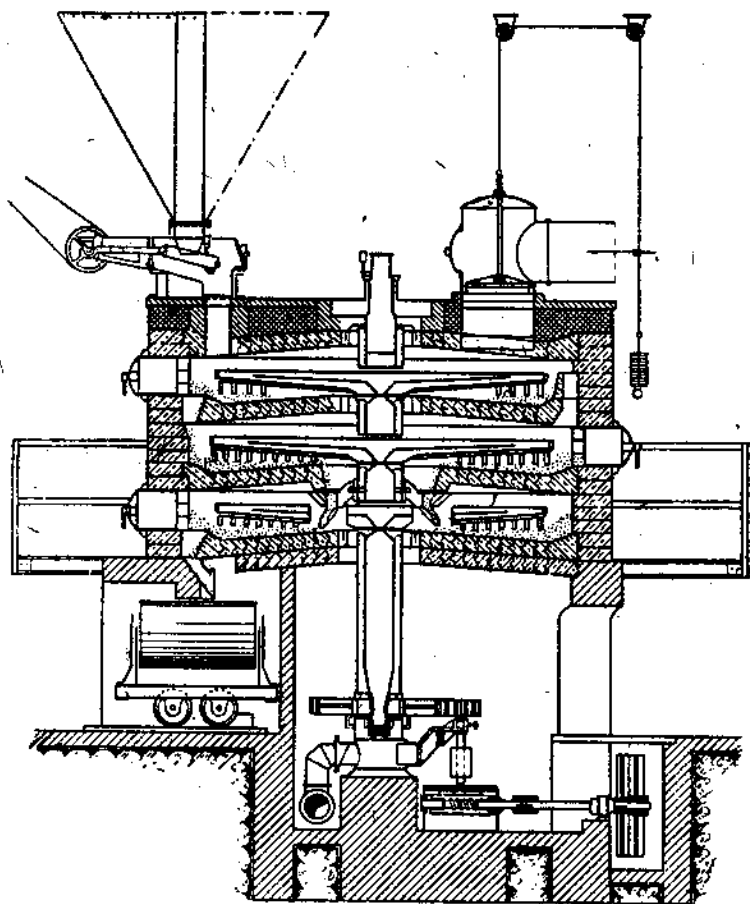


Рис. 60. Печь для сжигания газоочистительной массы.

ческих печах, и его следует рекомендовать для установки во всех печах при сжигании колчедана.

VI. АППАРАТЫ ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ГУДРОНОВ

Применяемая в нефтяной промышленности серная кислота для очистки нефтепродуктов целиком уходит в отброс в составе так называемого кислого гудрона, представляющего собой «бич» всех нефтеперегонных заводов, особенно расположенных в крупных центрах (Баку, Грозный, Москва и т. д.). Не владея способом его утилизации, нефтеперегонные заводы вынуждены создавать у себя на территории большие пруды для хранения кислых гудронов,

транспортировать же их за пределы завода не представляется возможным, так как они весьма быстро твердеют на воздухе.

При длительном хранении гудроны раскисляются и из них выделяется сернистый газ, отравляющий атмосферу. Частично серная кислота проникает в почву и, окисляя ее, разрушает фундаменты зданий и другие подземные коммуникации и, наконец, отравляет грунтовые водные водоемы со всеми вытекающими отсюда последствиями. Количество ежегодно получаемых свежих кислых гудронов на крупных заводах СССР определяется 600—700 тыс. т.

Существующие методы утилизации кислых гудронов путем выщелачивания их паром или горячей водой не разрешают этого вопроса, так как получаемую при этом «черную» серную кислоту трудно концентрировать. Помимо этого при выщелачивании с целью лучшего отстаивания кислоту необходимо разбавлять до крепости 25—30%, что значительно уменьшает производительность концентрационных аппаратов и увеличивает расходные коэффициенты.

Ни в коей мере, с точки зрения возмещения затраченной кислоты, не может быть принят способ утилизации гудронов их сжиганием, с целью получения лишь одного тепла. Разрешение вопроса регенерации серной кислоты из гудронов в настоящее время идет по пути разложения гудронов, при этом получаются газы, содержащие сернистый газ и коксик. Газы после очистки перерабатываются в серную кислоту, а коксик применяется как топливо.

На одном из заводов США разложение кислых гудронов производится во вращающейся горизонтальной печи, футерованной внутри огнеупорно-кислотоупорным материалом. Длина печи 12 м, диаметр 2 м. Печь снабжена тонкой для нефти. В этой печи происходит разложение гудронов на газ и коксик. Состав газа: SO_2 — 18—20%; CO_2 — 8—15%; O_2 — 1,5, остальное — азот и углеводороды. В дальнейшем газ подвергается в целом ряде аппаратов очистке и после этого переработке в контактной системе в олеум. Получаемый в печи коксик утилизируется как топливо.

Разлагать кислые гудроны можно также и при посредстве твердого теплоносителя, как это делается на одном из американских заводов. По этому методу гудроны подаются паровым насосом в разлагатель (декомпосер). Декомпосер представляет собой вращающуюся футерованную печь. В этой печи гудрон смешивается с раскаленным материалом (кокс, кварцевый песок и т. д.), в результате чего гудрон распадается на кокс и газ, содержащий 60—80% SO_2 (в пересчете на сухой газ), водяные пары, CO_2 , углеводороды и взвешенные частицы масла и кокса. Этот газ после очистки перерабатывается в серную кислоту.

Кокс, образовавшийся в декомпосере при разложении гудрона, вместе с носителем тепла через специальный затвор подается ленточным конвейером и элеватором во вращающуюся печь. В этой печи теплоноситель за счет сжигания кокса нагревается до температуры 800—850° и вновь поступает в декомпосер для разложения гудрона. Таким образом теплоноситель работает в замкнутом

цикле и применяется для передачи тепла, необходимого при разложении гудрона. Газы, получаемые в печи при нагревании теплоносителя, отводятся в дымовую трубу.

Гудроны обычно содержат достаточное количество углеводородов для образования кокса, необходимого для процесса их разложения, и поэтому в качестве теплоносителя применяют кокс, удаляя его избыток для других целей. Если же в гудронах недостаточно углеводородов для образования нужного количества кокса, то в качестве теплоносителя печи применяют другой материал (например песок), нагревая его сжиганием кокса с добавлением другого топлива.

Газы, получаемые при разложении гудронов в декомпозиере, в дальнейшем в целом ряде аппаратов освобождаются от паров воды и других примесей и после очистки и разбавления поступают в контактную систему для переработки в олеум.

В описанных методах разложения гудронов при переработке сернистого газа контактным способом выход кислоты от содержания ее в гудронах равен $0,9 \cdot 0,95 \cdot 100 = 85-86\%$, где 0,9 — выход SO_2 после разложения и очистки газов; 0,95 — процент контактирования в контактной системе.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

УТИЛИЗАЦИЯ ОГАРКА КОЛЧЕДАНЫХ ПЕЧЕЙ

Огарок после обжига в печах для получения SO_2 состоит главным образом из Fe, O, SiO_2 ; в нем также находятся Cu, Zn, S, As, Al_2O_3 , CaO, MgO и др.

По данным металлургического сектора Гинцветмета¹ огарок, взятый со свалки Дорогомилковского завода, имел следующий химический состав:

Cu	1,43%	S	1,90%
Zn	0,71%	Fe	55,00%
SiO_2	7,51%	Ag	6,2 g/m
Al_2O_3	1,62%	O ₂	26,54%
CaO	1,50%	Pb; Mo; Sb;	отсутствуют
MgO	1,87%	V; Sn; Bi и Cd	
H ₂ O	2,34%	Ni; Mn и Co	следы

При наблюдении под лупой и детальном микроскопическом исследовании обнаружены кристаллы медного купороса и минералы: кварц, слюда, халькопирит, пирит, сфалерит, халькозин, гематит, магнетит и цинковая обманка. Преобладающим минералом является гематит (Fe_2O_3). магнетит (Fe_3O_4) присутствует в мень-

¹ „Журнал химической промышленности“ № 8, 1935.

шем количестве. Пирит (FeS_2) встречается в виде отдельных зерен в соединении с магнетитом и халькопиритом. Халькопирит (CuFeS_2) присутствует в виде отдельных зерен и в соединении с пиритом.

Гинцветмет приводит следующий рациональный анализ этого огарка для меди, железа и цинка.

Составные части	Процент к руде	Процент от всей меди
CuSO_4	0,840	57,53
CuO и $\text{CuSO}_4 \cdot \text{CuO}$. . .	0,253	17,32
Cu_2S и CuS	0,071	4,83
CuFeS_2	0,230	15,75
$\text{Cu}(\text{FeO}_2)_2$	0,066	4,57
	1,460	100

Железо в виде	Процент к руде	Процент от всего железа
Сульфатов	0,035	0,06
Сульфидов	0,360	0,6
Окиси	54,600	99,34
	54,995	100

Цинк в виде	Процент к руде	Процент от всего цинка
ZnSO_4	0,31	44,4
ZnS	0,46	55,6
	0,77	100

Как видно из рационального и минералогического анализа, больше половины меди находится в воднорастворимой сульфатной форме, а 20% в виде сульфидов. Железо почти исключительно находится в огарке в виде окиси.

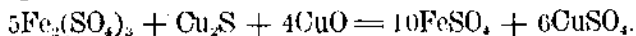
Количество огарка, которое должно было получиться в 1936 и 1937 гг. при сжигании колчеданов, не считая медеплавильных заводов, выражается в сумме 1200 и 1500 тыс. т. В этом огарке при содержании железа 55% и меди лишь 0,8% будет находиться железа 600 и 800 тыс. т и меди 10 и 12 тыс. т. Такое значительное содержание железа и меди говорит о важности утилизации огарка, выбрасываемого в настоящее время в отвал. При полном использовании огарка из него могут быть извлечены медь, цинк; оставшаяся масса, как содержащая почти исключительно железо, может быть с успехом перерабатываема на чугуны.

I. ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ

Как видно из приведенного выше анализа, медь в огарке находится в виде солей, окислов и сернистых соединений. Выщелачи-

вание соединений меди из огарка может быть произведено различными методами, отличающимися или характером растворителя или же способом подготовки руды к выщелачиванию.

Растворителями для выщелачивания меди служат водные растворы различных химических реактивов, которые могут быть нейтральными, кислотными и щелочными. Для непосредственного выщелачивания соединений меди из огарка наиболее часто применяется слабый раствор серной кислоты. В этом случае переход меди в раствор есть или простой процесс растворения медной соли в воде, или результат прямого действия серной кислоты на соединения меди (например на CuO и $\text{CuSO}_4 \cdot \text{CuO}$), или наконец результат реакций между соединениями меди с солями железа:



Процесс перехода меди в раствор кроме того сопровождается реакциями окисления кислородом воздуха соединений железа и меди и склонностью слабых растворов FeSO_4 и $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ давать основные соли.

Ввиду сложности процесса извлечения меди из медистых огарков с помощью серной кислоты предугадать заранее количественно, на основании одних теоретических соображений, извлекаемость меди из огарка представляет значительные трудности. Вся количественная сторона процесса как в отношении процента извлечения меди, так и в отношении расхода кислот устанавливается опытным путем.

В связи с изложенным приведем результаты некоторых лабораторных и заводских опытов, проведенных по извлечению меди из огарка при различных условиях.

Опыты, произведенные инж. И. Г. Михиным¹ в лабораторном и полужадовском масштабе в 1929 г. на заводе «Красный химик» в Ленинграде, дали следующие результаты. При выщелачивании с применением принципа противотока удалось извлечь до 90% меди с затратой кислоты не более 1,5 вес. ч. на 1 вес. ч. извлеченной меди.

Для выщелачивания брались огарок из механических печей Геррестгофа и «Геркулес», работавших на уральском колчедане. Кислота при выщелачивании на модели в лаборатории бралась 4%-ная, а при полужадовских опытах 3%-ная.

Выщелачивание велось при комнатной температуре с огарком в 108 кг на модели и в 10 т при полужадовских опытах. В результате этих опытов выяснилось, что повышенное содержание серы в огарке удлиняет процесс выщелачивания меди и повышает расход серной кислоты.

Расход серной кислоты при работах т. Михина в 7—8 раз меньше, чем при исследованиях Унихима (в 1923 г.); это объяс-

¹ Взято из технологической записки, составленной Ленинградским отделением Гипрохима к проекту утилизации колчеданных огарков в Константиновке.

няется тем, что в работах Михина кислота использовалась по принципу противотока, чего не было в исследованиях Унихима, и сам процесс выщелачивания продолжался значительно большее время. Скорость выщелачивания меди чрезвычайно сильно падает после извлечения 60—75% меди; такой процент извлечения меди достигается через 1,5—2 дня. Но с увеличением продолжительности времени выщелачивания процент извлечения меди доходит до 90 в результате окисления меди воздухом и действия серно-кислого железа на нерастворимые соединения меди.

Извлечение меди из огарков слабой серной кислотой эксплуатируется на некоторых заводах. Извлечение меди на заводе Куртис-Бай в США производится следующим образом: огарок из печи, находящейся во дворе завода, захватывается грейфером и подается в бетонные освинцованные ящики, где он обрабатывается слабой кислотой. Раствор циркулирует таким образом, что свежезагруженный огарок подвергается действию наиболее насыщенного раствора, т. е. работа ведется принципом противотока. Когда концентрация меди в растворе достигает 3—3,5%, этот раствор направляют в цементаторы, представляющие собой вращающиеся барабаны, и в них высаживают медь железным ломом. Полученная в барабанах медь промывается в сгустителях Дорра, отфильтровывается на фильтрах, прессуется и отправляется в медеплавильный цех. Выщелоченный огарок содержит меди не более 0,2%.

В России до войны 1914 г. извлечение меди из огарка производилось на Константиновском химическом заводе методом непосредственного выщелачивания слабой серной кислотой. Выщелачивание производилось в течение 12 дней в 14 ящиках; выщелоченный огарок содержал всего 0,15—0,2% меди, несмотря на большое содержание серы в огарке, так как он получался от печей Малетра. Цементация производилась железным ломом в освинцованных ящиках при продувании острого пара.

Приблизительно в это же время работал и завод «Красный химик» (бывш. Тентелевский), которому не удавалось извлекать медь до 0,15%, а только до 0,4—0,5% содержания ее в выщелоченном огарке. С лучшим эффектом работал завод в Риге. Огарок после выщелачивания содержал 0,2—0,3% Cu. Этот завод забросил имевшиеся у него печи для хлорирующего обжига и перешел на метод непосредственного выщелачивания. На всех этих заводах работа велась без всякой механизации и не было достаточной методичности при выщелачивании, что и явилось причиной прекращения работы.

Огарок при нормальном обжиге в механических печах содержит от 40 до 60% меди в соединениях, легко растворимых в воде, 15—25% в соединениях, растворимых в кислоте, и только 15—25% меди находится в виде сернистых соединений в почти нерастворимой форме. В печах пылевидного обжига растворимых соединений меди в воде должно быть меньше, так как в этих печах температура выше, чем в механических, вследствие чего происходит раз-

ложение сульфата меди (CuSO_4) и получается CuO , не растворимая в воде.

Как мы видели выше в опытах Михина, при увеличении серы в огарке необходимое время для выщелачивания меди значительно увеличивается. Для сокращения времени выщелачивания и для более полного растворения сернистых соединений меди огарок перед выщелачиванием на некоторых заводах подвергают сульфатирующему или хлорирующему обжигу. При таком обжиге нерастворимые соединения меди переходят в растворимые.

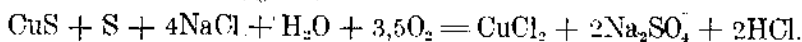
Сульфатирующий обжиг, при котором огарок, смоченный серной кислотой, прокаливается при температуре $550-650^\circ$, повышает растворимость соединений меди в слабой серной кислоте до $94-97\%$. При температуре обжига выше 650° растворимость падает; при 730° процент выщелачивания меди падает до 35, что объясняется тем, что при этой температуре происходит разложение сульфата меди.

В опытах А. Е. Маковецкого и К. Н. Шабалина сульфатирующий обжиг заключался в том, что огарок подвергался вторичному обжигу в присутствии SO_2 большой концентрации. Образующийся в присутствии катализатора (в данном случае огарка) SO_3 реагирует с CuO с образованием CuSO_4 . Лучшая сульфатизация меди в этих опытах происходила в пределах температур $600-650^\circ$, так как при этой температуре активность катализатора Fe_2O_3 наивысшая и кроме того при более высокой температуре происходит разложение CuSO_4 .

Хлорирующий обжиг огарка заключается в том, что измолотая смесь огарка с NaCl прокаливается в механической печи Ромеца, которая представляет почти полную аналогию механических печей для обжига колчедана.

Для поддержания в печи необходимой температуры на ее второй свод, считая снизу, поступает генераторный газ и воздух. Продукты горения генераторного газа поднимаются в печи навстречу передвигающейся по этажам смеси огарка с NaCl . Продукты горения, содержащие HCl , проходят первоначально пыльную камеру, а затем поступают в поглотительную башню, наполненную кольцами Рашига и орошаемую водой. В башне водой абсорбируется HCl и получается слабая соляная кислота $4-6^\circ \text{Bé}$. По выходе из башни газ через дымовую трубу выпускается в атмосферу. Получаемая при конденсации слабая соляная кислота применяется для процесса выщелачивания хлорной меди из огарка.

Химизм хлорирующего обжига огарка с NaCl до сих пор точно не установлен. Повидимому суммарная реакция, происходящая при этом обжиге, следующая:



При хлорирующем обжиге соотношение меди и серы в огарке должно быть близко к тому, какое требуется при суммарной реакции, поэтому, если огарок хорошо обожжен и в нем мало серы, то в шихту добавляют колчедан.

Огарок после обжига, как видно из суммарной реакции, содержит также и сульфат натрия. Прокаленный в печи огарок для выщелачивания меди поступает в деревянные осмоленные ящики с ложным дном или в бетонные чаны, покрытые защитным слоем кислотоупорного материала. В этих ящиках ведут процесс выщелачивания меди путем последовательной обработки огарка шестью растворами понижающейся крепости, т. е. по принципу противотока, как это делается в аппаратах Чанкса в ряде производств химической промышленности. Свежий огарок обрабатывается раствором, почти насыщенным медью. Последняя обработка огарка производится водой.

Раствор, содержащий после выщелачивания 3,5% меди, поступает в чаны (цементаторы) для выделения меди. После последней обработки подой огарок удаляется из аппаратов для выщелачивания и направляется на свалку или на агломерацию.

Медь в цементаторах выделяют металлическим железом в форме лома. Для ускорения процесса жидкость в цементаторе подогревают острым паром. Выделение меди на некоторых заводах производят не в чанах, а во вращающихся горизонтальных и наклонных барабанах. Как тот, так и другой барабаны делаются из 12—15-мм железа. Изнутри барабан покрывается тонким слоем бетона для сглаживания заклепочных швов, а затем обкладывается свинцом и футеруется кислотоупорной керамикой толщиной в 120 мм.

Работа обоих аппаратов периодическая и продолжается 3—5 час. После этого все содержимое спускается из барабанов в резервуары, из которых подается на фильтры (путь или вакуум-фильтры).

На рис. 70 представлен наклонно поставленный вращающийся барабан вместимостью 20—25 м³, напоминающий по форме своей конвертор Бессемера. После окончания цементации открывают пробку 1 и выливают содержимое в жолоб 2. Наполнение барабана производят через воронку 3, закрепленную на верхней площадке. Вместо железа для выделения меди применяют иногда сероводород.

Выделяющуюся на железе медь просеивают через сито, на котором остаются куски железа, а медь собирается под ситом. Отсеянную медь с целью удаления из нее железа обрабатывают серной кислотой при нагревании. После такой обработки получается цементная медь, содержащая 70—80% меди и 2—3% железа. Эта медь идет на медеплавильные заводы для переработки в штыковую медь или же на выработку медного купороса.

Мы считаем нецелесообразным применять хлорирующий обжиг для огарка с небольшим содержанием меди, так как сложность оборудования и производства не окупится тем незначительным увеличением процента извлечения меди, которое получится в результате хлорирующего обжига против обычного кислотного метода, если только последний правильно эксплуатируется. Огарок после обжига, как это видно из приведенной выше реакции, содержит сульфат натрия, который после выделения меди остается в

растворе. На некоторых заводах сульфат натрия выделяют из раствора вымораживанием.

Д. М. Чижиков и Ш. Ш. Марголин изучали действие хлора на огарок. После обработки огарка газообразным хлором полученный продукт обрабатывался горячей водой.

При этом было установлено:

1) при температуре 15° извлечение Cu и Zn близко к 100%, при этом извлекается наибольшее количество железа (8,5%);

2) при температуре 100° извлечение меди и цинка снижается до 93%, а при температуре хлорирования 200 и 300° извлечение меди падает до 91% и цинка до 88—89%;

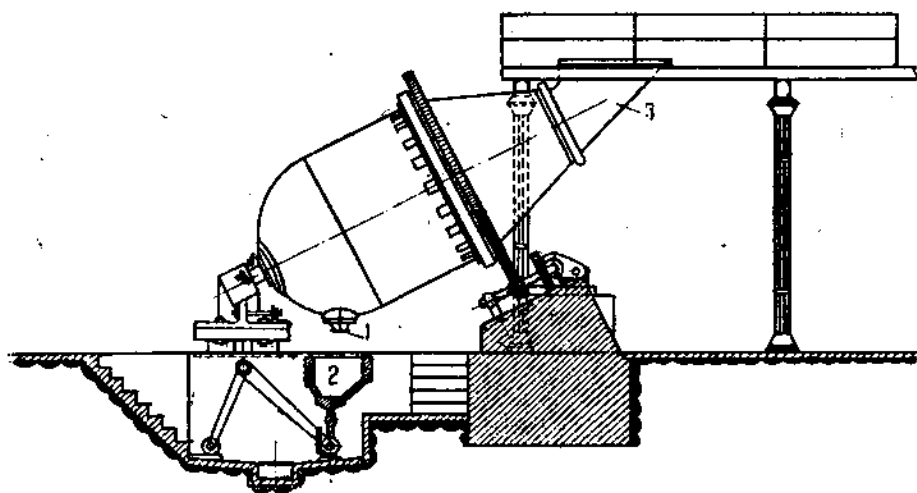


Рис. 70. Наклонный вращающийся барабан:

1 — пробка, 2 — желоб, 3 — воронка для заполнения.

3) продолжительность хлорирования в 4 и 2 часа дает один и тот же эффект. При меньшей продолжительности хлорирования процент извлечения меди и цинка падает;

4) хлорирование разбавленным до 50% хлором дает такой же эффект, что и хлорирование чистым хлором.

II. АГЛОМЕРАЦИЯ ОГАРКА

Огарок, получаемый при выходе из печей, не может идти непосредственно для переработки на чугун, так как он содержит обычно больше серы, чем это допускается для руд при доменной плавке. Кроме того физическое состояние огарка — его мелкость — делает невозможным его применение для доменной плавки, ибо мелкий огарок затрудняет тягу в домне. Поэтому колчеданный огарок, прежде чем пустить в доменную печь для плавки, подвергают процессу агломерации. При этом процессе огарок спекается

и получается в форме пористых твердых кусков; кроме того происходит выжигание серы из огарка.

Существует несколько способов агломерации мелких руд. Для агломерации огарка почти исключительно применяются ленточные и круглые аппараты Двайт-Ллойда.

Основной частью ленточной машины Двайт-Ллойда (рис. 71) является группа тележек 6, скрепленных конструкцией из ковкого железа в бесконечную цепь на зубчатых колесах 7 и 8. Колесо 7 приводится в движение системой зубчатых колес (показанных на

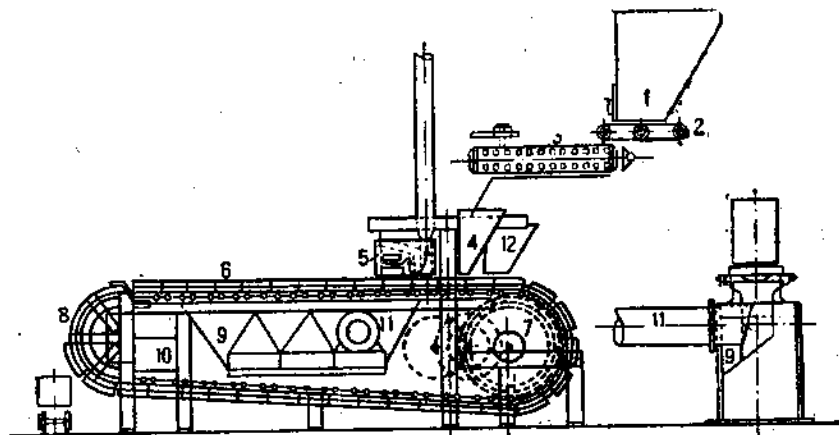


Рис. 71. Ленточный аппарат Двайт-Ллойда:

- 1 — бункер для шихты, 2 — питатель, 3 — смеситель, 4 — воронка для шихты,
6 — тележка, 7 и 8 — зубчатые колеса, 9 — камера, 10 — рама,
11 — труба к вентилятору, 12 — воронка для подстилки.

рисунке пунктиром), соединенных с мотором или с ременной передачей.

Подшипники зубчатых колес установлены в клепаной железной раме 10. Каждая тележка 6 состоит из рамы с четырьмя колесами, которыми она движется по верхнему пути. Тележки вместо дна имеют колосниковую решетку с прозорами шириной 10 мм; с двух сторон, параллельных движению, тележка имеет стены; лобовые же стенки отсутствуют.

Тележки непрерывно движутся, так что вся цепь тележек представляет бесконечную колосниковую решетку. Огарок в смеси с коксом, а иногда и в смеси с колчеданом с общим содержанием в шихте 8—15% S подается из бункера 1 питателем 2 в смесительный аппарат 3, где составные материалы шихты тщательно смешиваются и увлажняются. Затем шихта поступает через воронку 4 в тележки 6. Из воронки 12 в тележки под шихту насыпается подстилка. Дело в том, что спекаемая смесь обычно сильно измельчена и она могла бы просыпаться через зазоры между колосниками. В качестве подстилки применяют готовый агломерат с размерами кусков 6—20 мм. Подстилка задерживает мелочь шихты и благодаря этому достигается более равномерное просасы-

вание воздуха через обжигаемый материал. Кроме того при наличии подстилки готовый агломерат легко выпадает из тележек.

При движении тележек они проходят над камерой 9, из которой вентилятором по трубе 11 отсасываются продукты горения и воздух. В том случае если обжиговые газы содержат SO_2 , который перерабатывается в серную кислоту, камеру 9 разделяют на несколько отделений; из отделений, расположенных ближе к воронке 4, газы отводятся в сернокислотную установку, а из остальных в дымовую трубу.

Для зажигания в тележке шихты служит топка 5. Обычно шихта, предназначенная для спекания, содержит много серы, а также и кокс, поэтому ее надо только поджечь, а дальше она горит самостоятельно. Движение тележек устанавливается на такую скорость, чтобы ко времени подхода к концу камеры шихта спекалась в куски и легко вываливалась в вагонетку. Тележки движутся со скоростью 0,25—0,5 м в 1 мин. При большей скорости производительность аппарата увеличивается, но зато выжигается меньше серы. Лучше всего зажигать шихту при помощи небольшой нефтяной топки. Топка имеет стенки и свод, но не имеет пода. Подом топке служит насыпанная в тележках шихта, через которую просасывается воздух и горячие газы от горения нефти. Хорошо также работают топки и на пылевидном топливе.

Спекаемая шихта укладывается на решетках тележек слоем 75—125 мм. Для того чтобы прососать через шихту необходимое количество воздуха, следует в камере 9 иметь разрежение 100—125 мм вод. ст.

При спекании получается в виде мелочи 20—30% агломерата, от веса шихты. Мелочь частично используется для подстилки, частично возвращается в смесь, идущую на агломерацию.

Ленточный аппарат Двайт-Ллойд шириной 1,07 м и длиной 6,7 м дает производительность около 100 т спекаемых материалов в сутки. Для движения такой машины требуется 8—10 л. с. и для высасывающего вентилятора 50—75 л. с.

Круглый аппарат Двайт-Ллойд (рис. 72) представляет собой горизонтально расположенную кольцевую камеру 1, верхняя часть которой состоит из колосников 2, расположенных по радиусу камеры. Кольцевая камера разделена вертикальными перегородками 3 на отдельные коробки. От каждой коробки к центральному коллектору 5 идут патрубки 4, по которым отсасываются газы, образующиеся при обжиге шихты. Кольцевая камера вместе с коллектором вращается вокруг своего центра по рельсам 12 на роликах 11. Коллектор 5 покоится также на роликах; он опущен своим бортом в гидравлический затвор. В коллекторе имеются две трубы, из которых по одной отсасывается газ с высоким содержанием SO_2 , по другой — с низким.

Загрузка и разжигание шихты происходят как и у ленточных аппаратов. Выгреб агломерата происходит с помощью плугообразной чугунной пластинки, прикрепленной недалеко от загрузочной воронки. Скорость вращения — 1 оборот в $\frac{3}{4}$ —1½ часа. Произ-

водительность одного аппарата в 8 м в диаметре равняется 60—120 т агломерата в сутки.

Для спекания руды и огарка применяют иногда периодические аппараты Гриневальда. Аппарат представляет невысокий четырехугольный ящик размером 3 × 7 м. На некотором расстоянии от дна ящика находятся колосники, на которые насыпается

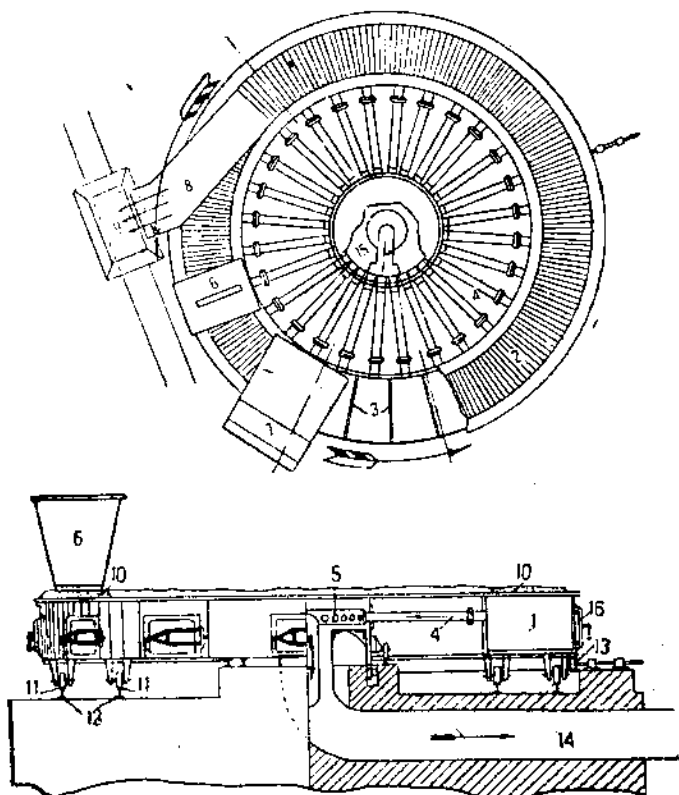


Рис. 72. Круглый аппарат Двайт-Ллойда:

1 — кольцевая камера, 2 — колосники, 3 — перегородки, 4 — патрубки, 5 — центральный коллектор, 6 — бункер для шихты, 7 — толка, 8 — разгрузочное приспособление, 9 — вагонетка, 10 — олов руды, 11 — ролики, 12 — рельсы, 13 — шестерня, 14 — отсос богатого SO_2 газа, 15 — отсос бедного газа, 16 — дверки для чистки.

подстилка и на нее шихта. Ящик вращается на двух полых цапфах, которые находятся несколько ниже колосников и через которые отсасываются вентилятором обжиговые газы. После спекания руды ящик поворачивается на цапфах на 180° и агломерат высыпается в бункер, расположенный под ящиком.

Кроме аппаратов Двайт-Ллойда и Гриневальда спекание огарка можно производить и во вращающихся печах. Для этой цели установлена в Донбассе на Константиновском металлургическом заводе печь Полизуа длиной 60 м. Сечение барабана расширяется

от места загрузки огарка, имея в свету ступенчатые диаметры 2,1; 2,7 и 3,15 м на отрезках длиной 32 и 14 м. Печь установлена наклонно под углом $2^{\circ}30'$ к горизонту и футерована изнутри огнеупорным кирпичом толщиной 250 мм. Толщина железа барабана 20 мм. Печь установлена на пяти опорах и приводится в движение от мотора мощностью 50 л. с. Барабан может делать один оборот в $1-1\frac{1}{2}$ мин.

Сжигание топлива происходит непосредственно в печи. Самая горячая зона находится на расстоянии примерно $\frac{1}{3}$ от конца печи, считая от подачи топлива. Для этой печи, производительностью 250 т агломерата в сутки с содержанием серы от 0,1 до 0,3%, расход топлива достигает 11,1% в пересчете на условное топливо. Температура в печи $1000-1200^{\circ}$. Выгружаемый агломерат имеет температуру 400° . Огарок движется в печи в противоток к продуктам сгорания коксового газа или нефти. Полученный агломерат идет на плавку в доменную печь, где добавляется в количестве от 45 до 60% от веса всей руды. Качество агломерата и другие показатели (расход топлива, большой процент мелочи, много пыли и др.) во многом уступают агломерату с аппаратов Двайт-Ллойда и Гриневальда.

В Доктуане в штате Тенесси США работа аппаратов Двайт-Ллойда сочетается с работой механических колчеданных печей. Перефлотированные хвосты обжигаются в механических печах Герресгоф-Никольса (описание печей см. выше стр. 151). Каждая печь сжигает 55 т пиритного концентрата (перефлотированных хвостов) с содержанием серы 45%, что дает при общей площади рабочих сводов 246 м^2 по 224 кг колчедана в сутки на 1 м^2 .

Такая высокая производительность американских печей объясняется тем, что в колчедане не выжигают всю серу, а оставляют в нем 7—8% серы. Полученный огарок подвергается переработке на аппаратах Двайт-Ллойда.

На спекание идет смесь, состоящая из 20% пиритного концентрата (перефлотированных хвостов), 75% печного огарка и 5% мелкого агломерата. Количество влаги в исходной шихте 7—8%. Дозировка смеси производится с помощью тарельчатого питателя, помещенного под бункерами, содержащими указанные три составные части. Поданные на резиновые транспортеры составные части поступают в смесительную увлажнительную установку и из нее в воронку, находящуюся над аппаратом Двайт-Ллойда. Получаемый агломерат содержит всего лишь 0,02—0,03% серы и перерабатывается на металлургических заводах в чугун.

Поджигание шихты производится с помощью нефтяной горелки. Отсасываемый из-под ленты через пять воронок газ содержит от 0,5 до 8% SO_2 . Газ из второй и третьей воронок, считая от головы ленты, содержит в среднем 7% SO_2 и перерабатывается в серную кислоту в камерной системе. Газ с первой, четвертой и пятой воронок, содержащий 4,2 и 0,5% SO_2 , не используется, а выбрасывается вентилятором в атмосферу.

Сочетая работу механических печей с двайтами, можно значи-

тельно повысить производительность печей. Для этого следует сжигать колчедан в механических печах, оставляя в нем 15% серы. Такой огарок по сере соответствует шихте, даваемой в Доктуане на двайт-ллойде.

При сжигании колчедана до 15%-ного содержания в нем серы производительность 10-тонной печи должна повыситься до 23,3 т, так как нам известно, что при прохождении колчеданом трех слоев из семи в нем остается всего лишь 15% серы:

$$10 \cdot \frac{7}{3} = 23,3 \text{ т.}$$

Сжигая 23,3 т колчедана в печи до содержания в нем 15% серы и поджигая колчедан в двайте, можно получить в обоих аппаратах (печь и двайт)

$$\frac{23,3 \cdot 45}{100} \cdot \frac{64}{32} = 20,8 \text{ т SO}_2.$$

При обычном сжигании колчедана в 10-тонной печи и оставлении в огарке 1% серы для получения шихты с содержанием серы в 15% для двайта следует к полученному огарку добавить 3,36 т свежего колчедана. В этом случае в сутки получается с обоих аппаратов (печь и двайт)

$$\frac{13,36 \cdot 45}{100} \cdot \frac{64}{32} = 12 \text{ т SO}_2.$$

Установив шесть 10-тонных печей, мы можем сжигать в них $23,3 \cdot 6 = 139,8$ т колчедана, оставляя в нем 15% S, и полученный огарок дожигать в одном двайте, получая с него ~ 100 т агломерата. Как видно из этого расчета, вместо одного двайта для дожигания 139,8 т колчедана нам пришлось бы к шести 10-тонным печам установить дополнительно восемь печей, чтобы сжечь то же количество колчедана, т. е. 139,8 т.

Низкая концентрация SO_2 , получаемая в отдельных воронках двайта, может быть исправлена или путем получения богатого газа в механических печах (что при оставлении в огарке 15% серы не представляет затруднений) и разбавлением этого газа — газами с двайта, или же газы двайта в смеси с воздухом направлять в механические печи для сжигания колчедана.

Возможность получения газа с 7% SO_2 при сочетании работы двайта и механических печей с полным использованием газа с двайта видна из следующего расчета.

Для сжигания 45%-ного колчедана и получения 7%-ного газа на 1 кг колчедана необходимо следующее количество воздуха [уравнение (14), стр. 40]:

$$V_{\text{воздух}} = \left(\frac{0,7}{7} + 0,00262 \right) 45 = 4,6 \text{ м}^3.$$

Расход воздуха в двайте составляет на 1 кг серы в шихте 30 м³. Из 1 кг 45%-ного колчедана при выгорании серы до 15% получается огарка [уравнение (16), стр. 44]:

$$\frac{160 - 45}{160 - 15} = 0,79 \text{ кг.}$$

В этом огарке содержится серы

$$\frac{0,79 \cdot 15}{100} = 0,118 \text{ кг}$$

и в двайте на эту серу будет израсходовано воздуха

$$0,118 \cdot 30 = 3,54 \text{ м}^3.$$

Если весь газ из двайта направить в механические печи, то при желании получить в них газ с содержанием 7% SO₂ в печи на каждый килограмм колчедана необходимо еще ввести воздуха

$$4,6 - 3,54 = 1,06 \text{ м}^3.$$

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ПУСК И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ СЖИГАНИЯ КОЛЧЕДАНА

I. ПУСК СМОНТИРОВАННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

В печах, вновь смонтированных или вышедших из капитального ремонта с перекладкой сводов, прежде всего проверяют состояние передаточных механизмов, производят постепенную сушку и после этого пускают печи на колчедане.

Выбирают стойки и опалубку, на которых производилась кладка сводов, вставляют гребки и навешивают соответствующие номера зубьев. После этого производят испытание на холостом ходу, т. е. без загрузки колчедана, всех механизмов и вентиляторов в течение 24 час. Проверяют число оборотов вала. Внимательно наблюдают за всеми могущими быть неполадками в механизмах и исправляют их. Проверяют расстояние зубьев до сводов, которое должно быть от 30 до 40 мм.

Приведя механизмы в полный порядок, присоединяют трубы, служащие для отвода топочных газов в атмосферу. Трубы устанавливаются на каждой печи или делается общая труба на сборном газоходе. В том и другом случае газоход, идущий к коттрелям, шиберами или кирпичной стенкой отъединяют от печей, для того чтобы смолистые продукты горения дров не осаждались в электрофильтрах. При очистке электродов от смолы приходится их разбирать, очищать, что отнимает много времени.

Если в печах имеются пересыпные отверстия, расположенные против дверок, то их следует закрыть листовым железом, чтобы при растопке дровами они не засорялись.

В верхнем первом этаже растапливают огонь. Первоначально просушка ведется легким огнем и продолжается в первом этаже в течение суток. После этого переходят во второй этаж, не пере-

ставая топить и в первом этаже. Через 30—35 час. огонь переводят в нижележащий этаж и так до нижнего свода. При сушке нижних этажей следует наблюдать за тем, чтобы в верхних этажах не накапливалась влага, что узнается по стеканию жидкости при открытии дверок второго этажа. При обнаружении этого явления огонь переносят снова в третий этаж, а топка внизу прекращается и возобновляется только по удалении влаги в верхних этажах.

После предварительной просушки, обычно продолжающейся 8—10 дней, для полного удаления влаги в нижнем этаже начинают топить примерно в течение суток более интенсивно, но отнюдь не доводя накал до красного каления; после этого огонь переводят на следующий вышележащий свод и эта операция проводится постепенно до предпоследнего рабочего свода. Во время просушки печей искусственное охлаждение валов и гребков не производится.

Таким образом предварительная, а также интенсивная сушка продолжается 14—20 дней в зависимости от размеров печи, времени их футеровки и качества самой кладки.

После окончания так называемой интенсивной сушки из печи удаляют остатки топлива, и печь снова подвергают проверке: осматривают своды, гребки, положение зубьев, проверяют питатель и т. д. По окончании осмотра, при исправном состоянии механизмов и футеровки, печи проверяются сначала вручную, а затем уже от мотора. Проверив печи таким образом 3—4 часа, приступают к заполнению верхних пяти сводов огарком или кварцем или же крупным песком. Это заполнение производят через питательный механизм. Для заполнения необходим сухой материал. Эта операция продолжается обыкновенно 20—28 час., после чего приступают к «раскалке» печей.

Раскалку начинают на втором и четвертом верхних сводах и первые сутки огонь на этих сводах держат не особенно интенсивный. Вентиляторы для охлаждения валов и гребков включают через 12—15 час. после начала раскалки. На вторые сутки огонь переводят на нижние своды (пятый—седьмой) и он поддерживается с той же интенсивностью; на третьи сутки огонь на этих сводах усиливают, а на четвертые снова переводят на второй и четвертый своды, которые постепенно доводятся уже до красного каления на пятые сутки. При раскалке топливо следует распределять равномерно по всему своду, избегая прилегания дров к гребкам. Как для просушки, так и для раскалки нужно брать сухие колотые дрова без металлических в них примесей.

На третьи сутки после начала раскалки печей на сушильный (верхний) под вручную насыпается колчедан, причем питатель (печи «Г», Гумбольдта) сверху накрывается кирпичом, и колчедан распределяется только по керамической поверхности. В печах Брак-Моритца колчедан подсушивается на сушильной площадке.

После того как печь уже накалена, подачу дров прекращают, выбегают крупные куски и через 4—6 час., когда на сводах остается лишь мелкий уголь, вал печи проверяют вручную;

если при вращении обнаружится большое скопление угля у гребков, избыток его выгребается в рабочие дверки. Убедившись в свободном ходе гребков на сводах, печи включают от мотора и начинают задавать колчедан через питатель; дополнительно дается также сухой колчедан вручную и через дверки.

Перед загрузкой колчедана в печь нужно осмотреть питатель и очистить его от могущего попасть туда кирпича и щебня, а у печи Брак-Моритца надо проверить положение ролика на валу с кулиссе, так как в этих печах при удлинении нагретого вала ролик выходит из прежнего положения (поставленного при монтаже) и зацепления с кулиссой у него не получается. Необходимо также прочистить все отверстия для прохода газа и колчедана.

При хорошо разогретых печах нет надобности в добавке к колчедану другого горючего: серы, угля и т. д. К этому нужно прибегать только после охлаждения печи по каким-либо другим причинам. Первое время (2—3 часа) газ из печей выпускают в дымовую трубу и переводят в систему только после выгорания топлива. Первый период пуска завода производят примерно на $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ всей мощности печей, в соответствии с чем в строгой последовательности и раскаливаются печи.

При этом перед пуском нужно предусматривать все нужные переключения в газоходах и сообщения с атмосферой. Вторую треть печей разогревают через сутки, остальные через двое суток.

При пуске печей нужно избегать засасывания воздуха через питатель, проверять герметичность газоходов и держать тягу при соблюдении указанных условий так, чтобы на верхнем своде наблюдалось равновесие или разрежение в 0,5 мм вод. ст. Работу печей нужно считать установившейся тогда, когда температура на первом этаже достигает 550—600° и на втором этаже ~ 700°.

При обслуживании нескольких печей одним вентилятором нужно обеспечить одинаковое охлаждение валов и гребков. Это достигается регулированием шиберов на отводах от общего воздуховода в печь, наблюдением за накалом гребков и вала и температурой воздуха, выходящего из вала. Температуру воздуха надо считать нормальной в пределах 200—220°. Давление на входе в вал печи должно быть 150—300 мм вод. ст., в зависимости от конструкции печей.

Из печного отделения газ поступает по газоходу в пыльную камеру котттеля. Испытание этой камеры (получение так называемой короны) должно быть произведено до включения ее в работу. Эта камера работает нормально в пределах температуры газа 250—450°. При температуре ниже 250° пары серной кислоты конденсируются и происходит выключение камеры; при температуре же выше 450° деформируются металлические части камеры, что также ведет к выключению камеры и порче электродов.

Поэтому при пуске системы следует стремиться достигнуть возможно быстрее необходимой температуры газа при входе в котттель, т. е. 250°. Для этого еще до пуска системы включают вентилятор и путем измерения тяги тягомером или же путем вни-

мательного осмотра устраняют все подсосы воздуха как в газоходе от печей до коттреля, так и в самом коттреле. В том случае, если проектом предусматривается футеровка или изоляция газохода, эта работа должна быть произведена до пуска системы.

В первые дни пуска, пока электрофильтры еще не включены, не следует сжигать флотационный колчедан, который дает много пыли, а рекомендуется подмешивать в шихту от 20 до 30% углестого колчедана, что повышает температуру газа и следовательно ускоряет включение электрофильтров.

II. ПУСК И ОСТАНОВКА РАБОТАЮЩИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

В том случае если печи приходится пускать после длительной остановки, то пуск их производится, как это описано при пуске новых печей, но в этом случае предварительная и интенсивная сушка печей отпадает и процесс пуска начинается с момента раскалики. При этом необходимо убедиться в том, что печи не отсырели; если же это имело место, то их следует также просушить, но в меньшей мере, как это описано при новых печах.

При кратковременной остановке печей, если остановка не связана с необходимостью открывать двери и печи не отключаются от системы, останавливают мотор и прикрывают воздушники печи, оставляя щель в 1 или $1\frac{1}{2}$ см. При более продолжительной остановке, например когда приходится вынимать крепко приварившийся гребок, рекомендуется закрыть шибер у печи и отключить ее на воздух.

При продолжительной остановке одной или нескольких печей останавливают мотор, закрывают воздушники наглухо, соединяют печи с трубой, отводящей газы на воздух, и отключают шибером или другим каким-либо путем (кирпичная стенка, заглушка) остановленные печи от системы. Воздушники, дверки, течи для огарка должны быть плотно закрыты и лучше даже замазаны глиной.

Через $1\frac{1}{2}$ —2 суток после остановки второй и третий своды должны еще слабо светиться. Если хотя один свод печи чуть светится, то можно быть уверенным, что печь при пуске разгорится. При темных сводах такой уверенности быть не может. Поэтому, чтобы не потушить все своды, печь время от времени проверяют в течение 25—30 мин., давая ей слегка разгореться. Подача воздуха, охлаждающего вал и гребки, прекращается после того, как своды остынут и будут чуть светиться.

При переключении на воздух одной или нескольких печей необходимо иметь в виду, что тяга воздушной трубы зависит от ее высоты; поэтому иногда при высокой трубе эта тяга бывает сильнее, чем тяга в систему, и тогда часть газов из работающих печей может через общий газрход засасываться в воздушную трубу и теряться. Для предотвращения этого, как выше было сказано, следует отключать остановленные печи от системы.

При пуске печей, прежде чем пускать мотор, необходимо провернуть печь от руки; убедившись, что гребки вращаются сво-

бодно, включают мотор и после этого открывают воздушники. При этом, если печь остыла и своды темные, то открывать воздушники следует не сразу, а по мере разогревания печи. Совсем темную почти потухшую печь можно поправить, забрасывая через дверцы на второй и третий своды раскаленный колчедан из других печей. Для более быстрого разогревания первоначально печь следует питать сухим колчеданом углистым или флотационным.

Каждый раз после пуска печи необходимо убедиться в том, что шибер, через который подается воздух для охлаждения вала и грибов, открыт.

При остановке печей на капитальный ремонт в течение $\frac{1}{2}$ суток дают половинную загрузку, а затем прекращают подачу колчедана совсем. Через 12 час. после этого очищают сушильный свод от остатков колчедана, ссыпая их в питатель. Если останавливают одну или несколько печей, то по мере потемнения сводов закрывают на них шиберы и выключают эти печи на воздух. При остановке всего печного отделения уменьшают тягу вентилятора, вместе с тем прикрывают и воздушники. Когда все своды станут темными, прекращают подачу охлаждающего воздуха. Воздушники и дверцы замазывают глиной; это делают для того, чтобы продлить время охлаждения печи. Когда огарок перестает сыпаться, останавливают мотор. После этого засыпают питатель сухим огарком и дают печи спокойно охладиться.

При продолжительной остановке печей следует хорошо замазать глиной все дверки, воздушники и течи для огарка и кроме этого следить за тем, чтобы на печь не попадали атмосферные осадки. При несоблюдении этого наблюдается окисление и разрушение не только металлических деталей, но и керамики печи. Все трущиеся металлические детали должны быть вычищены, смазаны и закрыты.

III. ПУСК И ОСТАНОВКА ПЕЧЕЙ ПЫЛЕВИДНОГО ОБЖИГА

До пуска печей прежде всего проверяют вхолостую работу всех механизмов: вентиляторов, подающих воздух, всех электромоторов, обслуживающих печи, манометров на воздухопроводах к форсункам и фурмам; проверяют работу и производят испытание на производительность шнековых питателей. Необходимо также проверить водоснабжение печей. Верхние коробки прямоугольных печей должны быть наполнены водой. Если цилиндрические печи имеют охлаждающие железные бункеры, то их необходимо также перед пуском наполнить водой.

В том случае если печи уже работали, то их подогрев дровами начинают за 3—4 часа до пуска системы. При разогреве новых печей, не бывших в работе, их предварительно высушивают в течение 3—4 дней. При разогреве печей закрывают шиберы, отключающие их от общего газохода, и открывают шиберы на выхлопной трубе.

Дав слабый ток воды в верхние коробки при прямоугольных

печах и в бункера при цилиндрических, сжигают дрова в бункерах печей. Для тока воздуха, необходимого для горения, реечные затворы в бункерах для огарка оставляют немного приоткрытыми.

При достижении в верху печей температуры 450—500° включают форсунки. При включении форсунок необходимо первоначально дать первичный воздух и после этого включить шиновый питатель. Когда колчедан начнет гореть, открывают шиберы на общем газоходе и закрывают выхлопные трубы.

После этого дают вторичный воздух, закрывают реечные затворы в бункерах и одновременно с этим начинают давать воздух в нижние фурмы.

В том случае если печи стояли непродолжительное время, для их разогрева и пуска требуется всего 1—2 часа, а при остановке печи на 5 час. удается пустить их без предварительного разогрева.

IV. ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

1. Сжигание колчедана

При работе печей следует помнить, что от их работы в сильной степени зависит технологический процесс всей сернокислотной системы. Для того чтобы система работала хорошо, она должна бесперебойно получать газ постоянной и достаточно высокой концентрации.

Показатели хорошей работы механических печей следующие: наиболее полное выгорание серы, нормальная и постоянная концентрация газа, отсутствие выбивания газа в атмосферу печного отделения, минимальное количество поломок и возможно долгий срок работы печей без ремонта.

Нормальный режим работы механической печи (Гумбольдта, Лурги, «Г» и др.) характеризуется следующими показателями:

Концентрация SO_2 в газе	7,5—9%
Процент серы в огарке	1—2%
Высшая температура в печи	750—800°
Температура огарка	140—200°
Температура воздуха из вала	180—275°

Горение колчедана по сводам при нормальной работе печи представляется в следующем виде. В первом своде пламя фиолетового оттенка, не высокое, стекающее; колчедан в массе темнокрасный. На втором своде колчедан желто-красный (оранжевый), раскаленный; длинные толстые языки пламени с фиолетовым оттенком; темного налета на поверхности колчедана нет; все пространство свода кажется мутным. На третьем своде яркокрасный раскаленный колчедан по всему своду; пламени нет. На четвертом своде яркожелтый накал слабее, чем на третьем своде. На пятом своде красный колчедан с легким темным налетом на поверхности. На шестом своде темнокрасный колчедан с черной каемкой на по-

верхности; ясно видны темные дорожки, проложенные зубьями гребков. На седьмом своде совершенно темный огарок во всей своей массе. Только при повышенной нагрузке печи около вала могут быть видны 5—6 кругов красного огарка, ссыпающегося с шестого свода.

Фиолетовое пламя — признак горения серы в газовой фазе; отсюда следует, что отгонка и сгорание первого атома серы в колчедане заканчивается полностью на первых трех рабочих сводах. При ненормальном режиме картина печи меняется: чаще всего бывает перегруз печи — в таком случае на седьмом своде находится раскаленный огарок, который ссыпается в вагонетку, выделяя сернистый газ. В таком случае процент серы в огарке значительно повышается. Такая работа печи допустима лишь при повышенной нагрузке печей. Иногда первый свод бывает совершенно темным, а фиолетовое пламя появляется на третьем и на четвертом сводах (печь пошла низом); причина этого — или очень сильный перегруз, может быть временный, за несколько часов до этого, или очень влажный колчедан, например мокрые флотационные хвосты.

Печь может гореть низом также и при недостаточной тяге. Иногда, наоборот, печь идет верхом и первый свод имеет яркое горение, а шестой и седьмой совершенно темные, что бывает или при сильной тяге и малой нагрузке печи или же в том случае, когда печь работает с легко загорающимся колчеданом, например на сухой сыпучке, углистом колчедане, газоочистительной массе и т. д. Потери поступающей с колчеданом серы происходит не

Таблица 22

Этажи	Температура в °C	Процент серы в ма- териале	Процент выгоревшей серы от всей посту- павшей в печь серы
I	651	39,92	19,63
II	678	32,15	20,43
III	671	27,28	11,61
IV	598	18,55	18,72
V	513	9,22	17,65
VI	371	3,49	9,80
VII	298	2,58	1,49
Огарок	312	2,18	—

только с огарком: часть серы возгоняется в атмосферу на сушиль-ном своде, часть теряется в виде сернистого газа через дверки и питатель печи и наконец часть уносится с пылью. Процент серы в пыли, уносимой газами, всегда выше, чем процент серы в огарке, что объясняется тем, что пыль попадает в газы со всех сводов печи, тогда как огарок отбирается только с последнего свода.

Баланс серы, составленный автором на основании работы печи Гумбольдта в течение суток, представляется в следующем виде:

Потеря серы с огарком	103,7	кг	2,30%
Потеря серы с пылью	9,2	"	0,20%
Потери серы на сушильном своде	67,05	"	1,50%
Ушло серы с газом	4329,63	"	96%

Итого 4510 кг 100%

Общая потеря серы, не считая потери, происходящей от выделения SO_2 из печей в атмосферу, составляет таким образом 4% от всей поступающей серы в печь.

Выгорание серы и температура газа по этажам характеризуются данными, приводимыми проф. Лукьяновым [табл. 22 для печи Гумбольдта (колчедан 46,55%-ный) и табл. 23 для печи Герресгофа (колчедан 47,51%-ный)].

Таблица 23

Этажи	Температура в °C	Процент серы в материале	Процент выгоревшей серы от всей поступившей в печь серы
I	560	в поступающем на 1-й свод 47,81	30,8
II	655	" " " 2-й " 33,07	36,0-
III	480	" " " 3-й " 15,90	26,1
IV	375	" " " 4-й " 3,42	3,1
V	265	" " " 5-й " 1,94	1,0
		в огарке 1,44	

Температура по сводам семизетажной печи бывает примерно в следующих пределах:

Свод	Температура °C	Свод	Температура °C
1	500—600	5	350—450
2	600—650	6	250—300
3	650—700	7	200—250
4	450—550		

При сжигании в этой печи 14—15 т колчедана температура газа по этажам выше указанной на 50—60°.

Температура газов по этажам ниже температуры горящего материала. Тов. М а л и н ы м приводятся следующие данные о соотношении температуры газов и материала в семизетажной печи Гумбольдта:

Свод	Температура материала °C	Температура газов °C
1	700	657
2	710	648
3	760	655
4	735	640
5	690	518
6	585	368

Для нормальной работы механических печей должны быть соблюдены следующие условия:

- 1) подача воздуха в печь должна соответствовать ее нагрузке;
- 2) питание печи колчеданом должно быть равномерным, в соответствии с ее производительностью, причем колчедан должен быть достаточно сух и измельчен нормально, т. е. величина зерен не должна быть выше 8 мм;
- 3) вентилятор, протягивающий газ через систему, должен работать без перебоев и создавать необходимую тягу в печи;
- 4) газоходы должны своевременно очищаться от пыли;
- 5) в газоходах и дверках печей не должно быть подсосов воздуха;
- 6) вал, гребки, зубья и своды печей должны быть в исправном состоянии; гребки и вал должны хорошо охлаждаться воздухом;
- 7) все передаточные механизмы печи должны своевременно и хорошо смазываться;
- 8) своды печей должны своевременно очищаться от накали; каналы для воздуха в печах должны регулярно продуваться сжатым воздухом;
- 9) во избежание поломок вала и гребков предохранительные шпильки в соединительных муфтах должны быть установлены точно по проекту.

Подача воздуха в печь

От количества поступающего воздуха в печь главным образом зависит понижение и повышение концентрации SO_2 в печном газе. Если содержание SO_2 в газах низко, то следовательно воздуха в печь подается больше, чем требуется при данной нагрузке печи. Причиной чрезмерно большого поступления воздуха в печь могут быть: слишком большое сткрытие воздушников, подсосы воздуха через неплотности печи и большая производительность вентилятора, протягивающего газ через систему.

Если слабый газ дают все печи, то причина этого может лежать как в вентиляторе, так и самих печах. Если слабый газ дает одна или несколько печей, то причину надо искать в самих печах. Для нормальной работы всех печей тяга, создаваемая вентилятором, должна быть такой, чтобы на первом своде было разрежение в 0,5—0,75 мм вод. ст., а через питатель печи не должно выбивать газов.

Регулирование тяги производится вентилятором, установленным в системе. Для этой цели в газоходе вентилятора имеется специальная задвижка или дроссель-клапан. Дроссель-клапаном регулируют разрежение, выравнивая крепость газа, в зависимости от количества и качества колчедана, задаваемого в печи, от количества пыли, скопившейся в газоходах, или от других обстоятельств, влияющих на сопротивление в системе. Частая регулировка дроссель-клапаном не рекомендуется и чем реже это делается, тем лучше. В том случае когда часть печей дает нор-

мальный газ, а часть слабый, что обычно наблюдается по отдельным группам печей, имеющим общие газоходы, то это указывает на то, что газоходы печей, дающих нормальный газ, имеют большее сопротивление, чем те газоходы, в которые включены печи, дающие слабый газ.

Повышенное сопротивление получается вследствие засорения газоходов пылью или вследствие того, что эти газоходы имеют большую длину и большое число всевозможных поворотов. Для возобновления нормальной работы следует прочистить газоходы, а в том случае, если повышенное сопротивление газоходов является результатом их конструкции, регулировка тяги печей может быть достигнута установкой шиберов отдельных для каждой группы печей.

Для поддержания определенной и одинаковой концентрации газа количество воздуха, поступающего в каждую печь, должно соответствовать ее нагрузке. Обычно несколько печей присоединяется к одному общему газоходу. В этом случае ближайшие к системе печи находятся в лучших условиях в отношении тяги, поэтому лучше и горят. Для того чтобы все печи горели равномерно, между горловинами печей и сборным газоходом устанавливаются шиберы, которыми и регулируют разрежение в каждой печи. В правильно рассчитанной и смонтированной системе всегда имеется избыток тяги и шиберами пользуются для уменьшения тяги до требуемой каждой печью величины. Регулирование шиберами производится во время пуска печи и в дальнейшем этими шиберами пользуются очень редко, прибегая к ним при включении и отключении печи или же при резком изменении по тем или иным причинам сопротивления в газоходу.

Воздух поступает в печь через воздушники. Чем больше они открыты, тем больше воздуха поступает в печь. Воздушники, как правило, должны быть открыты как можно больше, но так, чтобы через питатель и дверки печи не выделялся газ. После того как разрежение в печах отрегулировано вентилятором и шиберами, дальнейшую регулировку каждой печи (в зависимости от ее нагрузки) ведут воздушниками, но иногда приходится регулировать воздушниками тягу и нескольких печей. Это бывает в том случае, когда одна или несколько печей идут низом и при большом открытии воздушников в этих печах через питатели начинают выделяться газы; остальные же печи горят хорошо или даже идут верхом.

Если горловины и газоходы, а также воздушники у печей, идущих низом, чистые, то это значит, что эти печи перегружены, и поэтому необходимо увеличить количество воздуха, поступающего в эти печи.

Отрегулировать все печи можно было бы путем поднятия шиберов у печей, идущих низом, при одновременном опускании шиберов у печей, идущих верхом. Но можно отрегулировать печи и воздушниками. Для этого следует у тех печей, которые идут вер-

хом, прикрыть воздушники. Этим самым мы уменьшим количество воздуха, поступающего в эти печи, и, открыв одновременно с этим воздушники у печей, идущих низом, увеличим количество поступающего воздуха в эти печи.

Такое регулирование воздушниками обыкновенно производится при временной перегрузке печей, так как если бы мы стали регулировать печи шиберами, то при возвращении печей к нормальной загрузке пришлось бы снова производить регулировку теми же шиберами.

Одновременно с регулированием печей воздушниками необходимо проверить и загрузку печей, идущих низом, но не убавлять ее ниже нормальной.

Закрытием воздушников необходимо пользоваться при остановке печи. В том случае если печь остановлена без выключения на воздух, воздушники прикрывают, оставляя в каждом из них щель в 1—1,5 см. При остановке печи с выключением на воздух воздушники нужно закрыть совершенно; если остановка продолжительная, свыше 12 час., то воздушники следует обмазать глиной.

Разрежение в печах должно быть отрегулировано таким образом, чтобы оно было в первом этаже 0,5—0,75 мм вод. ст., а на нижнем 3—5 мм вод. ст., в зависимости от высоты печи. Высокая концентрация газа означает, что воздуха в печь подается недостаточно сравнительно с нагрузкой печи. Если высокопроцентный газ дают все печи, то это получается по причине недостаточного разрежения, создаваемого вентилятором, или же засорения пылью общего газохода, собирающего газ со всех печей.

Иногда целая группа печей дает крепкий газ. Это бывает вследствие того, что общий газоход этих печей засорен пылью. Если крепкий газ дает одна печь, то у нее следует увеличить открытие воздушников или их число, а если это не поможет, то следует прочистить воздушники, горловину и коробку этой печи. Таким образом концентрация газа, получаемого в печах, зависит от целого ряда причин (см. таблицу на стр. 209).

Иногда можно наблюдать, что одна или несколько или даже все печи начинают выделять газ в рабочее помещение, что недопустимо, так как при этом происходит не только значительная потеря серы, но и отравляется воздух печного отделения и обслуживание верхних площадок печей становится весьма трудным и вредным для здоровья обслуживающего персонала. В этих условиях значительно быстрее изнашиваются детали печей и обслуживание печей становится невозможным. Если выделение газа наблюдается у всех печей, то причину этого нужно искать или в расстройстве работы газового вентилятора или в повышении сопротивления газоходов вследствие скопления в них пыли. Если газ выделяется из одной какой-нибудь печи, то это обычно бывает тогда, когда пыльная коробка или колено от нее у данной печи забито пылью.

Часто печи выделяют газы и потому, что воздушники открыты

Концентрация газа	Причины
Все печи дают слабый газ и работают верхом	Разрежение, создаваемое вентилятором, слишком велико
Печи работают нормально или даже низом при слабом газе	Имеются подсосы на газоходах от печей к системе
Группа печей дает слабый газ, остальные — нормальный или крепкий	Газоходы у печей, работающих нормально, засорены пылью
Одна или несколько печей дают слабый газ	Слишком открыты шиберы или воздушники или нагрузка этих печей мала
Все печи дают крепкий газ	Разрежение, создаваемое вентилятором, недостаточно или засорены пылью общие газоходы
Группа печей дает крепкий газ, а остальные нормальный	Засорены газоходы у печей, дающих крепкий газ
Крепкий газ дает одна печь	Забита горловина или коробка данной печи, засорены или закрыты воздушники, или нагрузка печи слишком велика

больше, чем следует. Если же воздушники открыты нормально, то причина выделения газа может лежать в том, что лопнул один из гребков и воздух, охлаждающий гребок, выбрасывается в печь. Поломка питателя и неправильная установка его бывает довольно часто причиной выделения газа из печи.

Перегруз печей обыкновенно сопровождается выделением газа: в этом случае и огарок выходит раскаленным. Если увеличить число оборотов вентилятора или открыть больше дроссель-кран, можно исправить работу печей при перегрузке. Если же этого сделать нельзя, то до смены вентилятора нужно немедленно уменьшить нагрузку печей, хотя бы это и было связано с уменьшением выработки.

Сера в огарке

Высокая концентрация SO_2 в газах, если она получается вследствие недостатка воздуха, обычно сопровождается повышенным содержанием серы в огарке. При недостаточной подаче воздуха в печь газы на нижних этажах быстро нагреваются и поступают на верхние с малым содержанием кислорода — в результате горения на верхних этажах ослабевает и переходит на нижние, огарок высвобождается раскаленным и содержащим много невыгоревшей серы.

При большом количестве подаваемого в печь воздуха огарок также часто содержит повышенный процент серы, так как с увеличением объема печных газов падает температура во всей печи и ослабляется интенсивность горения. В этом случае повышенное содержание серы в огарке сопровождается уменьшением концентрации SO_2 в газах. Перегрузка печей колчеданом и высокая влажность его приводят также к повышенному содержанию серы в огарке. В том и другом случае колчедан не успевает выгорать до нормального содержания серы в огарке. Перемещение горения в низ печи происходит вследствие недостаточного количества поступающего в печь воздуха, перегрузки печи колчеданом, высокой влажности колчедана и, как правило, сопровождается повышенным содержанием серы в огарке.

Причинами перемещения горения вверх может быть недогрузка печи, слишком большое количество поступающего воздуха, а также большое количество углистого и флотационного колчедана в шихте.

Если печь идет верхом, а огарок все же содержит много серы, то это служит признаком, что зазор между валом и сводовыми кольцами сделан больше 5—7 мм и поэтому часть колчедана просыпается вдоль вала. Это можно исправить лишь при остановке печи на ремонт.

Повышенное содержание серы в огарке при верхнем ходе печей наблюдается при спекании колчедана, когда температура печи подымается выше предела. Выгорание серы в спекающихся кусках затрудняется и в результате среднее содержание серы в огарке повышается. Плохо размолотый колчедан, если в нем имеются куски выше 8—10 мм, в зависимости от количества крупного колчедана может значительно повысить содержание серы в огарке.

Показателем полноты выгорания серы может быть только содержание сульфидной серы в огарке, но не общей серы, так как при повышенном содержании в колчедане металлов (Cu, Zn, Ca, Mg) образуются их стойкие сульфаты, требующие для своего разложения высокой температуры, и общее содержание серы в огарке в этом случае должно неизбежно повыситься.

Питание печей колчеданом

Колчедан должен подаваться в печь равномерно, так как только при этом условии и газ, получающийся в печи, будет иметь постоянную концентрацию SO_2 .

В практике работы печных отделений нередко можно наблюдать, что на сушильные своды печей ссыпают колчедан целыми вагонетками. При подобном питании печей, особенно при неотрегулированном питателе, получается переменная концентрация газа, огарок содержит повышенный процент серы и печи выдают газ в рабочее помещение. Чтобы избежать последнего, увеличивают разрежение в системе, что еще больше понижает концентрацию SO_2 в газе.

Для правильной работы печного отделения необходимо извешивать весь колчедан, поступающий в бункеры печей, и вести журнал, в котором должно записываться количество колчедана, подаваемого на каждую печь.

Регулирование питания печей осуществляется: 1) подачей колчедана на сушильный свод и 2) питательным механизмом печи.

Подача колчедана на сушильный свод, как мы видели выше при описании отдельных печей, обычно производится из бункеров, установленных над каждой печью. В эти бункеры колчедан подается вагонетками по подвесной дороге. Из бункеров колчедан специальными ножами, закрепленными на верхних гребках, сбрасывается на верхний свод. Необходимо установить ножи таким образом, чтобы за каждый оборот вала они сгребали требуемое количество колчедана.

Проверка установки ножа производится с помощью ковша, подвешенного к гребку под ножом. Сбрасываемый ножом колчедан собирается в ковше и взвешивается на весах. Количество сбрасываемого ножами колчедана зависит от рода и влажности колчедана и от количества колчедана, находящегося в бункерах; например если нож сбрасывает дробленого сухого колчедана 18 кг, то при смеси флотационного и дробленого колчедана с влажностью 7—8% тот же нож, одинаково поставленный, будет сбрасывать всего 12—14 кг. Необходимо каждый раз при изменении шихты передвигать нож по заранее нанесенным и проверенным отметкам.

Бункеры для колчедана над печами, как правило, всегда должны быть заполненными колчеданом не менее чем на $\frac{1}{3}$. При отсутствии бункеров в печах небольшой производительности подачу колчедана на печи производят не реже одного раза в час тачками, вьюшенными небольшими вагонетками и бадейками. Поступление колчедана в печь регулируется питательным механизмом, установленным на валу печи. Питатель должен быть установлен так, чтобы вокруг него не скопился колчедан и чтобы имелся всегда достаточный слой колчедана, препятствующий выделению газа через питатель. В трехтонных печах Герресгофа это достигается поднятием или опусканием колокола, а в печах Гумбольдта — передвижением питанги в питательном механизме и поднятием колокола.

Чтобы отрегулировать питание нескольких печей, нужна внимательная работа в течение нескольких смен. В качестве примера опишем отрегулирование печного отделения, в котором установлены 15-тонные печи Гумбольдта.

Предположим, что необходимо отрегулировать печное отделение на нагрузку по 16 т колчедана на каждую печь в сутки. Для этого устанавливают ровную тягу при несколько уменьшенной загрузке, чтобы все печи шли верхом. Выравнивают колокола питателей так, чтобы вертикальное расстояние между питангой и тарелкой колокола было 20 мм. Вдвигают во всех печах питанги с тем, чтобы концы их заходили за окружность тарелки на 60 мм. На наруж-

ных концах штанг должны быть отметки, показывающие, насколько штанги вдвинуты в печи. Ножи на гребках устанавливают так, чтобы каждый нож сбрасывал по 13 кг за один оборот вала, что при 24 об/час даст за сутки

$$13 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 24 \approx 15\,000 \text{ кг колчедана.}$$

После 5—6-часовой равномерной работы при несколько повышенной тяге наблюдают, на каких печах скопился колчедан у питателя. Там где это происходит, вдвигают штанги дополнительно на 20 мм. Если через час скопление колчедана не исчезнет, то вдвигают штанги еще на 20 мм. Если и это не поможет, то нужно опустить колокол питателя на 1—2 см. После отрегулирования питателей производят анализ газа. В тех печах, где концентрации выше или ниже заданной (7,5% SO_2), уравнивают тягу шиберами. Через 12—15 час. делают снова анализ и прикрывают или поднимают шиберы на тех печах, где это нужно. Когда все печи отрегулированы подобным способом, увеличивают загрузку, устанавливая на гребке каждой печи один из ножей так, чтобы он сбрасывал 15 кг колчедана за один оборот вала. В этом случае загрузка колчедана печи двумя ножами за сутки составит

$$(15 + 13) \cdot 24 \cdot 24 \approx 16\,000 \text{ кг колчедана.}$$

Тягу при этом не меняют. Через 4—5 час. на всех печах вдвигают штанги на 1 см и там где будет скопляться колчедан, снова вдвигают штангу на 1 см, и если это не даст результатов, то опускают колокол. Через несколько смен равномерной работы по нижнему седьмому сырцу можно будет судить о том, как работают печи. У печей, которые работают нормально, раскаленный огарок занимает 1—2 круга вокруг вала. У печей, работающих с некоторой перегрузкой, таких кругов 4—5. Если огарок в этих печах содержит серы не выше 2%, то печи считаются отрегулированными. При содержании же серы в огарке выше 2% нагрузку на эти печи следует уменьшить.

Вентиляторы

Для отсасывания газов, получаемых в печах, устанавливают вентиляторы в конце или в начале системы. В последнем случае устанавливают также и второй вентилятор в конце системы.

Количество газов, отсасываемых вентилятором из печей, зависит: 1) от конструкции вентилятора, 2) от числа оборотов, которые делает вентилятор, 3) от сопротивления системы, 4) от наличия случайных подсосов воздуха в аппаратах от печей до вентилятора.

Чтобы печи работали нормально, разрежение в верхнем этаже печи должно быть 0,5—0,75 мм вод. ст., а на нижнем 2—4 мм. Повышенное разрежение в нижнем этаже прогив верхнего объясняется тем, что в самой печи (вследствие разности между тем-

температурами печи и наружного воздуха) создается естественная тяга. Регулирование тяги в системе производят дроссель-клапаном, устанавливаемым в газоходе у вентилятора. Падение разрежения по всей системе обычно сопровождается выделением газа из печей и является результатом неправильной работы вентиляторов. На всасывающих и на напорных газоходах вентиляторов должны быть установлены тягомеры, показания которых всегда отражают все те изменения, которые происходят в работе вентиляторов¹.

Газоходы

Газ из печей транспортируется в систему по газоходам, которые с течением времени засоряются пылью, и это приводит к падению разрежения в печах и выделению газа через питатели и верхние дверки печей.

Ни в коем случае не следует допускать засорения газоходов до момента выделения газа из печей, так как еще задолго до наступления этого момента работа печей значительно ухудшается: концентрация газа начинает повышаться, печи горят низом и огарок содержит много невыгоревшей серы.

В каждой работающей системе по истечении некоторого времени нетрудно установить сроки, в которые общие газоходы и их отдельные участки засоряются пылью. Все газоходы, как правило, должны чиститься регулярно и своевременно. Чистка газоходов является работой довольно трудоемкой, при этом выделяется много пыли и из некоторых участков приходится также удалять кислый и твердый огарок. Для облегчения этой работы должны быть предусмотрены удобные площадки, необходимые люки и трубы, по которым пыль и грязь удалялись бы из газоходов в ватонетки.

Своевременной чистке газоходов иногда не придают должного внимания и в результате этого забитые пылью газоходы часто бывают одной из главных причин полного расстройства работы системы.

В газоходах не должно быть подсосов воздуха, так как это понижает концентрацию SO_2 в печном газе: печи, несмотря на хорошее разрежение у вентилятора, начинают гореть низом и выделять газ через питатели. Подсосы воздуха могут быть через люки, спускные трубы и неплотности в швах и фланцах. По понижению концентрации SO_2 можно судить о количестве засасываемого воздуха через неплотности в газоходах. Место подсосов воздуха может быть определено тягомером. Его показания увеличиваются против обычных после места подсоса и уменьшаются до места подсоса, считая от печей в направлении к системе. Установив место подсосов, немедленно следует принять меры к заделыванию обнаруженных неплотностей.

¹ О конструкции вентиляторов и их обслуживании см. К. А. Поляков, Свинцовая аппаратура, III вып., стр. 196.

Обслуживание вала и гребков. Инструмент

В описываемых конструкциях печей у большинства из них охлаждение вала и гребков производится воздухом и лишь у некоторых водой.

При охлаждении воздухом необходимо следить за тем, чтобы температура воздуха по выходе из вала была не выше 220° , а при охлаждении водой температура выходящей воды должна быть не выше $70-80^{\circ}$. Более высокая температура является признаком, что воздух или вода для охлаждения поступают в недостаточном объеме и необходимо принять меры к увеличению количества воды или воздуха, подаваемых в печь для охлаждения вала и гребков.

При нормальной работе печи для охлаждения вала и гребков на каждую тонну сжигаемого в печи колчедана в сутки нужно подавать в печь не менее $4-5 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха. Таким образом для 10-тонной печи необходим вентилятор, подающий в час $10 \cdot 5 \cdot 60 = 3000 \text{ м}^3$, а для 15-тонной $15 \cdot 5 \cdot 60 = 4500 \text{ м}^3$.

На 1 т сжигаемого в сутки колчедана расход воздуха равен:

$$5 \cdot 60 \cdot 24 = 7200 \text{ м}^3.$$

При теплотворной способности 45%-ного колчедана, равной 1400 ккал, и температуре выходящего воздуха из вала 200° количество тепла, отнимаемого воздухом от общего количества тепла, развиваемого при горении колчедана, составляет:

$$\frac{7200 \cdot 0,316 (200 - 20) \cdot 100}{1400 \cdot 1000} \approx 29,2\%.$$

где 20 — температура поступающего воздуха и 0,316 — средняя теплоемкость 1 м^3 воздуха.

Необходимо иметь в виду, что при увеличении производительности одной и той же печи выше определенного предела расход воздуха на охлаждение вала и гребков возрастет в большей мере, чем нагрузка печи. Пропорциональность между нагрузкой печи и расходом воздуха после этого предела можно сохранить, лишь увеличивая число гребков и диаметр вала, а следовательно и поверхность охлаждения.

В зависимости от конструкции вала и гребков и от площади поперечного сечения отверстий для входа и выхода воздуха из гребка сопротивление проходу воздуха меняется; в соответствии с этим напор вентилятора для преодоления этого сопротивления колеблется от 100 до 350 мм вод. ст.

Расход мощности для одной 15-тонной печи для вращения вентилятора равен:

$$\frac{4500 \cdot 200}{3600 \cdot 75 \cdot 0,5} = 6,6 \text{ л.с.},$$

где 0,5 — к. п. д. вентилятора, а 200 — сопротивление проходу воздуха в мм вод. ст.

Обычно устанавливают один вентилятор типа Сирокко на 2—4 печи и регулируют подачу воздуха шиберами, находящимися на воздухопроводах у каждой печи. Кроме этого устанавливают на два вентилятора один резервный.

Для правильной работы воздушного вентилятора должны быть соблюдены следующие основные условия:

1. Колесо вентилятора перед посадкой в кожух должно быть строго отбалансировано и должно свободно вращаться при повороте от руки.

2. Труба, присоединяемая к всасывающему патрубку, должна быть по возможности прямой и без колен.

3. В нагнетательных трубах не следует делать углы в 90° ; отрезки от общего воздухопровода к печам должны быть сделаны под углом в $20-30^\circ$.

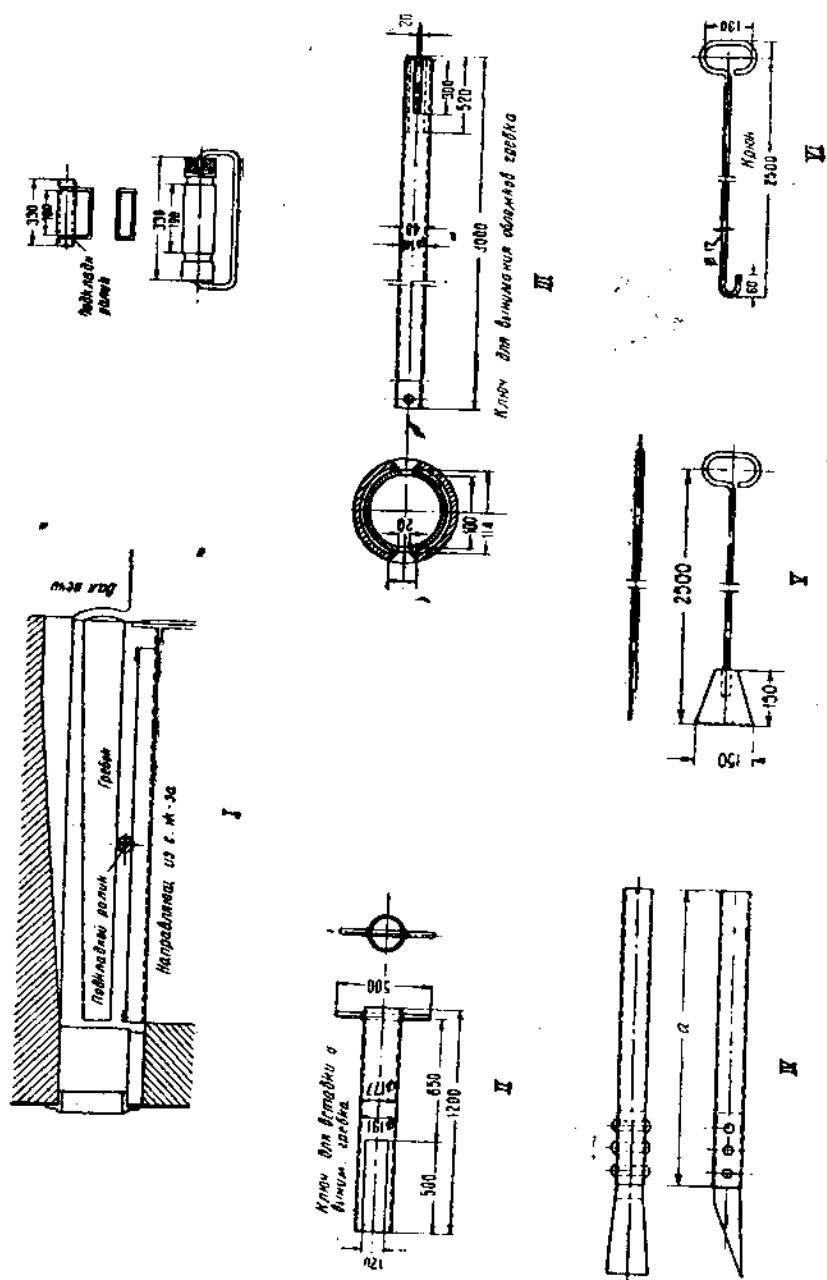
4. При эксплуатации необходимо следить за тем, чтобы подшипники вентилятора не нагревались выше нормы; их необходимо смазывать регулярно каждую смену.

5. Воздух, поступающий в вентилятор, не должен содержать пыли, так как пылью забиваются гребки и они скоро перегорают.

При остановке вентилятора следует остановить и печи, иначе поломка гребков неизбежна.

Для забора воздуха концы всасывающих труб у вентиляторов выводят наружу, так как при засасывании воздуха из помещения пыль вместе с воздухом попадает в гребки, забивает их, охлаждение гребков уменьшается и они ломаются. Причиной поломки гребков чаще всего служит наростшая на сводах корка. При плохом охлаждении и залуженных сводах можно сломать за одну смену 4—5 гребков в одной печи. Иногда причиной поломки может служить вывалившийся камень из футеровки. Для смены гребка останавливают печь в тот момент, когда гребок приходится против середины дверцы, подкладывают под гребок швеллер и ролик (рис. 73), вынимают шпильку (если она есть) и, захватив конец гребка специальным ключом, поворачивают или поднимают гребок, в зависимости от его конструкции. После этого гребок вытягивают крючком с помощью тали или вручную.

Довольно часто прогорает торцевая часть гребка и воздух из гребка выбрасывается в печь, нарушая режим печи. Прогоревшую часть иногда удается заделать смесью волокнистого асбеста (2 вес. ч.) с силикатом (1 вес. ч.). Лопатки (зубья) на гребках могут служить, пока не сотрутся на $\frac{1}{3}$ своей высоты. Срок службы лопаток на верхних сводах в среднем составляет 7—9 мес., а на нижних 1,5—2 года. Поломка лопаток чаще всего происходит, когда печь сильно накалилась и на сводах имеется наростшая корка. Иногда лопатки ломаются от попавших случайно металлических предметов (болтов, кусков гребка и т. д.). Для смены лопатки останавливают печь в таком положении, чтобы гребок немного не дошел до середины дверцы, и ключом вынимают поломанную лопатку и вставляют новую.



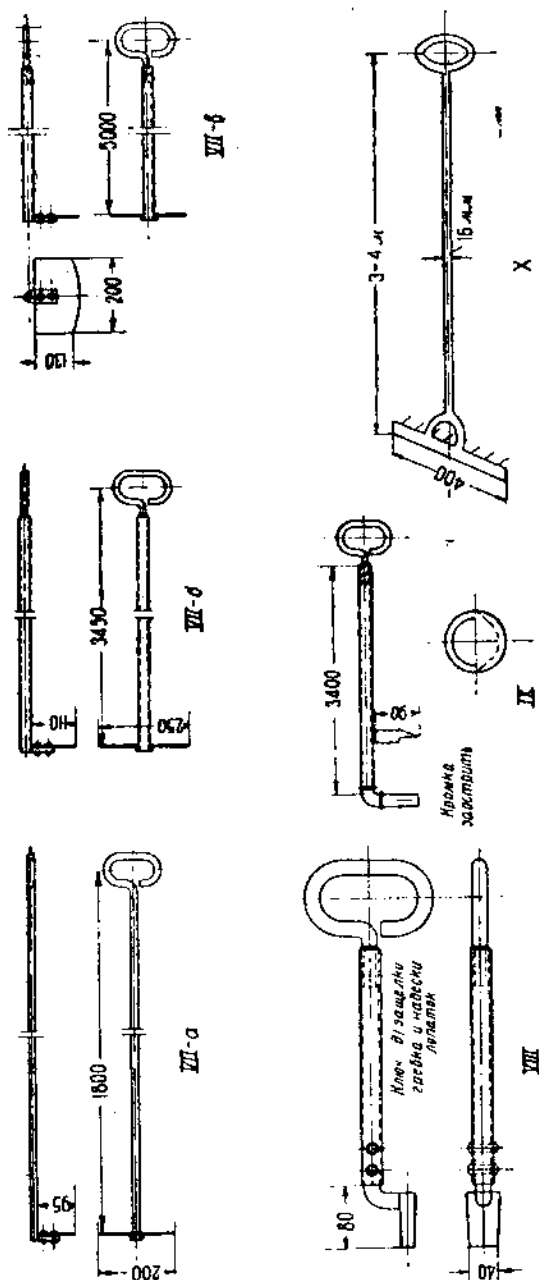


Рис. 73. Инструмент для обслуживания печи:

I — направляющий швеллер и розник, II — ключ для вставки и выемки гребков, III — ключ для вынимания обломков гребков, IV — крюк, V — лопата, VI — скребок, VII — скребок, VIII — ключ для выемки гребка и навески лопаток, IX — резак, X — грабли.

Инструменты, употребляемые при обслуживании 15-тонной печи Гумбольдта, представлены на рис. 73. Для других печей некоторые детали отличаются от описываемых лишь в зависимости от конструкции гребка и гнезда для него.

Направляющий швеллер и ролик (рис. 73, I). Швеллер служит для вставки и выемки гребка. Для этого он кладется по радиусу печи от отверстия вала до дверки. По швеллеру катится ролик, который облегчает как передвижение положенного на него гребка к отверстию вала, так и вытаскивание обломка гребка из гнезда.

Ключ для вставки и выемки гребков (II). Этим ключом вставляют новые гребки или вынимают сломанные, если они не сильно припеклись. При этом ключ обхватывает гребок снаружи, а в имеющийся в нем прорез входят приливы, которыми подвешивается лопатка. Ключи делаются по длине и диаметру нескольких размеров, и ими пользуются в зависимости от размера оставшейся в валу части сломанного гребка. Ключи делаются из труб с толщиной стенок 7—8 мм.

Ключ для вынимания обломков гребка (III). Этим ключом пользуются для вынимания гребка, сломанного у середины или ближе к валу. Ключ вставляется внутрь гребка таким образом, чтобы имеющийся у него на конце вырез вошел в перегородку внутри гребка. Для большей прочности в этот конец ключа вставляют отрезок второй трубы (длина 520 мм, диаметр внутренний 103, внешний 114 мм), который приваривается к первой трубе.

Зубило (IV). Зубило служит для снятия припекшейся к сводам корки. Конiec зубила делается острым из железа и приклепывается к газовой трубе. Зубила делаются нескольких размеров, для чего у них удлиняют часть а.

Лопата (V). Служит для той же цели, что и зубило. Ручка лопаты делается из круглого железа, к которому приваривается конец лопаты из котельного железа толщиной 5 мм.

Крюк (VI). Для вытаскивания сломанной части гребка, оставшейся в валу, делают из круглого железа большой крюк, а для извлечения из печи какого-либо предмета, который волочится гребками по своду (кусок гребка, камень, сломанный зуб и т. д.), изготовляют более легкий крюк.

Скребки (VII). Для очистки сводов от корки и прочистки горловины и дверец печи от пыли служат скребки. Ручки коротких гребков (VII-а) делают из круглого железа, а длинных (VII-б) из газовых труб. Для чистки газопроходов необходимы скребки с длинными ручками и полукруглой лопаткой (VII-в).

Ключ для заделки гребка и навески лопаток (зубьев) (VIII). Этот ключ служит для вставки и вытаскивания лопаток. Прямоугольный конец ключа входит в соответствующее отверстие в лопатке. Поворотом ключа лопатка вынимается из поддерживающих ее приливов. Этим же ключом вставляют и заделку, закрепляющую гребок в валу печи.

Резак (IX). Резак изготовляется из газовых труб и служит для прочистки гнезд, в которые вставляются гребки.

Грабли (X). Грабли изготовляются из круглого 16-мм железа. Они служат для разравнивания спекающегося и плохо перегреваемого колчедана, а также и для выпребания крупных кусков после чистки сводов зубилом.

Лом (на рисунке не показан). Применяется при вынимании поломажных гребков. Лом вставляется в отверстие на конце ключа (III) и им поворачивают ключ, а вместе с ним и гребок.

Обслуживание механизмов и планово-предупредительный ремонт печей

Движущийся механизм печи требует внимательного отношения при обслуживании, так как при его порче приходится не только менять дорогостоящие детали, но и останавливать печь на продолжительное время. Все механизмы печи довольно просты и при правильном уходе работают годами без ремонта.

Уход за механизмами заключается в своевременном их смазывании и содержании в чистоте с тем, чтобы в них не попадала пыль.

Масленки передаточных валов набиваются тавотом раз в 5 дней. Масло в редуктор добавляется по мере его уменьшения и раз в 1—1,5 месяца заменяется новым. Масло в подпятник главного вала наливается раз в месяц и проверяется количеством и на чистоту раз в 3 дня. Малая коническая шестерня смазывается тавотом один раз в сутки. Направляющие ролики на верху печи смазываются каждые два дня. В печах Ведже, на которых большая шестерня покоится на роликах (рис. 35), необходимо по мере срабатывания роликов их поднимать с тем, чтобы шестерня лежала на всех роликах.

Иногда печь при работе начинает скрипеть, что обычно бывает при трении вала о сводовые кольца. Трение случается или потому, что одно из сводовых колец вследствие деформации приняло неправильное положение или же, что бывает значительно реже, вал вышел из своего вертикального положения. Следует немедленно по выяснении причин в первом случае выправить скребком положение кольца и во втором верхними направляющими роликами и подкладками под раму подпятника поставить вал вертикально.

Важнейшим фактором, определяющим высокие показатели работы механических печей, является фактор «рабочего времени», продолжительность которого при прочих равных условиях характеризует, насколько хорошо налажена работа печей и всего печного отделения. Необходимым и важнейшим условием обеспечения бесперебойности работы печей и минимальных простоев является правильное обслуживание механизмов печей и планово-предупредительный ремонт.

Нередко можно наблюдать, что надзор за механизмами печей поручается лицам низкой квалификации, а иногда просто чернорабочим, знающим лишь те места, в какие следует наливать

смазку. При таком обслуживании печей неизбежны их быстрый износ и аварии. Наблюдение и уход за печами должны быть поручены слесарю, вполне знающему устройство всего механизма печей, знающего детально систему смазки, умеющего различать отклонения от нормального хода механизмов. За время своей смены дежурный слесарь (смазчик) обязан несколько раз обойти все печи и проверить не только состояние смазки, но и работу всех деталей.

Осмотр можно начать с мотора. Следует хотя бы пощупать проверить нагрев его подшипников, а если смазка в подшипниках кольцевая, проверить кроме того вращение смазывающих колец. Затем дежурный должен проверить, не ослабел ли ремень от мотора к редуктору и не требуется ли натянуть или перешить ремень.

При осмотре редуктора следует проверить его температуру, а также убедиться в отсутствии шума или стука более громких, чем обычные. Сильный шум или стук могут быть причиной подработки шестерен, начавшегося износа подшипников, поломки шариков в подшипниках, неправильной смазки или при попадании в редуктор со смазкой посторонних тел. Своевременное устранение этих причин предохранит редуктор от поломки.

Особенно внимательно следует проверять работу подпятника вертикального вала, так как всякий ремонт, требующий разборки подпятника, связан с длительной остановкой печи. В подпятнике нужно проверить его нагрев и уровень смазки. При неправильной смазке подпятника и попадании в него огарка кольца подпятника под давлением вала начинают быстро истираться; в этом случае частицы металла и огарка попадают в смазочные канавки, движение смазки в них прекращается и опорные поверхности колец перестают смазываться, в результате чего порча опорного устройства и остановка печи неизбежны. При сильном нагреве опорных колец они раздаются и в этом случае их очень трудно извлечь из подпятника. В этом случае ремонт печи, если нет запасного подпятника с кольцами, связан с остановкой печи на продолжительное время.

В нижней части печи следует проверять также смазку конических шестерен. На некоторых заводах смазку конических шестерен не производят и объясняют это тем, что к смазанной поверхности легче пристают частицы колчедана и огарка, вследствие чего износ смазочных зубьев шестерен еще более увеличивается. По нашему мнению, такое решение вопроса неверно. Частицы колчедана и огарка попадают на шестерни через уплотняющее кольцо нижнего свода, а также и при пылеобразовании, которое получается при сыпавании колчедана с нижнего свода в вагонетки.

Если защитный кожух над шестерней и уплотняющее кольцо нижнего свода содержатся в исправном состоянии, а камера, где помещается вагонетка для огарка, не имеет щелей, то попадание огарка или неосторожного колчедана на шестерни почти полностью устраняется. Смазывание же шестерен предотвращает их износ и увеличивает срок службы.

В верхней части вала необходимо проверять работу и производить смазку роликов, удерживающих вертикальный вал.

За время смены необходимо осмотреть все гребки внутри печи и особенно на сводах с высокой температурой. Нужно помнить, что сломавшаяся или свалившаяся лопатка может служить причиной поломки гребка в этом этаже. Наконец в обязанности наблюдающего персонала должно быть вменено проверять 1—2 раза в смену температуру воздуха, охлаждающего вал и гребки, при его выходе из вала.

Все намеченные дефекты в работе печи должны немедленно устраняться или заноситься в журнал.

Правильная постановка планово-предупредительного ремонта требует проведения следующих организационных мер:

1. Составления плана детальных осмотров и ремонтов печи.
2. Установления срока службы отдельных деталей.
3. Составления альбома рабочих чертежей деталей.
4. Заказа запасных деталей, своевременного их получения и организации их хранения.
5. Ведения журнала для записи ежедневных наблюдений за работой печи (каждой за своим номером отдельно) и журнала для записи результатов периодических более детальных осмотров, произведенных ремонтов, и необходимых подготовительных работ к следующему осмотру и ремонту.

При составлении плана осмотров следует иметь в виду две резко различающиеся категории ремонтов печей: ремонты кратковременные с длительностью остановки печи менее суток, т. е. срока, за который печь не успеет сильно охладиться и ее не придется снова разжигать, и ремонтов, требующих длительных остановок печи, связанных с разжигом и пуском печи.

Осмотры и ремонты кратковременные должны назначаться в зависимости от состояния печей, но не реже 3—4 раз в год, а для печей, проработавших несколько лет, 6—8 раз в год.

Длительные ремонты следует приурочивать к остановке всего завода на ремонт. На многих сернокислотных заводах практикуется ежегодная остановка главным образом для ремонта насосного отделения; и в этот период обязательно и независимо даже от состояния печей нужно производить полный осмотр печей.

При кратковременных осмотрах следует производить следующие наиболее важные работы: вскрывать подшипники приводного вала, редуктор, вынуть кольца подпятника, осмотреть валики верхних роликов. К такому осмотру печи должна быть произведена тщательная подготовка: к назначенному сроку должен быть приготовлен такедажный и слесарный инструмент; приготовлена ремонтная бригада, доставлены на место заранее проверенные по чертежам запасные детали, подлежащие установке, и т. п.

При длительном ремонте к перечисленным уже операциям добавится полный осмотр и ремонт сводов, осмотр уплотняющих сводовых колец и т. д., т. е. полное изучение состояния внутренней части печи.

Фиксация в журнале состояния деталей печи и произведенных ремонтов позволит уточнить по срокам составленный первоначально годовой план и отменять или добавочно вводить осмотр тех или других частей.

Срок работы отдельных деталей в сильной степени зависит от конструкции печей, правильности их эксплуатации и ухода за печью, опытности обслуживающего печи персонала и т. п. Поэтому сроки службы деталей на разных заводах резко разнятся друг от друга и общую сводку сроков отдельных деталей дать затруднительно. Они должны устанавливаться опытным путем на каждом отдельном заводе.

К наиболее изнашиваемым деталям мы относим следующие: гребки и лопатки. Срок службы лопаток верхних сводов (первый-четвертый) в среднем составляет ~ 8 мес., а нижних $1\frac{1}{2}$ —2 года. Лопатка может служить, пока не сотрется примерно $\frac{1}{3}$ вышины ее полотна. Малые шестерни редукторов (срок 1—2 года), шарикоподшипники (1 год), малая коническая шестерня — около 1 года, верхние направляющие ролики ($\frac{1}{2}$ —1 год), кольца в подшипнике (2 года).

Все эти детали, хотя бы в минимальном количестве, должны всегда быть на складе. При большом печном хозяйстве прочие детали, более редко сменяемые (вылоть до центрального вала), все же хотя бы в одном экземпляре должны быть на складе на случай какой-либо аварии.

2. Сжигание флотационного колчедана

Флотационный колчедан отличается от обыкновенного своей мелкозернистостью. Диаметр частицы обыкновенного колчедана, поступающего в печь, в среднем имеет размер 4—7 мм, диаметр частицы флотационного колчедана 0,07 мм.

Опыты по сжиганию флотационного колчедана в механических печах показали, что при обычном обслуживании печей в верхних этажах легко наступает спекание колчедана; частицы флотационного колчедана весьма малого размера и поэтому при размягчении колчедана вследствие большой поверхности соприкосновения и происходит их спекание. В результате спекания отверстия сводов забиваются и происходит частая поломка гребков.

Твердая фаза колчедана на разных стадиях обжига состоит из следующих компонентов с разными температурами плавления.

FeS . . .	1170°
Fe ₂ O ₃ . . .	1565°
Fe ₃ O ₄ . . .	1527°
FeO . . .	1377°

Из этих соединений FeS является наиболее легкоплавким материалом. Задолго до температуры плавления при 700—800° FeS начинает размягчаться и слипаться в куски. Как только отдельные кусочки склеятся в общую массу, доступ воздуха к отдельным частицам прекращается, горение приостанавливается, масса начи-

нает охлаждаться и затвердевать. Вращающиеся гребки не могут передвигать накопившиеся большие куски и ломаются.

Вследствие мелкости частиц флотационный колчедан начинает интенсивно гореть на верхних этажах печи и главная масса тепла выделяется на первых двух этажах. Температура на них повышается и FeS_2 быстро диссоциирует на S и FeS , и последнее, как легко размягчающийся материал, начинает слипаться в крупные куски. При обжиге обыкновенного колчедана горение хотя и происходит главным образом на верхних этажах, но вследствие крупности частиц горение продолжается также и на нижележащих этажах.

Таким образом при обжиге флотационного колчедана температура на верхних этажах должна быть выше, чем при сжигании обыкновенного колчедана.

Меры против спекания должны быть направлены к тому, чтобы уменьшить выделение тепла на первых этажах, т. е. растянуть горение по большему числу этажей, а также и к тому, чтобы увеличить охлаждение на верхних этажах.

В печах с водяным охлаждением понизить температуру на верхних этажах легче, чем при печах с воздушным охлаждением, так как они имеют на водяных трубах краны, которыми можно регулировать количество воды, поступающей в гребки. В этом отношении печи с водяным охлаждением имеют преимущество по сравнению с печами с воздушным охлаждением гребков.

Спекания флотационного колчедана можно избежать, добавляя к нему 15—20% огарка. Огарок понижает тплотворную способность обжигаемой шихты, уменьшает скорость выгорания и этим самым понижает температуру на верхних этажах; кроме того Fe_2O_3 , как и материал с высокой температурой плавления, механически понижает способность спекания. Добавление огарка помимо осложнений, связанных с шихтованием, понижает производительность печи на 15—20%. При сжигании шихты, состоящей из трех частей флотационного колчедана и одной части обыкновенного колчедана, удастся путем снижения на 10% производительности печи избежать спекания колчедана.

Изменение свойств флотационного колчедана путем добавления огарка и колчедана связано с заготовкой шихты и понижением производительности печи и поэтому не разрешает полностью вопроса сжигания флотационного колчедана. Путем регулирования работы самой печи первоначально заводу «Красный химик», а затем и другим заводам удалось установить режим печей, при котором сжигается флотационный колчедан без спекания и без добавления других компонентов.

Регулирование температуры печи и процент выгорания серы в огарке при заданных производительности печи и проценте SO_2 в печных газах может производиться:

- 1) дифференцированным отбором газа с разных этажей печи;
- 2) порционной подачей колчедана одновременно в два-три этажа печи;

3) временем пребывания колчедана на отдельных сводах;

4) дифференцированной подачей воздуха по этажам печи.

Первым, и особенно вторым, методом, хотя и возможно регулировать печь, но этим усложняется и удорожается конструкция печи.

Регулирование времени пребывания колчедана на сводах печи может быть достигнуто как путем изменения скорости вращения вала печи, так и изменением конструкции гребков. Изменяя угол наклона лопаток у гребков, можно осуществить более быстрое прохождение колчедана по сводам печи.

При опытах, произведенных бригадой Научно-исследовательского института прикладной минералогии на Дорогомиловском заводе, прохождение колчедана по верхним этажам было ускорено путем пробивки дополнительных отверстий в ноде второго этажа. При этом изменении выгорание серы и температуры были сдвинуты вниз и спекание колчедана наблюдалось в весьма малой степени. Температура по сводам печи распределялась следующим образом:

Свод печи	Температура °C	Свод печи	Температура °C
II	585	V	673
III	590	VI	647
IV	596		

Опыты производились на 10-тонной печи «Г». Бригаде не удалось сжигать продолжительное время 100%-ный флотационный колчедан, так как забивались сыпные отверстия третьего пода, но на основании проделанной работы можно сделать вывод, что при увеличении сыпных отверстий на третьем поде и пробивке дополнительных каналов для колчедана в третьем и четвертом подах 100%-ное сжигание флотационного колчедана вполне возможно. При этом необходимо с целью снижения температуры получать газ из печи с концентрацией в нем SO_2 7,5—8%, а не 11%, как это делала бригада.

Работникам завода «Красный химик» удалось сжигать в печи по 13 т флотационного колчедана при следующих условиях:

1) подача воздуха производилась помимо нижнего этажа также по второй и третий;

2) скорость вращения вала была увеличена с 30 об/час до 40 об/час;

3) концентрация SO_2 в газах была 8%.

Эти меры привели к увеличению производительности печи против нормальной и к более равномерному распределению температуры и процента выгорания серы по сводам, что видно из табл. 24.

Флотационный колчедан содержал 40% серы и 2,5% влаги.

Из приведенных данных видно, что максимальная температура в печи ниже, чем мы обычно встречаем при работе на обыкновенном колчедане. Это объясняется тем, что для охлаждения вала и

Таблица 24

Этажи	Процент серы в материале при входе	Температура в °C	
		материала	газов
I	41,53	445	430
II	32,96	500	480
III	25,59	535	525
IV	13,14	602	587
V	7,49	590	560
VI	3,97	565	540
VII	1,34	340	320

гребков в этой печи давалось повышенное количество воздуха, а также и тем, что распределение температуры по всем сводам увеличило процент теплоотдачи печью в окружающую среду.

Работа завода «Красный химик» не только практически указала на наиболее рациональный метод сжигания флотационных хвостов в механических печах, но и доказала возможность сжигания 100%-ного флотационного колчедана с повышением производительности печи.

3. Сжигание углистого колчедана

Условия горения углистого колчедана отличаются от горения обыкновенного колчедана.

1. Для сгорания углерода, находящегося в колчедане, требуется лишний кислород и поэтому в печных газах меньше остается кислорода, чем при сжигании обыкновенного колчедана.

При сжигании обыкновенного колчедана и получении газа с содержанием 7% SO_2 в газе содержится 12,24% кислорода. Если сжигать углистый колчедан и получать газ с содержанием 7% SO_2 , то состав газа (в процентах) будет следующий (табл. 25):

Таблица 25

Материалы	SO_2	O_2	CO_2	N_2
Углистый необогащенный колчедан (серы 43%, углерода 12%)	7	7,04	5,2	85,76
Углистый обогащенный колчедан (серы 43%, углерода 6%)	7	9,74	2,5	85,76

Для сернокислотного процесса понижение концентрации O_2 , как это имеет место при необогащенном углистом колчедане, недопустимо и поэтому к печному газу необходимо добавлять воздух, т. е. работать на более слабом газе.

Чтобы сохранить в системе тот избыток кислорода, который получается при 7%-ном газе при сжигании обыкновенного колчедана, надо сжигать необогащенный углистый колчедан таким образом, чтобы концентрация SO_2 в газе, поступающем в систему, была 5%, а при обогащенном колчедане 5,85%.

2. При горении углистого колчедана при одном и том же содержании в нем серы выделяется значительно больше тепла, чем при горении обыкновенного колчедана. 1 кг обыкновенного колчедана (при выгорающем в нем проценте серы $P=43$) выделяет 1347 ккал; необогащенный углистый колчедан ($P_s=43$; $P_c=12$) дает 2315 ккал, а обогащенный ($P_s=43$; $P_c=6$) дает 1830 ккал. Отсюда, понятно, что температура во всех этажах печи должна быть выше, чем при сжигании обыкновенного колчедана. Кроме этого сера должна выгорать значительно быстрее и в верхних этажах температура должна быть наивысшая. В табл. 26 приведены данные из опытов с печью «Г», подтверждающие сказанное.

Таблица 26

Этажи	Температура в °C		
	Уральский колчедан	Смесь из 45% уральского + 55% углистого колчедана	100% обогащенного углистого колчедана
I	505	730	678
II	630	800	740
III	710	730	700
IV	530	565	635
V	180	240	240

Повышение температуры на верхних этажах приводит к спеканию колчедана, быстрому образованию корок на сводах и к перегреву вала и гребков.

Для снижения температуры на верхних этажах печи при сжигании углистого колчедана применяют следующие методы работы:

1. Сжигание углистого колчедана в смеси с обыкновенным. При добавлении обыкновенного колчедана содержание углерода в шихте должно быть не более 5%. Практика показывает, что при таком содержании в шихте углерода и концентрации в газах 6% SO_2 условия обжига значительно облегчаются и приближаются к нормальным. В этом случае в качестве мер предосторожности достаточно наблюдать за нормальным составом шихты и, если печь сильно перегружена, дать дополнительный воздух через средние

воздушники, если они имеются, или через дверки второго-четвертого этажей.

При соответствующем снижении концентрации SO_2 в газах можно сжигать шихту с высоким содержанием углерода, но понижение концентрации SO_2 в печах ниже 6%, если учесть неизбежные подсосы в системе, могут отразиться неблагоприятно при дальнейшем технологическом процессе.

Кроме того при большом содержании углерода в шихте значительно повышается температура в печи, увеличение которой выше определенного предела приводит к спеканию колчедана и поломке вала и гребков. По этой причине содержание углерода в шихте ограничивают 5%.

2. Сжигание углистого колчедана в смеси с огарком. Этот метод можно применять лишь в том случае, если обыкновенного колчедана почему-либо нет на заводе. Огарка нужно прибавлять столько, чтобы снизить содержание углерода в шихте до 7—8%. Производительность печи при этом снижается на 20—25%. Такую меру можно применять как временную до поступления обыкновенного колчедана, так как при добавлении огарка хотя и снижается температура и избегается спекание колчедана, но одновременно с этим падает и концентрация сернистого газа, зависящая от отношения серы к углероду в обжигаемом материале (стр. 43).

3. Впуск добавочного воздуха. Если шихта содержит углистый колчедан, то, как правило, нужно давать добавочный воздух в самые горячие верхние этажи печи. При этом естественная тяга печи на нижних сводах уменьшается и зона горения опускается в низ печи. Одновременно с этим в результате добавления холодного воздуха понижается температура на верхних сводах. В 15-тонных печах Гумбольдта для этого можно пользоваться четырьмя воздушниками, имеющимися на четвертом этаже, или, что лучше, отверстиями в дверках второго этажа, прикрываемыми скользящими движками.

4. При сжигании углистого колчедана нужно обращать особое внимание на правильное и достаточное охлаждение вала и гребков. Если установленные вентиляторы не имеют резервной мощности, то при переходе на регулярное питание печей углистым колчеданом следует или увеличить число оборотов вентилятора, если это допускает их конструкция, или установить новые вентиляторы большей производительности.

5. Увеличение числа оборотов вала. При увеличении числа оборотов вала среднее время пребывания колчедана в печи уменьшается. В результате зона горения растягивается по всей печи и температура на верхних этажах снижается. Особого эффекта это мероприятие не дает: пуск добавочного воздуха все равно необходим. Увеличение числа оборотов вала могло бы дать результаты при временной перегрузке печи. Но это связано с установкой специального приспособления, позволяющего менять число оборотов, и поэтому трудно выполнимо.

При работе на углистом колчедане необходимо принимать меры к правильной и равномерной шихтовке колчедана. Смешивание колчедана лучше производить после его размола, так как только в этом случае можно добиться правильной дозировки. Для этой цели следует установить под бункерами, вмещающими отдельно углистый и обыкновенный колчеданы в размолотом виде, тарельчатые питатели, направляя из них колчеданы в общий элеватор или на общую ленту.

4. Время пребывания и количество колчедана в печи

Частицы колчедана, попадая на верхний сушильный свод, перегреваются в дальнейшем гребками с этажа на этаж. Некоторые частицы попадают удачно и перегреваются по ходу колчедана с каждым оборотом гребка; другие частицы временно отгребаются назад и только следующим гребком продвигаются дальше по ходу колчедана; некоторые же частицы попадают в нижний так называемый мертвый слой и могут оставаться там до тех пор, пока случайно при шуровке печи не будут резаком или граблями подняты наверх.

В связи с этим можно говорить о минимальном, т. е. о самом коротком времени пребывания колчедана в печи и о среднем времени пребывания. Среднее время пребывания в 15-тонных печах Гумбольдта, по данным этой фирмы, на основании опытов, полученных со стеклянными шариками, загружаемыми в печь вместе с колчеданом, составляет около 14 час. Минимальное же время — всего лишь 8 час.

Проф. Залесский определил время нахождения колчедана в печах Брак-Моритца, загружая с колчеданом кварц. Главная масса кварца проходила печь в течение 11—12 час. Время пребывания колчедана в печах можно определить с некоторой точностью и расчетом, если нам известна производительность печи, площадь всех сводов и высота перегреваемого слоя колчедана по этажам.

В 15-тонных печах Гумбольдта, по нашим наблюдениям, высота слоя перегреваемого колчедана на верхнем сушильном своде равна приблизительно 25 мм. При общей площади всех сводов, включая и сушильный (нулевой свод), 170 м² объем перегреваемого колчедана будет равен $0,025 \cdot 170 = 4,25$ м³, что при объемном весе перегреваемого материала 2,2 даст $4,25 \cdot 2,2 = 9,35$ т.

Часовая же загрузка печи составляет $15 : 24 = 0,625$ т/час. Отсюда среднее время пребывания колчедана в печи равно:

$$m = \frac{9,35}{0,625} = 15 \text{ час.},$$

цифра, как видно, близко подходит к сообщенной фирмой.

Определим теперь количество колчедана и огарка, находящегося в печи. Оно равно количеству перегреваемого колчедана плюс тот материал, который лежит мертвым слоем под гребками. Количество колчедана и огарка, находящегося под гребками в мертвом слое при его высоте в 30 мм и объемном весе 2 (в мертвом

слое находится преимущественно огарок), будет равно $170 \cdot 0,03 \cdot 2 = 10,2$ т. Отсюда общий вес материала, находящегося в печи, равен

$$9,35 + 10,2 = 19,55 \text{ т.}$$

V. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЕЧЕЙ ПЫЛЕВИДНОГО ОБЖИГА

1. При эксплуатации печей для сжигания флотационного колчедана во взвешенном состоянии концентрация SO_2 в печных газах может весьма быстро меняться как при уменьшении подачи колчедана, так и воздуха, а поэтому аппараты, подающие колчедан и нагнетающие воздух в печь, должны работать безостановочно и не должны менять своей производительности.

Шнековые питатели перед пуском печей должны быть отрегулированы в отношении подачи колчедана в форсунку. На фрикционном приводе должны быть сделаны отметки, соответствующие производительности шнека от 10 до 20 т колчедана в сутки. По мере износа шнека производительность его падает. Необходимо раз в две декады проверять производительность шнека и в случае необходимости изменять число оборотов. Для проверки производительности питателя на идущей от него к форсунке трубе должен быть патрубок; через этот патрубок собирают проходящий через питатель колчедан и производят его взвешивание. Во время проверки труба отключается от форсунки печи заглушкой, поставленной ниже патрубка, и печь работает на запасной форсунке, а если таковой нет, то только на второй постоянной.

Основная регулировка печи заключается в поддержании постоянной концентрации газа и температуры в печи. Если концентрация падает, что обычно сопровождается и падением температуры, то причины этого могут быть следующие:

1) в форсунку стало поступать меньше колчедана (забился шнек или труба от бункера, влажный колчедан и т. д.);

2) изменилось содержание серы в поступающем колчедане.

В первом случае следует немедленно устранить причину, а во втором — увеличить подачу колчедана в форсунку путем увеличения числа оборотов шнека.

Определение концентрации SO_2 в газе производится каждый час по способу Рейха или автоматическим газоанализатором.

При регулировании подачи воздуха в печь прежде всего должно быть обеспечено правильное соотношение между количеством воздуха, нагнетаемого в форсунку, и количеством вторичного воздуха, подаваемого снизу через фурменное кольцо. Количество воздуха, подаваемого через форсунку, должно быть не больше, чем это необходимо для полного распыления колчедана по всему сечению печи. Весь остальной воздух, необходимый для горения колчедана и дальнейшего технологического процесса, должен подаваться снизу через фурмы. Этот воздух создает противоток колчедана с воздухом и увеличивает время пребывания колчедана в атмосфере обжига.

Необходимость правильного соотношения первичного и вторичного воздуха особенно ясна из опытов, произведенных Унихимом

Из приводимой таблицы видно, что содержание серы в огарке при сжигании сыпучки больше, чем при сжигании флотационного колчедана, что объясняется большей крупностью частиц сыпучки. По той же причине содержание пыли в газе после электрофилтра при сыпучке меньше, чем при флотационном колчедане. Для регулирования воздуха, поступающего в форсунки и фурмы, должны иметься на каждом воздухопроводе задвижки Лудло, а для замера количества воздуха диафрагмы и дифференциальные манометры.

Все манометры, относящиеся к одной печи, должны быть расположены на общем щите.

При сжигании в печи 25—30 т колчедана в сутки в пересчете на 45%-ный колчедан температура вверху печи должна быть $\sim 1000^\circ$. Хвостовой вентилятор системы и вентилятор, подающий воздух в печь, должны работать синхронно так, чтобы давление вверху печи было не более 1—1,5 мм вод. ст.

Чистка нижнего бункера печи от огарка производится не реже чем через каждые 1,5—2 часа, а чистку газоходов от печей до электрофилтров нужно производить регулярно, не допуская их засорения. Ко всем точкам, где производится спуск огарка из газохода, должны быть подведены узкоколейные пути.

Камеры для вагонеток под бункерами печей, пыльников и под газоходами, где собирается много пыли, должны иметь плотно закрывающиеся двери.

Во избежание остановки печи от неисправностей механизмов необходимо строго следить за регулярной смазкой подшипников моторов, питателей и вентиляторов. Должны всегда быть в запасе пригнанные части к шнекам, форсункам, задвижкам, транспортерам и т. д. с тем, чтобы всякая смена поломанной детали происходила в кратчайший срок.

Остановка печи происходит в следующей последовательности: первоначально выключают питательные шнеки, затем останавли-

ча 28

Остается огарка в %				Сера в огарке в %		Запыленность газа после кот- тра в г/м	% SO ₂ в газах из печи	Температура в °C	
в печи	в пыльнике	в газах	в котле	от всего огарка	из печи			верхняя зона печи	нижняя зона печи
63	30	4	3	2,5	3,9	0,04	9,5	940	990
44	43	6	7	1,81	3,6	—	10,7	1040	1070
—	—	—	—	0,23	0,23	—	9,4	—	—
50	40	4,5	5,5	0,37	0,38	0,189	10,7	1018	1090

вают подачу воздуха в печь, после чего открывают шиберы на выхлопных трубах и отключают шиберами печь от газоходов остальных печей.

Для лучшего выгорания серы флотационный колчедан должен подаваться в форсунки сухим с влажностью не более 0,6—0,7%. Более влажный колчедан слеживается, образуя комочки, которые забивают шнек и быстро падают в низ печи, почти не выгорая при обжиге.

Поэтому на всех заводах, имеющих печи пылевидного обжига, устанавливают сушилки для колчедана.

Сушилка представляет собой вращающийся барабан, в который с одного и того же конца поступают влажный колчедан и горячие газы из топки. Первоначальная сушка флотационного колчедана производится на месте его получения, т. е. на флотационных фабриках, но даже при полном высушивании колчедана на месте его получения установка сушилок на сернокислотных заводах необходима, так как при транспорте, хранении, погрузке и выгрузке колчедана всегда возможно его увлажнение.

VI. СЖИГАНИЕ ВЛАЖНЫХ ФЛОТАЦИОННЫХ ХВОСТОВ В ПЕЧАХ ПЫЛЕВИДНОГО ОБЖИГА

Сушильное отделение для колчедана требует не только значительных затрат на оборудование, но и постоянных расходов при эксплуатации, вследствие этого делались неоднократные попытки сжигания флотационного колчедана с влажностью 3—4%.

На Горловском химзаводе опытная установка для сжигания флотационного колчедана с влажностью 3—4% состояла из питателя с кривошипом, устанавливаемым под бункером для колчедана. Из питателя колчедан шнеком подается в вертикальную трубу, на которой установлены последовательно два дезинтегратора. Колчедан падает по трубе вниз в дезинтеграторы, в которых крупные куски разбиваются, а мелкие током горячих газов, нагнетаемых из первого колена газохода от печи, по той же трубе нагнетаются в форсунку печи. Вертикальная труба в тех местах, где установлены дезинтеграторы, имеет обходные трубы. Мелкий колчедан при прохождении вертикальной трубы подсушивается на лету током горячих газов, которыми он нагнетается в форсунки. Вертикальная труба заканчивается внизу бункером, в котором собираются крупные кусочки, не разбитые дезинтегратором. Из этого бункера кусочки эти время от времени удаляются в вагонетку.

На рис. 74 представлена схема описанной установки. При работе по этой схеме происходило забивание шнека 3 влажным колчеданом и слеживание его в бункере 1. Следует шнек 3 укоротить или заменить поршневым питателем, установив его на вертикальной трубе, и приблизить в том и другом случае трубу 4 к

бункеру 1. Чтобы избежать слеживания колчедана в бункере 1, следует установить механизм для постукивания по бункеру или для шевеления колчедана в самом бункере.

Опытные работы на этой установке были приостановлены: отрицательные результаты по нашему мнению получились вследствие указанных выше дефектов.

Произведенными опытами Унихима в 1935 г. на Полевском заводе было установлено, что можно сжигать флотационные хвосты с содержанием влаги 4—6% и даже больше. При сжигании влажных хвостов следует следить за тем, чтобы смесь воздуха с колчеданом, подаваемая в печь, не содержала крупных комочков слежавшегося колчедана. В настоящее время на Полевском заводе по проекту инж. П. А. Максимова одна из трех печей работает на влажном колчедане.

На основании опытов Унихима и работы Полевского завода запроектированы установки для сжигания влажных хвостов и на других заводах.

Такая установка представлена на рис. 75. Влажный флотационный колчедан, поступающий в настоящее время из Красноуральска, содержит 50—60% комочков, слипшихся из мелких частиц колчедана. Диаметр комочков больше 1 мм и естественно, что при такой крупности колчедана горение в печи пылевидного облика будет протекать неудовлетворительно. Для удовлетворительной работы печи диаметр частиц колчедана не должен превышать 0,2—0,3 мм.

Приготовление такой пыли производится посредством предварительного механического разрыхления колчедана в молотковой мельнице и дальнейшего более тонкого разрыхления в пневматической линии. Разрыхленный в мельнице колчедан вагонетками или транспортером или же по течке непосредственно из мельницы поступает в бункер 1, расположенный у печи. Из бункера колчедан ссыпается на тарелку питателя 2. Питатель установлен для дозировки колчедана, подаваемого в печь, и вертикальным патрубком соединен с горизонтальным участком пневматической линии. В этот же участок вентилятором высокого давления нагнетается воздух, который проходит через инжекторное сопло 3. Сопло сообщает воздушному потоку скорость ~ 100 м/сек и создает вакуум перед загрузочным отверстием; этим устраняется возможность утечки воздуха через отверстие и завала колчедана в горизонтальном участке.

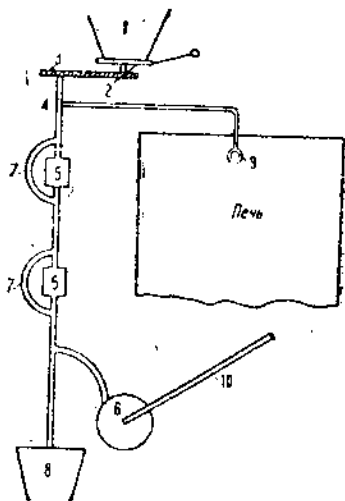


Рис. 74. Схема опытной установки для размола и сушки влажного колчедана:

1 — бункер, 2 — питатель, 3 — шнек, 4 — вертикальная труба, 5 — дзвигатор, 6 — вентилятор, 7 — обводная труба, 8 — бункер крупного колчедана, 9 — форсунка, 10 — газопровод для горячих газов от печи.

Из горизонтального участка смесь воздуха с колчеданом поступает в сепаратор 4. Принцип действия сепаратора состоит в следующем: в вертикальную трубу вдвухается пыль колчедана со скоростью ~ 25 м/сек. Поступивший с большой скоростью колчедан

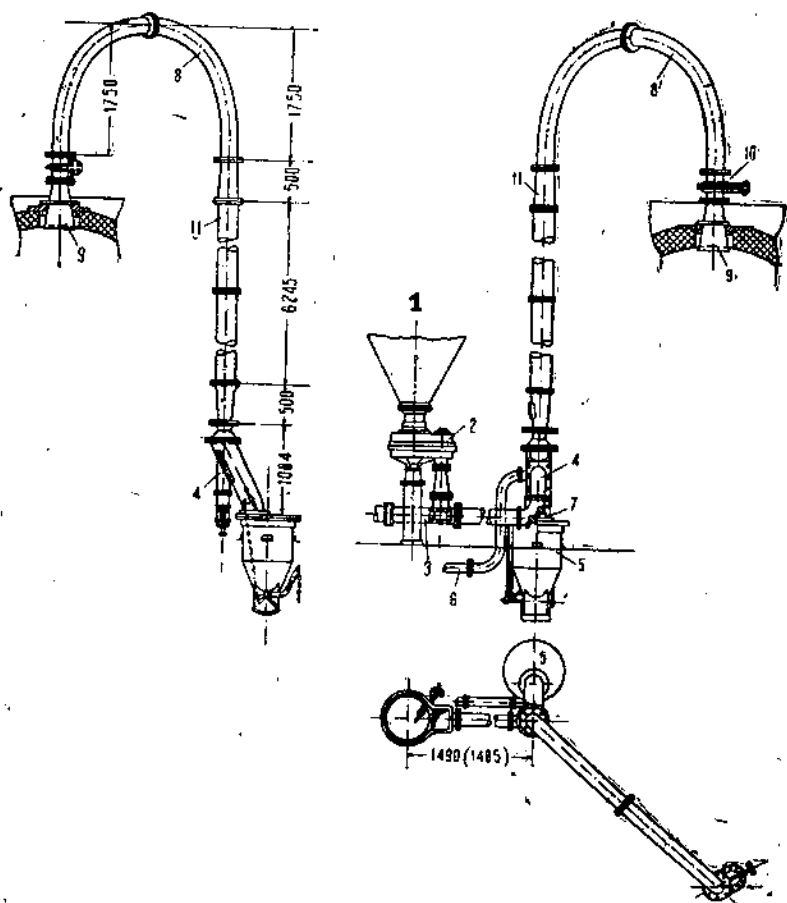


Рис. 75. Установка для сжигания влажных хвостов:

1 — бункер для колчедана, 2 — тарельчатый питатель, 3 — инжектор, 4 — сепаратор, 5 — бункер для крупного колчедана, 6 — труба для дополнительного воздуха, 7 — колено, 8 — двойной отвод, 9 — форсунка, 10 — шибер, 11 — труба.

поднимается на некоторую высоту за счет кинетической энергии. Все крупные частицы, представляющие собой конгломерат тонких, слипшихся пылинок, вследствие меньшей скорости в вертикальной трубе падают вниз и сталкиваются на пути со встречным потоком вновь подающихся частиц. Таким образом крупная частица, прежде чем достигнуть низа трубы и попасть в сепарационный бункер 5, испытывает на пути бесконечно большое количество ударов и, постепенно расщепляясь, превращается в тонкую пыль.

Неразрыхленные частицы через кольцевой зазор сепаратора осепаются в упомянутый бункер. При расширении потока в вертикальной трубе частицы ударяются о стенку и выпадают из воздушного потока, что влечет за собой неудовлетворительную сепарацию. Чтобы избежать этого, в мертвую зону сепаратора вводится дополнительный воздух через трубу 6.

Перед вводом смеси воздуха и колчедана в сепаратор пневматическая линия имеет прямое колено. Практика пневматического транспортирования показала, что в этом месте происходит чрезвычайно сильный износ трубы. В силу этого запроектировано колено 7 со съемной лобовой доской и утолщенной стенкой.

Одновременно с получением тонкой пыли в вертикальной трубе 11 происходит хорошее перемешивание колчеданной пыли с воздухом и образование аэросмеси, готовой для подачи на обжиг в печь. Из вертикальной трубы через двойной отвод 8 аэросмесь поступает в форсунку 9. Для регулирования качества аэросмеси, поступающей в печь, служит шибер 10.

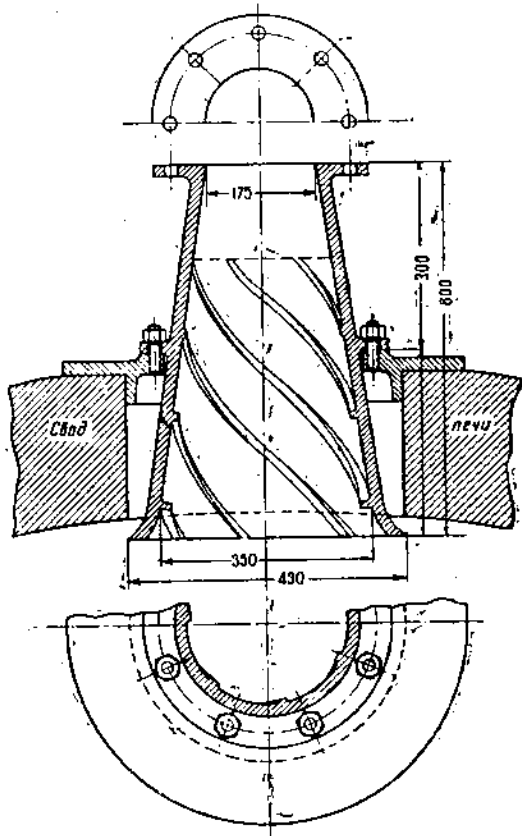


Рис. 76. Форсунка.

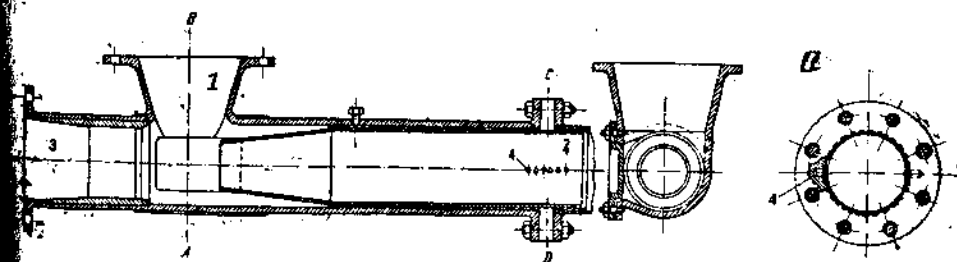


Рис. 77. Инжектор:

1 — воронка, 2 — воздушный конус, 3 — напорный конец для аэросмеси, 4 — штифты.

Поскольку в печь поступает уже готовая аэросмесь, задача форсунки сводится лишь к разбрасыванию смеси возможно равномернее по всему сечению печи, в целях наилучшего использования объема. Этому вполне удовлетворяет принятый на опытной установке тип форсунки, выполненной в форме расширяющегося сопла с винтовыми ребрами по внутренней поверхности. Форсунка (рис. 76) представляет собой усеченный полый конус, установленный фланцем на сводовом кольце печи. Внутри форсунки имеются винтовые ребра, служащие направляющими для аэросмеси.

На рис. 77 представлен инжектор, в котором воздух захватывает колчедан и подает его в виде аэросмеси в печь. Воронкой 1 инжектор присоединяется к трубе, идущей от тарельчатого питателя. Воздух поступает в конец 2 и вместе с колчеданом в виде аэросмеси выходит через конец 3. С помощью штифтов 4 внутренний конус инжектора закрепляется в пужном положении.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ПЕЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

Контроль работы печного отделения состоит в систематических анализах газа, колчедана, огарка и в измерении температуры воздуха, выходящего из вала печей, и температуры газа при выходе из печей.

При печах для пылевидного обжига необходимо постоянно определять количество воздуха, нагнетаемого вентилятором в форсунки и через фурмы в низ печей. В механических печах при их нормальной работе измерение температуры по сводам печей обычно не производят и это делается лишь при отклонении от нормального режима при освоении нового вида сырья и при опытах.

1. АНАЛИЗ СЕРНОГО КОЛЧЕДАНА

1. Отбор проб

Отбор проб рядового колчедана производится во время выгрузки материала из вагонов, барж, грузовиков, подвод и т. д. Взятие средней пробы из выгруженного и сложенного в штабели материала дает меньшую гарантию точности по причине возможного изменения содержания влаги, возможного расслоения материала по удельному весу, по величине отдельных кусков и т. п. Необходимо обратить внимание на то, чтобы соотношение между количеством больших кусков и мелочи в пробе соответствовало такому же соотношению всего материала.

Проба отбирается через равные промежутки из вагонеток с ленточного транспортера, из тачек и т. д. с таким расчетом, чтобы общее количество отобранной пробы было не меньше 200 кг. При больших партиях колчедана от каждого вагона отбирается по 40 кг;

от каждой десятой подводы по 10 кг; от баржи на каждые 100 т 200 кг. От партий различных разработок отбираются отдельные пробы.

Все отобранное количество колчедана измельчается в помещении, специально приспособленном для приготовления средних проб колчедана. Дробление производится до размеров кусков, которые полностью проходят через сито с отверстиями 25 мм. Затем материал тщательно перемешивается. Для взятия лабораторной пробы из отобранного материала пользуются делителем, представляющим собой ящик, дно которого имеет ряд параллельных между собой щелей. Материал проваливается в щели и отводится желобами из четных щелей в одну сторону ящика, а из нечетных — в другую в подставленные под желоба приемники. Затем материал из одного приемника отбрасывается, а из другого пропускается через тот же делитель во второй, третий раз и т. д. до получения средней пробы около 10 кг весом.

После этого проба направляется в лабораторию, где немедленно подвергается дальнейшей обработке: измельчается в лабораторной шаровой мельнице до размера зерен не более 1 мм, тщательно перемешивается и распределяется ровным слоем на квадратном металлическом листе. Квадрат двумя диагоналями делится на четыре треугольника и материал из двух противоположных треугольников отбрасывается. С остатком повторяется та же операция квадрирования до тех пор, пока от всей взятой вначале пробы останется ~ 1 кг. Тогда, вновь рассыпая материалы по прямоугольнику, отбирают в разных местах ложечкой ~ 100 г для определения влажности. Остаток пробы измельчают до размера зерен, целиком проходящих через сито со 100 отверстиями на 1 см². Измельченную пробу перемешивают и расстилают на прямоугольной металлической поверхности ровным слоем. Рядом перпендикулярных линий разделяют площадь на квадратики, из которых ложечкой отбирают равные количества колчедана, чтобы пробы получилось 300 г. Это количество растирают в агатовой ступке.

Практическим признаком конца истирания пробы служит способность тонко измельченного материала втираться в кожу руки. Если при этом не остается ощущаемых крупинок, истирание можно считать законченным. Этим оканчивается операция по приготовлению проб для анализа колчедана на содержание серы, меди, мышьяка и селена.

Пробу помещают в банку с притертой пробкой, банку снабжают соответствующей надписью.

2. Определение влаги

Отобранную специальную пробу на влагу немедленно подвергают анализу. Для этого берут в сушильный стаканчик навеску ~ 20—30 г, точно взвешивают и сушат при температуре 105° в сушильном шкафу до постоянного веса. Зная вес стаканчика, по

разности результатов взвешиваний до и после высушивания определяют содержание влаги в навеске колчедана

$$\% \text{H}_2\text{O} = \frac{(A - B) \cdot 100}{A - C},$$

где A — вес стаканчика с пробой до сушки;

B — вес стаканчика с пробой после сушки;

C — вес пустого стаканчика.

3. Определение серы в колчедане

0,5 г тонко измельченного и просеянного порошка пирита растворяют в 10 см³ царской водки, приготовленной из трех объемов HNO_3 (уд. вес 1,4) и одного объема HCl (уд. вес 1,19). Растворение ведут при осторожном нагревании. Если при этом выделяется элементарная S , ее окисляют щепоткой бертолетовой соли.

Раствор выпаривают досуха, прибавляют 5 см³ HCl и опять выпаривают. Остаток смачивают 1 см³ HCl , прибавляют 100 см³ воды, нагревают до растворения FeCl_3 и осаждают Fe аммиаком, прибавляя его до слабого запаха, затем еще 4—5 см³ 2*N* раствора аммиака. Нагревают до 70° и оставляют при этой температуре 15 мин. для отстаивания осадка. Декантируют через скорофильтрующий фильтр, плотно прилегающий к воронке. Осадок переносят на фильтр и промывают тонкой, но сильной струей кипящей воды так, чтобы не образовалось комков и трещин. Промывают до полного исчезновения в промывной воде реакции на H_2SO_4 . Фильтрат нейтрализуют по метилоранжу, прибавляют 1 см³ HCl и упаривают до 300 см³. Нагретый до кипения раствор осаждают 20 см³ 10%-ного раствора BaCl_2 , разбавленного 100 см³ воды и нагретого до кипения, приливая к раствору BaCl_2 .

Через полчаса осадок BaSO_4 отфильтровывают через плотный фильтр, осадок промывают сначала декантацией, потом на фильтре горячей водой до исчезновения реакции на хлор, фильтр с осадком (еще мокрый) сжигают в платиновом тигле и прокаливают слабо при хорошем доступе воздуха, охлаждают и взвешивают. 1 г BaSO_4 соответствует 0,1373 г S .

Примечание. При производстве анализов по методу Лунге всякие отступления от него влекут ошибки.

Определяя серу по способу Лунге, мы определяем и часть серы, находящуюся в виде сульфата, поэтому нередко определяют полезную серу, т. е. лишь ту серу, которая способна при процессе обжига окисляться до SO_2 или до SO_3 .

По способу Зувльковского для определения полезной серы серный колчедан сжигают в кварцевой трубке в струе кислорода и выделяющийся SO_2 поглощают перекисью водорода с образованием кислоты по реакции



Количество полученной серной кислоты определяется титрованием ее щелочью.

Для быстрого, но менее точного определения серы в колчедане пользуются методом проф. Иольсона. Из растертой и просеянной пробы колчедана берется в бюксу (алюминиевую) или чашку $\sim 1\text{--}2$ г его без взвешивания и высушивается в течение 15—20 мин. в сушильном шкафу, нагретом до $120\text{--}130^\circ$.

Высушенная проба охлаждается на воздухе и из нее берется во взвешенном тигле на аналитических весах навеска, равная точно 0,16 г. Тигель с навеской прокаливается в течение 30 мин. на горелке или в печи, охлаждается и взвешивается. Потери в весе, умноженные на 100, дают процентное содержание серы.

Этим методом выполняются сменные анализы колчедана. В декадных же пробах определение серы производится методом Лунге.

Результаты, получаемые этим методом, отклоняются от результатов, получаемых по Лунге, на $\pm 1\%$.

4. Определение меди

Измельченную навеску колчедана ~ 5 г растворяют в химическом стакане емкостью $\sim 300\text{ см}^3$ в $20\text{--}25\text{ см}^3$ крепкой азотной кислоты (уд. в. 1,4) и после растворения выпаривают досуха; затем приливают в стакан $10\text{--}15\text{ см}^3$ крепкой соляной кислоты (уд. в. 1,19) и выпаривают досуха. Обработку осадка крепкой соляной кислоты с последующим выпариванием производят дважды. После этого приливают в стакан 5 см^3 крепкой соляной кислоты и $\sim 200\text{ см}^3$ дистиллированной воды и нагревают до полного растворения осадка. Содержимое стакана переводят в градуированную колбу на 500 см^3 , нагревают ее до $60\text{--}70^\circ$ и осаждают полуторные окислы аммиаком, приливая его до неисчезающего слабого запаха. Охлаждают колбу до нормальной температуры, доливают водой до метки и перемешивают. Через сухой беззольный фильтр отфильтровывают $300\text{--}400\text{ см}^3$ раствора и точно измеренное количество (250 см^3) вливают в коническую колбу, куда прибавляют также 15 см^3 уксусной кислоты (5%-ной), $3\text{--}4$ г иодистого калия и $2\text{--}3\text{ см}^3$ крахмального раствора. Выделившийся иод оттитровывают $0,1\text{ N}$ раствором гипосульфита.

Процентное содержание меди в колчедане вычисляется по формуле:

$$\% \text{ Cu} = \frac{1,2714 \cdot A}{B},$$

где A — число см^3 $0,1\text{ N}$ раствора гипосульфита, израсходованного на титрование иода;

B — навеска колчедана в граммах.

5. Определение мышьяка

Способ Рейха и Мак-Кея. Определение мышьяка в колчедане не обязательно для повседневного контроля.

Навеску тонко измельченного колчедана в количестве $\sim 0,5$ г растворяют в крепкой азотной кислоте в фарфоровом тигле. Удаляют нагреванием избыток азотной кислоты (но не досуха), прибавляют 4 г соды и выпаривают досуха на песчаной бане. Затем прибавляют 4 г селитры (NaNO_3) и оплавливают с таким расчетом, чтобы масса пробы была в состоянии спокойного плавления 10 мин. После этого сплав выщелачивают горячей водой. Раствор фильтруют и подкисляют небольшим количеством HNO_3 , затем кипятят раствор достаточно долгое время, чтобы полностью удалить углекислоту. Прибавляют несколько капель метилоранжа, затем несколько см³ раствора AgNO_3 и точно нейтрализуют разбавленным раствором аммиака. Отфильтрованный осадок, содержащий весь мышьяк в виде Ag_3AsO_4 , промывают и растворяют в слабой HNO_3 , после чего раствор выпаривают в платиновой чашке, остаток высушивают и взвешивают.

1 ч. Ag_3AsO_4 отвечает 0,1620 ч. As.

6. Определение содержания органических примесей в углистых колчеданах

Органические примеси в колчедане, во избежание пользования сложным методом элементарного анализа, определяются следующим способом, достаточно точным для технических целей.

Навеску высушенного колчедана прокамливают в фарфоровом тигле до постоянного веса (до полного удаления углерода в виде CO_2 и всей полезной серы в виде SO_2 и SO_3). Тигель охлаждают в эскикаторе и взвешивают.

Вычисляют процент безводного и беззольного угля по формуле:

$$P_c = (N + 0,3745 \cdot P_s) - P_s,$$

где N — процент потери при прокаливании колчедана;

P_s — процент серы в колчедане;

$0,3745 \cdot P_s$ — количество кислорода, необходимого для окисления Fe в Fe_2O_3 .

Примечание. Количество кислорода, потребное для окисления Fe в Fe_2O_3 , вычисляется, исходя из предположения, что железо в колчедане целиком связано с серой в виде FeS_2 . Тогда количество железа в колчедане будет $0,871 \cdot P_s$. Так как для окисления 1 г железа в Fe_2O_3 требуется

$$\frac{3 \cdot 0}{2 \cdot \text{Fe}} = \frac{48}{111,78} = 0,43 \text{ г кислорода,}$$

то для $0,871 \cdot P_s$ железа необходимо

$$0,43 \cdot 0,871 P_s = 0,3745 \cdot P_s \text{ кислорода.}$$

II. АНАЛИЗ КОЛЧЕДАНА И ОГАРКА ПЕЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

Анализы колчедана и огарка обычно производятся в общезаводской лаборатории.

Анализ колчедана производится общий для всего печного отделения раз в смену или в сутки по методу проф. Иольсона.

В декадных же пробах определение серы производят методом Лунге.

По декадным анализам и весу колчедана определяется количество серы, сожженной в печном отделении в течение месяца. Отбор проб серного колчедана производят в зависимости от того, как устроена подача колчедана к печам: или из каждой вагонетки, направляемой в печное отделение, или с ленты транспортера по всей ее ширине, через каждый час.

Пробы отбирают специальной меркой емкостью 1 кг. Проба собирается в ящики в течение всей смены и по окончании направляется в лабораторию, где из нее отбирается лабораторная проба для анализа. Отбор лабораторной пробы и анализ производится, как это описано выше (см. анализ колчедана, стр. 236). Из притотовленного 1 кг лабораторной пробы отбирают 20—30 г колчедана для декадного анализа.

Отбор пробы огарка производится ежечасно от каждой печи. Отобранная проба в количестве 1 кг сыпается в обитый железом ящик с крышкой. Ящик имеет тот же номер, что и печь. Собранный в течение смены проба отправляется в лабораторию, где из нее отбирают 25 г огарка для декадной пробы; остаток пробы измельчают до размера зерен, проходящих через сито со 100 отверстиями на 1 см², и подвергают дальнейшей обработке аналогично пробам колчедана.

Определение серы в огарке производят раз в сутки от каждой печи. При большом количестве печей и нормальной их работе можно производить анализ, общий для нескольких печей.

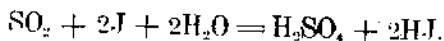
Для определения серы в огарке 1 г измельченного огарка смешивают в фарфоровом тигле с 4—5 г смеси, состоящей из шести частей Na₂CO₃ и одной части KClO₄, и сплавляют на маленьком пламени горелки в течение 30—35 мин., постепенно повышая пламя до красного каления дна тигля. После сплавления тигель переносят в стакан и выплавляют горячим 10%-ным раствором NaCl. Полученный раствор фильтруют через сухой фильтр, нагревают до кипения и осаждают SO₄ кипящим раствором BaCl₂, как это описано при определении серы в колчедане.

III. АНАЛИЗ ПЕЧНОГО ГАЗА

1. Определение SO₂

В печных газах определяют содержание SO₂, SO₃, O₂ и пыль. Для определения сернистого газа пользуются методом и прибором Рейха, а также автоматическими газоанализаторами МОНО.

Метод Рейха. Метод Рейха основан на реакции окисления SO₂ йодом по уравнению:



Прибор состоит из поглотительного сосуда А (рис. 78), аспиратора В и измерительного цилиндра С емкостью 250 см³. Со-

сосуды *A* и *B* соединены между собой резиновой трубкой. Сосуд *A* также соединен резиновой трубкой с газоходом, из которого засасывается газ для анализа. В точках *E* и *D* имеются зажимы.

Перед производством анализа необходимо прососать резиновой грушей анализируемый газ через подводящую трубку. Наливают в сосуд *A* 100 см³ воды, 10 см³ 0,1 *N* раствора иода и 1 см³ крахмального раствора. Сосуд *A* плотно закрывают пробкой и открывают зажим *D*. При этом из аспиратора *B* вытечет немного воды,

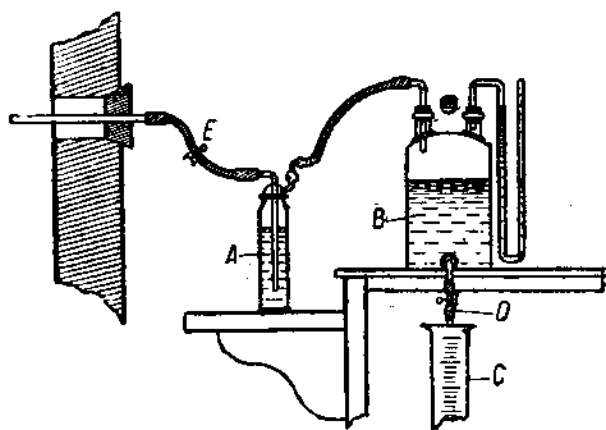


Рис. 78. Прибор Рейха:

— поглощающий сосуд, *B* — аспиратор, *C* — измерительный цилиндр, *D* и *E* — зажимы.

которую выливают. После этого подставляют под открытую трубку аспиратора пустой измерительный цилиндр *C* и слегка открывают зажим *E*, так чтобы скорость проходящего газа составляла 2—3 пузырька в секунду. Газ пропускают до обесцвечивания раствора иода, после чего зажим *E* закрывают.

Когда вода перестанет вытекать из аспиратора, закрывают зажим *D* и отсчитывают количество воды в измерительном цилиндре

$$\% \text{ SO}_2 = \frac{1095}{x + 10,95},$$

где *x* — количество вытекшей воды из аспиратора в см³. Если количество воды, вытекшей из аспиратора, равно 128 см³, то

$$\% \text{ SO}_2 = \frac{1095}{128 + 10,95} = 7,88\%.$$

Эту величину можно получить расчетным путем. Согласно реакции окисления SO₂ иодом для обесцвечивания 10 см³ 0,1 *N* раствора иода (0,12692 г) должно пойти 0,03203 г SO₂, которые при 0° и 760 мм занимают объем 10,95 см³. Следовательно на обесцвечивание в нашем случае пошло 128 см³ инертного газа и 10,95 см³ SO₂, а всего прососанного газа по трубке будет 128 + 10,95 = 138,95 см³, в котором находилось 10,95 см³ SO₂, что в объемных процентах даст

$$\frac{10,95 \cdot 100}{138,95} = 7,88\%.$$

Полученные таким образом результаты несколько не точны, так как при вычислении не принято во внимание давление и температура в аспираторе. При точных вычислениях необходимо привести объем V пропущенного в аспираторе газа к нормальным условиям, т. е. к 0° и давлению 760 мм рт. ст., для этого в пробке аспиратора имеются два отверстия — через одно вставляют термометр и через другое стеклянную трубку, соединяющуюся с U-образным манометром. Зная температуру t и давление газа B в аспираторе, объем газа при нормальных условиях вычисляют по формуле:

$$V_0 = \frac{V(P - B - W) \cdot 273}{760[273 + (\pm t)]},$$

где V — объем газа в аспираторе в см^3 в условиях опыта;
 P — барометрическое давление;
 W — давление водяных паров при температуре опыта;
 B — разрежение в аспираторе в мм рт. ст.;
 t — температура в аспираторе в $^\circ\text{C}$.

Анализ газа по Рейху несложен — на ряде заводов его выполняют не только лаборанты, но и опытные рабочие.

Газоанализатор MOHO . В последние годы для анализа SO_2 , находящегося в печных газах, применяют автоматические газоанализаторы MOHO . Эти аппараты показывают содержание SO_2 в газах в объемных процентах через каждые 4—6 мин. и показания наносят на бумажную ленту.

На рис. 79 представлена схема газоанализатора MOHO для определения SO_2 . Вода или сжатый воздух под давлением 0,5 ат поступает через край 1 и пробирку 2 в сосуд 3, который содержит ртуть. Давлением сжатого воздуха (или воды) ртуть вытесняется из сосуда 3 в трубки 4, 5, 12 и 11. Трубка 4 соединена с шарообразной бюреткой 10, которая служит для определения объема анализируемого газа. Трубка 5 имеет отросток, сообщаящийся с атмосферой. Пробирка 2 занимает в колбе 3 такое положение, при котором ртуть в трубке 11 всегда поднимается несколько выше, чем в трубках 5 и 12. При увеличении давления ртуть вытесняется из пробирки 2 через трубку 11 и стекает по трубке 12. После того как вся ртуть вытеснена из трубки 11, через нее весь аппарат получает сообщение с атмосферой и давление в сосуде 3 соответствует атмосферному. Тогда ртуть в трубках 4 и 5 опускается и опять постепенно заполняет сосуд 3. Часть ртути заполняет пробирку 2, в которой для этой цели на уровне верхней части сосуда 3 имеются отверстия 23. Вследствие этого нижний конец трубки 11, опущенный в пробирку 2, запирается ртутью, сообщение с атмосферным воздухом прекращается, в сосуде 3 давление вновь начинает возрастать и описанный цикл снова повторяется.

Попеременное (пульсирующее) автоматическое, т. е. то повышающееся, то понижающееся движение ртути используют для

засасывания определенного объема анализируемого газа и проталкивания его через раствор жидкости, способной поглотить из газа весь SO_2 .

Засасывание газа из трубки 7, соединенной например с газопроводом, происходит тогда, когда в шарообразной бюретке 10 ртуть начнет опускаться. В этот период анализируемый газ проходит через ртутный запор 6 и через трубку 8 поступает в бюретку 10.

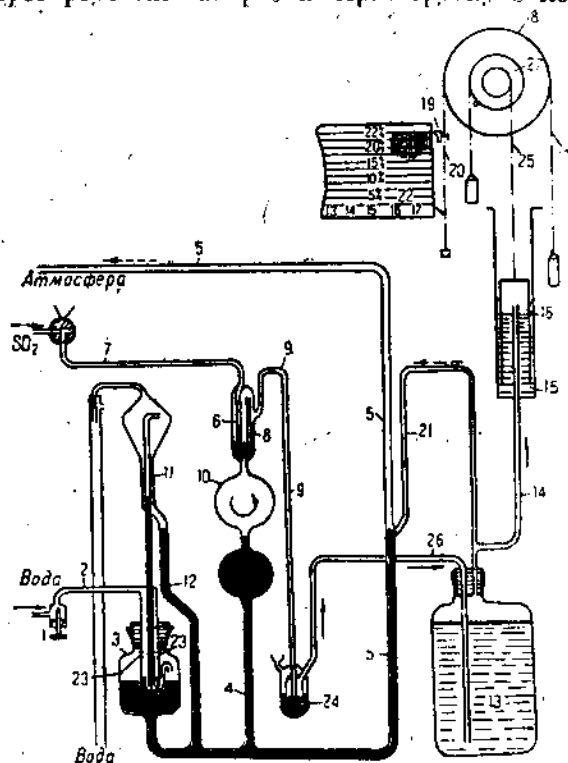


Рис. 79. Газоанализатор МОНО:

1 — кран, 2 — пробирка, 3 — сосуд, 4 и 5 — трубки, 6 — ртутный запор, 7, 8 и 9 — трубки, 10 — бюретка, 11 и 12 — трубки, 13 — поглотительный сосуд, 14 — трубка, 15 — сосуд, 16 — газометр, 17 — цепочка, 18 — блок, 19 — штифт, 20 — цепочка, 21 — трубка, 22 — лента, 23 — отверстия, 24 — ртутный запор, 25 — цепочка, 26 — трубка, 27 — блок.

с блоком 27 укреплен блок большего диаметра 18, который также вращается совместно с блоком 27. Через блок 18 перекинута цепочка 17—20 со штифтом 19, который вычерчивает прямую вертикальную линию на бумажной ленте 22. Эта лента намотана на вертикально поставленный ролик; другой конец ленты наматывается на другой ролик, медленно вращающийся посредством часового механизма. Отрезок вычерченной линии соответствует сумме всех газов, кроме SO_2 . При засасывании из трубки 7 анализируемого газа в бюретку 10 трубка 21 полу-

В период поднятия ртути в бюретке 10 газ выдавливается из нее через трубку 9, ртутный запор 24 и трубку 26 в поглотительный сосуд 13, наполненный каким-либо раствором, способным поглотить только SO_2 , содержащийся в анализируемом газе. В качестве такого раствора применяют например NaOH или $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Все остальные газы (кроме SO_2) не поглощаются и по трубке 14 поступают в газометр 16, который погружен в сосуд 15, наполненный глицерином.

При входе газа в газометр последний поднимается вверх и, будучи соединен металлической цепочкой с блоком 27, вращает его. На одной оси

чает сообщение с атмосферой, газометр 16 опускается в свое первоначальное положение и аппарат снова готов для нового анализа. На ленте 22 вычерчивается прямая линия, высота которой равна высоте поднятия колокола 16 газометра: чем больше в анализируемом газе содержится SO_2 , тем меньше газа поступает в газометр и тем меньше будет высота вычерченной линии на ленте. Если в анализируемом газе совершенно отсутствует SO_2 , колокол 16 поднимается на максимальную высоту и вычерченная линия займет всю ширину ленты, а конец ее будет на 0 диаграммы. Таким образом процент SO_2 в анализируемом газе определяется не высотой вычерченной на ленте линии, а тем отрезком, который на ленте остался невычерченным.

Газ засасывается в аппарат через фильтр, который устанавливается у места забора газа и имеет целью очистить газ от пыли. Фильтр наполняется стеклянной ватой. Вода, поступающая в аппарат и используемая для засасывания газа, также проходит фильтр, где очищается от механических примесей. Анализируемая часть аппарата заключена в металлический шкаф, постоянно закрытый при работе.

2. Определение O_2

Определение кислорода производится поглощением его щелочным раствором пирогалловой кислоты или желтым фосфором в аппаратах Орса. Сначала поглощают в том же аппарате кислые газы раствором щелочи (едкое кали); пусть их будет по объему $a\%$; затем производят поглощение кислорода. Если общий объем поглощенных газов будет $b\%$ по объему, то содержание кислорода по объему равно $(b - a)\%$.

Определение кислорода в печных газах для повседневного контроля не производится.

Аппарат Орса (рис. 80) состоит из деревянного футляра, в котором расположены следующие части прибора: цилиндр B емкостью в 100 см³, градуированный на 100 равных частей; склянка N для воды, соединенная каучуком с цилиндром B , три U-образных трубочки с цилиндриками I , II , III . Один из цилиндрических концов U-образной трубочки соединен через кран и стеклянную трубочку с цилиндром B , другой цилиндрик открытый. Через стеклянную трубочку с краном h , имеющим три хода, цилиндр B и U-образный сосуд могут быть соединены либо с наружным воз-

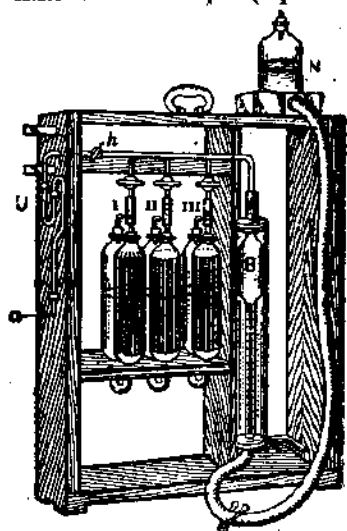


Рис. 80. Прибор Орса:
I, II, III — U-образные трубочки, B — цилиндр, N — сосуд с водой, a — конец трубки, h — кран.

духом, либо с газоходом. Газоход через каучук соединяется с концом *а*. Цилиндрик U-образной трубки, над которым расположен кран, наполняется кусочками желтого фосфора, второй цилиндрик наполняется керосином или водой.

В начале работы повертывают кран *h* таким образом, что цилиндр *В* соединяется с воздухом. Открывают зажим на каучуке от сосуда *N*; вода, заполняя сосуд *В*, вытеснит из него воздух в атмосферу. Как только уровень воды в цилиндре *В* достигнет верхней черточки, зажим закрывают. (При приближении уровня воды к верхней нулевой черточке воду в цилиндр *В* впускают осторожно, так как пропускать воду выше этой черточки нельзя.) Опускают сосуд *N* вниз и открывают кран над сосудом с фосфором (в том случае, когда кусочки фосфора не залиты жидкостью из смежного с ним сосуда). Отжимают зажим. Вода из цилиндра *В* стекает в сосуд *N*, а сосуд с фосфором начинает заполняться жидкостью.

Как только уровень жидкости, заполнившей цилиндр с фосфором, дойдет до черточки, нанесенной на горлышке этого сосуда, кран над фосфором закрывают. Наполняют опять цилиндр *В* водой, выпуская воздух через кран *h*. В таком положении держат прибор постоянно. Соединяют цилиндр *В* через кран *h* с газоходом и спускают воду из цилиндра *В* в сосуд *N* до нижней черты цилиндра *В*. На место воды в цилиндр *В* войдет газ из газохода. Так как в соединительных трубках находится воздух, то последний примешивается к газу; чтобы избежать этого, первую порцию засосанного воздуха выталкивают из аппарата через кран *h* в атмосферу. То же самое проделывают еще два раза.

Набранная в цилиндр *В* четвертая порция газа будет уже без всяких примесей и одинакова по своему содержанию с газом, идущим по газоходу. Выключают кран *h* и отъединяют таким образом цилиндр *В* от газохода и наружного воздуха. Затем открывают кран над сосудом с фосфором и, подняв сосуд *N* вверх, открывают зажим: газ из цилиндра *В* потечет в сосуд с фосфором, вытесняя оттуда жидкость. Как только газ коснется фосфора, начнут выделяться белые пары, указывающие на происходящую реакцию поглощения фосфором кислорода. Доведя уровень воды в цилиндре *В* до верхней черточки, закрывают зажим и кран над фосфором. Дают газу и фосфору прореагировать в течение 3—4 мин. О конце реакции судят по исчезновению белых паров над фосфором. Опускают сосуд *N* вниз, открывают зажим на каучуке и кран над фосфором. Газ начинает переходить в цилиндр *В*, а сосуд с фосфором заполняется жидкостью из смежного цилиндра. Как только жидкость в сосуде с фосфором дойдет до верхней черточки на шейке сосуда, кран закрывают. Подносят сосуд *N* к цилиндру *В* и устанавливают уровни воды в этих сосудах на одной горизонтали, после чего зажимают зажим. Оставшееся в цилиндре *В* количество воды в куб. сантиметрах равно процентному содержанию кислорода в исследуемом газе.

3. Определение пыли и SO_2

Определение пыли

Пыль в газе определяется пропусканием определенного объема газа через набитый стеклянной ватой стаканчик с дырками в дне. Стаканчик размером 50×20 мм помещается в железный патрон с конической крышкой. В центре крышки имеется отверстие в 8 мм. От дна патрона идет железная труба к аппарату. Патрон с трубой вставляют в газопровод таким образом, чтобы отверстие в крышке было против потока газа. Схема установки представлена на рис. 81.

Установив прибор с помощью аспиратора, начинают пропускать газ с такой скоростью, чтобы в отверстии крышки патрона эта скорость равнялась скорости газа в газопроводе. Для улавливания достаточного количества пыли приходится пропускать 80—100 л газа. Для собранного в аспираторе газа записывается температура и разрежение для приведения их к нормальным условиям. По окончании пропускания газа железная труба вместе с патроном вынимается из газопровода: стаканчик с ватой до и после опыта высушивается в эксикаторе до постоянного веса и взвешивается. Количество пыли в г/м³ будет равно:

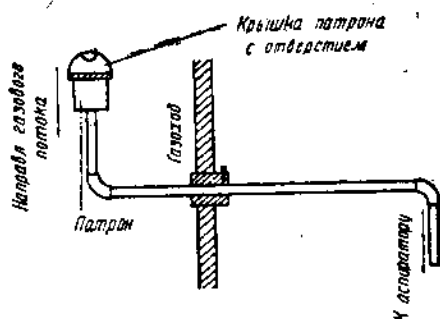


Рис. 81. Прибор для определения пыли в газе.

$$\frac{(P_2 - P_1) 1000}{V_0},$$

где P_1 — вес стаканчика до пропускания газа в г;

P_2 — вес стаканчика после пропускания газа в г;

V_0 — объем газа, собранный в аспираторе при нормальных условиях, в л.

При отсасывании газа аспиратором трудно достигнуть нужной скорости в крышке патрона. При заборе пыли со скоростью меньшей, чем скорость пыли в газопроводе, измерения дают преувеличенный результат, в обратном случае — преуменьшенный. Значительно удобнее для отсоса газа применять воздушный насос, производя измерения количества газа газовыми часами.

Определение SO_2

Для определения SO_2 в газе пользуются свойством гигроскопической ваты удерживать туман H_2SO_4 . Газ из газопровода по отдельной капиллярной (с диаметром 0,5 мм) трубке поступает в

стеклянную трубку диаметром 25 мм, длиной 400 мм, туго набитой 5—6 тампонами ваты; другой конец трубки соединен с аспиратором. Первый тампон гигроскопической ваты смачивается дистиллированной водой. Пройдя первый тампон, газ насыщается водяными парами, давая туман H_2SO_4 , который и задерживается на последующих тампонах. После пропускания определенного объема газа (замеренного в аспираторе при данной температуре и данном разрежении) вата из трубки вынимается в стакан и трубка тщательно промывается. Промывные воды вместе с ватой первоначально титруются иодом для определения частично задержанного ватой SO_2 , а затем щелочью для определения H_2SO_4 , как удержанной в виде тумана, так и полученной при окислении иодом. Количество H_2SO_4 в газе в $г/м^3$ определяется по формуле:

$$H_2SO_4 \text{ г/м}^3 = \frac{1000 \cdot a}{V_0 + b + c},$$

где a — количество H_2SO_4 (мологидрат), задержанной ватой в виде тумана, в г; здесь a есть разность между величинами, определенными титрованием щелочью и иодом;

V_0 — объем газа, собранного в аспираторе при нормальных условиях, в л;

b — количество литров SO_2 , определенных титрованием иодным раствором;

c — количество SO_2 , задержанного ватой в виде тумана H_2SO_4 , в л.

IV. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕЧНЫХ ГАЗОВ

Измерение температур в печи и газоходах производится ртутным термометром и термоэлектрическим пирометром. Ртутные термометры употребляются обыкновенно для измерения температуры воздуха после охлаждения вала и гребков.

Термоэлектрические пирометры состоят из двух проволок разных металлов, называемых термопарой. Два конца этих проволок, которые помещаются в печь или газоход, спаяны между собой, а два других конца посредством проводов присоединяются к гальванометру.

Для измерения температур газа, выходящего из печи, употребляют термоэлектрические пирометры с железо-константановой (сплав меди с никелем) термопарой, которая дает возможность измерять температуру до 800° . Для измерения более высоких температур употребляют термопары с никель-никельхромовой (сплав никеля и хрома) термопарой, с помощью которой измеряют термопару до 1100° .

Для изоляции проволок термопары (одна от другой) на них насаживают фарфоровые цилиндрики, после чего для предохранения термопары от поломки и порчи ее заключают в фарфоровый или кварцевый или же железный никелированный патрон.

При пользовании пирометрами, во избежание ошибок при измерении, необходимо иметь в виду следующее:

1. Гальванометр показывает не температуру, а разность между температурой у спая и у наружных концов проводов. Поэтому в том случае когда температура в помещении, где производится измерение гальванометром, отличается от той, при которой был выверен прибор, необходимо в показания гальванометра вносить поправку.

Истинная температура $T_1 = T + (t_1 - t)$, где T — температура, показанная гальванометром; t — температура градуировки; t_1 — температура холодных концов термопары.

2. На гальванометре должно быть указано:

- а) температура и положение, при которых была произведена градуировка;
- б) полное сопротивление гальванометров;
- в) сопротивление его рамки.

3. При присоединении гальванометра в зажимах должен быть достигнут полный контакт и вся проводка должна быть в исправном состоянии.

4. После отклонения стрелка гальванометра должна точно возвращаться в нулевое положение.

5. Термопара должна быть погружена возможно глубже в газопоток.

6. Точка спая термопары (горячий конец ее) должна соприкасаться с измеряемым газом раньше других частей термопары.

Суммарная ошибка термоэлектрического пирометра в нормальных условиях установки не превышает 2%.

При печах большой производительности и в особенности при печах пылевидного обжига следует устанавливать стационарные пирометры с самопишущими приборами.

Измерение температуры воздуха, охлаждающего вал и гребки, должно производиться систематически и регулярно. Высокая температура воздуха показывает на плохое охлаждение, вследствие чего возможны поломки печи.

Причинами высокой температуры могут быть: недостаточная подача воздуха вентилятором, засорение воздухопроводов или гребков, уменьшение давления, под которым подается охлаждающий воздух в печь.

V. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОВ В ГАЗОХОДАХ

Для определения давления, разрежения, скорости и количества воздуха в газоходах и воздухопроводах служат описываемые ниже приборы.

Тягомеры или манометры показывают, насколько давление в аппаратах больше или меньше атмосферного. Простейший тягомер (рис. 82) представляет собой изогнутую стеклянную трубку, один конец которой соединяется с аппаратом или газоходом, а второй остается открытым.

Если в аппарате давление равно атмосферному, то жидкость в обоих коленях остается на одном и том же уровне. На рис. 82 изображен такой случай, когда тягомер показывает в аппарате 11,5 см разрежения.

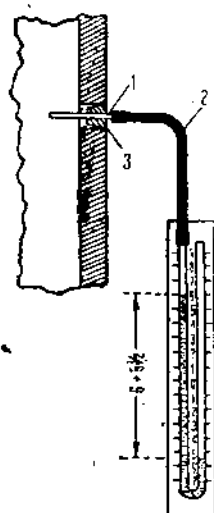


Рис. 82. Тягомер.

Трубочка 1 должна входить перпендикулярно к стенке аппарата и иметь ровные края. Тягомер соединяется резиновой трубкой 2 с входящей в газоход стеклянной или металлической трубкой. При измерениях пробка 3 должна плотно вставляться в соответствующее отверстие в газоходе. При небольшом разрежении или давлении (0,5—2,5 мм вод. ст.) тягомером, представленным на рис. 82, нельзя точно произвести измерение. В этом случае пользуются наклонным тягомером Крелля (рис. 83).

Точность измерения в этом приборе зависит от наклона измерительной трубки и поэтому прибор снабжается уровнем, которым колодка прибора устанавливается в горизонтальном положении. Тягомер наполняется водой, керосином или спиртом. Для того чтобы показания тягомера, наполненного какой-либо жидкостью,

выразить в мм вод. ст., следует высоту жидкости умножить на ее удельный вес.

Для измерения скорости потока воздуха или газа применяют прибор Пито (рис. 84).

Прибор Пито состоит из двух трубок, вставляемых в газоход, один конец первой трубки изогнут под прямым углом к диаметру газохода, у второй он оставлен незагнутым. Трубки соеди-

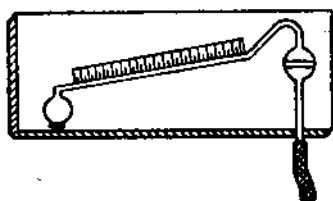


Рис. 83. Наклонный тягомер.

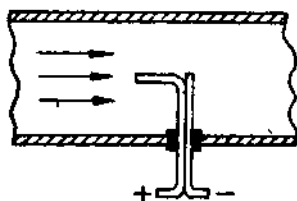


Рис. 84. Прибор Пито.

няются другими концами с помощью каучуковых трубок с тягомером. Первая трубка показывает суммарное давление, состоящее из двух величин: динамического давления, необходимого для сообщения газовому потоку скорости, и статического давления, необходимого для преодоления сопротивлений в трубопроводе (трение, повороты и т. д.). Вторая трубка показывает лишь статическое давление. Разность давлений h позволяет судить о динамическом напоре и соответствующей ему скорости газа в данном пункте.

Динамический напор и скорость связаны известным уравнением:

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

где h — динамическое давление в мм вод. ст. ($\text{кг}/\text{м}^2$);

γ — вес 1 м^3 газа в кг ;

v — скорость газа в $\text{м}/\text{сек}$;

g — ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м}/\text{сек}^2$.

Расчетная формула для скорости газа такова:

$$v = k \sqrt{\frac{2gh}{\gamma}},$$

где k — коэффициент, зависящий от конструкции измеряющего прибора. С достаточной степенью точности k может быть принято равным 1.

Так как скорость в газоходе меньше у стенок, то при точных измерениях сечение газохода (круглого) разбивается на ряд колец равновеликой площади. Вдвигая прибор в газоход, определяют скорость в каждом кольце. Расстояние точки замера от оси газохода определяется по формуле

$$r_n = R \sqrt{\frac{2n-1}{m}},$$

где r_n — расстояние точки замера в каждом кольце от оси;

R — радиус газохода;

n — порядковый номер кольца;

m — число колец, на которое разбит газоход.

Для изменения r_n на приборе наносятся деления. Прибор вставляется в газоход через тугий сальник. На приборе имеется продольная черта, соответствующая метке на сальнике и служащая для сохранения параллельности измерительной головки газовому потоку.

Погрешность измерения этим прибором не превышает 1% при условии, если измерительная головка установлена точно параллельно газовому потоку и сечение трубок не превышает 3% площади сечения газохода.

Для воздуха приведенная выше формула при замене в ней γ через $\frac{1,29}{1 + \alpha t}$ принимает следующий вид:

$$v = 0,237 \sqrt{(273 + t) h}.$$

Определив скорость, путем умножения на сечение газохода, получим объем газа, протекающего через трубопровод в единицу времени.

Для той же цели, что и прибор Пито, служит диафрагма, представленная на рис. 85. Диафрагма вставляется между фланцами в газопроводе и представляет собой тонкую перегородку с

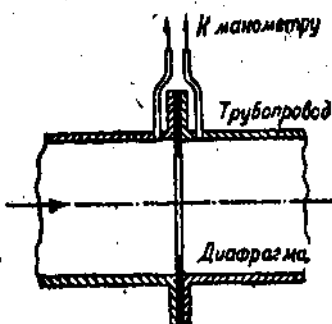
круглым отверстием, сечение которого меньше, чем сечение газопровода. По обеим сторонам диафрагмы имеются трубочки, идущие к двум концам манометра. Давление газа по обеим сторонам диафрагмы неодинаково и разность давлений показывает движущий напор, определяющий скорость газа через отверстие диафрагмы.

При внезапном изменении скорости движения газа при прохождении его через диафрагму статическое давление уменьшается вследствие:

- 1) потери на трение,
- 2) увеличения динамического напора из-за увеличения скорости при сужении струи,
- 3) потери напора на удар при изменении скорости.

Первые потери на участке измерения невелики и ими обычно пренебрегают.

Скорость газа может быть выражена следующим соотношением:



$$v = k \sqrt{2g \frac{\Delta h}{\gamma}}$$

где g — ускорение силы тяжести (981 м/сек^2);

Δh — разность статических давлений;

γ — вес газа в условиях опыта (в кг на 1 м^3);

k — коэффициент, зависящий от степени сжатия струи, расстояния от диафрагмы до места наибольшего сжатия и от места замера

Рис. 85. Диафрагма.

$$k = \frac{\alpha}{\sqrt{1 - m^2}} \quad (\text{точность } 2-5\%);$$

здесь $m = \frac{v}{c}$ — отношение площади диафрагмы к площади газотока, а

$$\alpha = 1 - 0,368 \sqrt{1,15 - m^2} \quad (m < 0,7).$$

Диафрагма изготавливается из металла толщиной 2 мм для труб диаметром до 200 мм и при больших диаметрах толщиной в 0,01 диаметра. Отверстие диафрагмы затачивается по окружности (угол 45°) и защищается от заусениц. Отверстие диафрагмы должно быть правильным кругом и его центр должен точно совпадать с осью трубы.

Диафрагма устанавливается на прямом участке газотока (не менее 4,5 диаметров прямого участка с обеих сторон диафрагмы).

Определив скорость, получим объем газа, проходящего в единицу времени, умножением скорости на площадь сечения газотока.

Иногда для измерения скорости применяют анемометр. Он состоит из крыльчатки, которая от движения газа вращается. Вал крыльчатки соединен с механизмом, показывающим стрелкой скорость газа.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

1. ГАЗОХОДЫ, ТРАНСПОРТ КОЛЧЕДАНА И ОГАРКА В ПЕЧНЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ

1. ГАЗОХОДЫ ПЕЧНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ

Газоходы печного отделения делаются из чугуна, железа и кислотоупорного кирпича. Газоходы не должны разрушаться газами, должны быть герметичными и легко очищаться от осаждающейся в них пыли.

В зависимости от числа печей и их расположения сечение, форма и размещение газоходов могут быть весьма разнообразными. Газоходы в печном отделении работают под разрежением. Поддержание постоянной величины разрежения (тяги) обязательно для нормальной работы системы. Диаметр газоходов берется из расчета, чтобы скорость газа в нем составляла 4—6 м в секунду.

Газы из колчеданных печей содержат от 2 до 60 г пыли в 1 м³. Содержание пыли в газах составляет: при сжигании в механических печах кускового колчедана 2—5 г/м³; шихты из кускового и флотационного колчедана 5—9 г/м³; в печах пылевидного обжига 30—60 г/м³ и даже иногда до 100 г/м³.

Пыль из газов осаждается в газоходах, засоряет их и разрежение в газоходах падает. Поэтому все газоходы от печи до пылеосадительных аппаратов должны иметь соответствующие устройства для их очистки. Для механических печей, где пыли сравнительно мало, газоходы обычно делают горизонтальными. Для печей пылевидного обжига, газы которых содержат значительное количество пыли, делают ломаные газоходы (кривули).

В связи с тем, что для сернокислотных систем флотационный колчедан в настоящее время является одним из главных видов сырья, газоходы в виде кривулей устанавливают и при механиче-

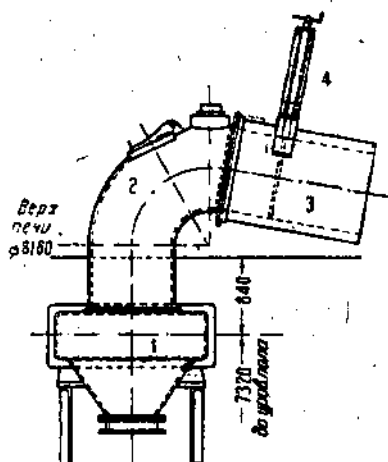


Рис. 86. Установка газовой коробки у механических печей:

1 — газовая коробка, 2 — колено, 3 — газоход, 4 — шибер.

ских печах. Преимущество кривулей заключается не только в удобстве их очистки от пыли, но и в том, что такой формы газоходы в большей мере снижают температуру газов до поступления их в коттрели, что при интенсивной работе печей, достигнутой в настоящее время, является необходимым.

Отвод газа из механических печей обычно производится с первого этажа. Для этой цели к кожуху печи приклепывается патрубок, к которому прикрепляется на болтах газовая коробка. Из этой

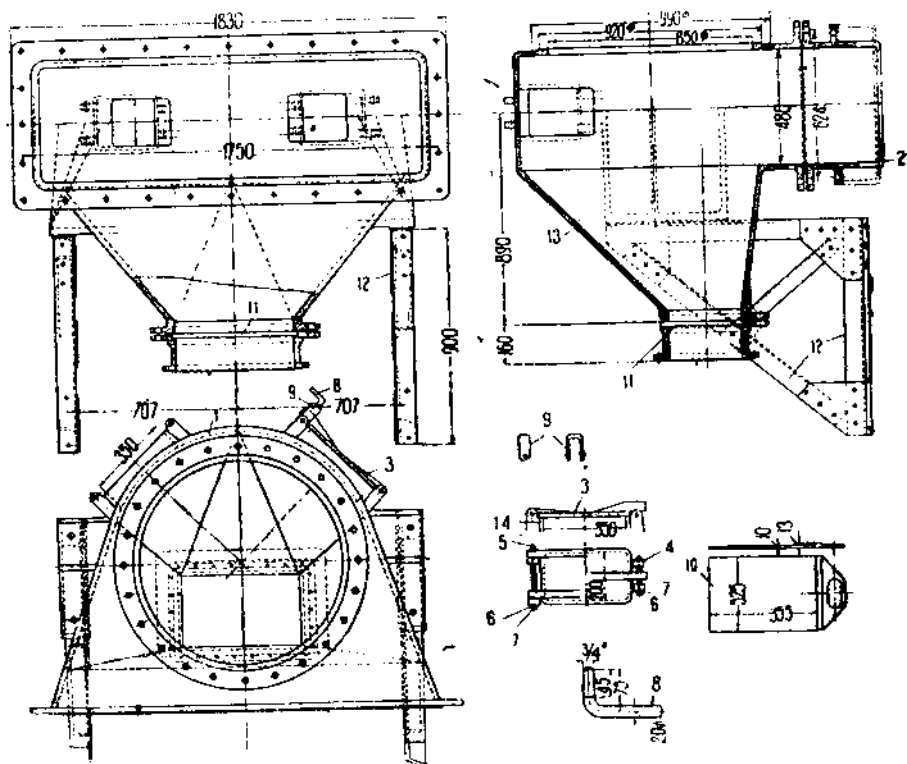


Рис. 87. Деталь газовой коробки:

1 — газовая коробка, 2 — патрубок к печи, 3 — дверца для люка, 4 и 5 — шпильки, 6 — шайбы, 7 — шпильки, 8 — рукоятка, 9 — шпилька, 10 — шпилька, 11 — гнездо шпильки, 12 — крестовины, 13 — бункер, 14 — приливы.

коробки газ поступает или в вертикальный патрубок или в колено. На рис. 86 представлена коробка с коленом, установленная на 15-тонной печи Гумбольдта.

Газ из печи через коробку 1, колено 2 поступает в газоход 3, который присоединяется к общему коллектору для нескольких печей. Отключение печи от общего коллектора осуществляется шибером 4, установленным на газоходе 3. Для более равномерного отсоса газа из печи ввиду ее большого диаметра (6 м) на каждой

печи установлены по две газовые коробки (см. рис. 12). Патрубок, газовая коробка и колено должны быть чугунными. Иногда ставят железные колена, но они быстро прогорают.

На рис. 87 представлена с деталями одна из коробок 15-тонной печи Гумбольдта. Газовая коробка 1 присоединяется к патрубку

печи 2 и укрепляется на кронштейнах 12, приклепанных к кожуху печи. Бункер 13 служит для собирания пыли, которая удаляется по мере ее накопления открытием шибер 10 в подставленную внизу вагонетку. С целью уменьшения при чистке коробки пылеобразования к нижней ее части привертывают железный патрубок, доходящий до вагонетки. В коробке имеются два люка, закрываемые дверками 3; через люки железным гребком стребают в коробку пыль, осевшую в патрубке 2 и на футеровке печи. Во избежание подсосов воздуха через люки поверхность сопряжения дверок и люков обработана и люков обработана и рукоятка 8 имеет винтовую нарезку, при посредстве которой при завинчивании рукоятки 8 в вилку 9 дверка 3 плотно закрывает люк. С той же целью соприкасающиеся плоскости коробки и патрубка тоже обработаны и при установке собираются на асбестовых прокладках. Шибер 10 отлит из чугуна несколько на конус с 13 мм на 10 мм, что облегчает его выдвигание из гнезда 11. Ширина гнезда для шибера делается 15 мм. Дверки 3 с внутренней стороны облицовываются

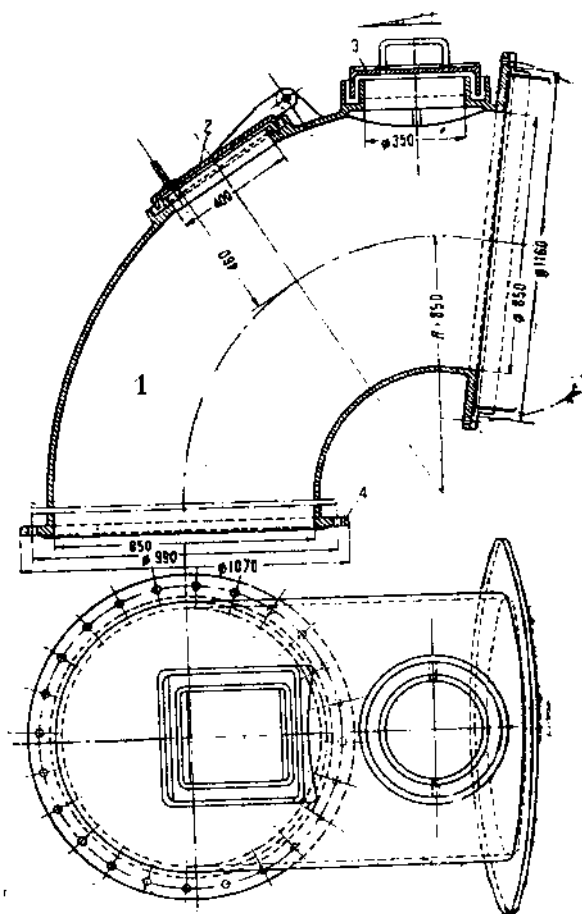


Рис. 88. Колено для газа из печи:

1 — колено, 2 — дверка люка, 3 — крышка песочного затора, 4 — фланец.

огнеупорными плитками, для укрепления которых в дверках имеются приливы 14.

На газовую коробку устанавливают чугунное колено, представленное на рис. 88. Внутренний диаметр колена 1850 мм, оно

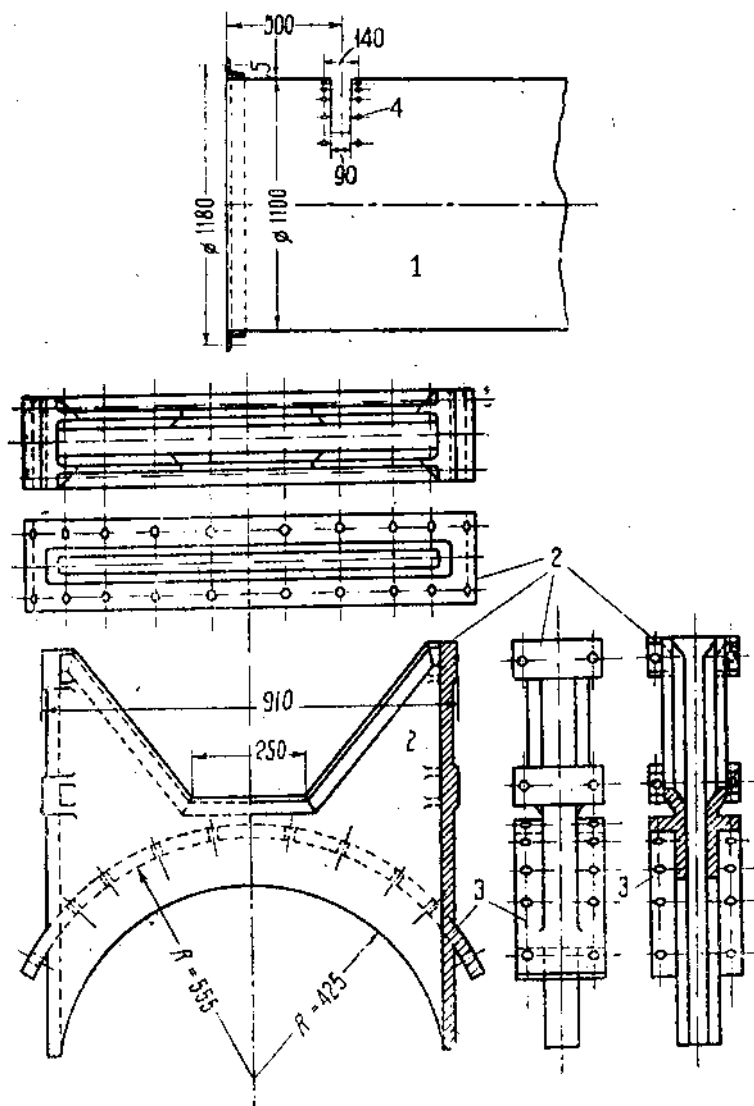


Рис. 88. Газоход и направляющая рама:

1 — газоход, 2 — рама, 3 — лапы, 4 — вырез.

устанавливается на коробке фланцем 4; второй фланец с большим диаметром присоединяется к газоходу. Колено имеет два люка, один из них закрывается дверкой 2, а второй крышкой 3, входя-

щей в песочный затвор. Люком 3 пользуются во время работы печи для осмотра колена и газохода. Люк, закрываемый дверкой 2, служит для чистки гребков газохода, примыкающего к колену. При разогревании печи пользуются люком 3, на котором устанавливают железную вытяжную трубу. К колену 1 привертывается на болтах железный газоход. Внутренний диаметр этого газохода больше диаметра колена на 250 мм, что сделано с той целью, чтобы после

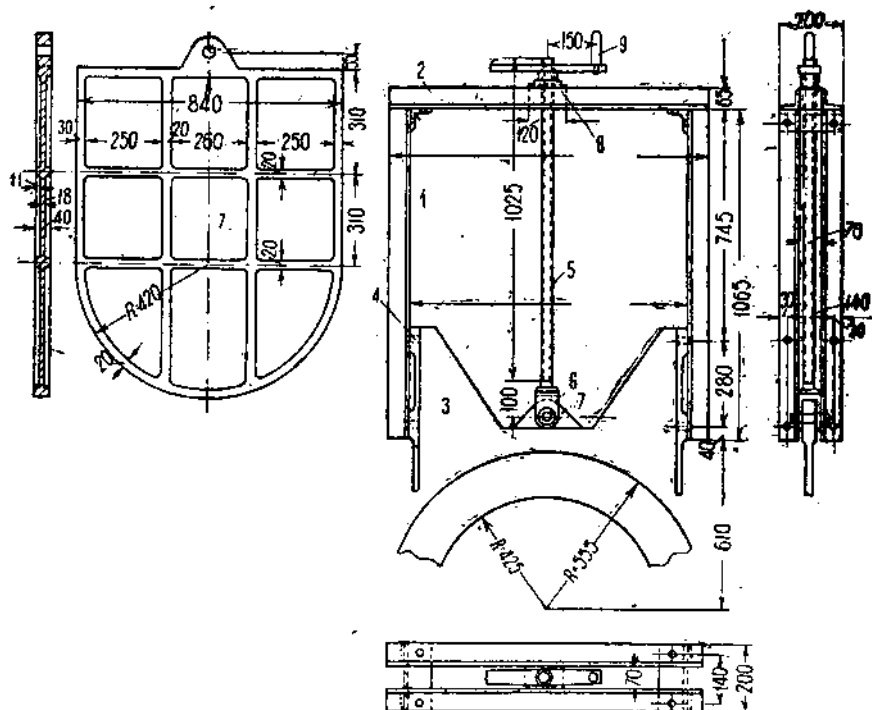


Рис. 90. Подвеска шибера:

1 — стойка, 2 — дверка, 3 — направляющая рама, 4 — болты, 5 — шток шибера, 6 — вилка, 7 — шибер, 8 — втулка, 9 — ручка.

футеровки газохода в подкирпича его сечение было бы одинаково с сечением отвода.

На рис. 89 представлены газоход и чугунная рама, устанавливаемая на газоходе. Рама служит для направления шибера и устанавливается над прорезом 4 в газоходе. Направляющая рама опирается на газоход лапами 3 и прикрепляется к нему заклепками. К направляющей раме крепится на болтах железная рама для подвески шибера. На рис. 90 даны железная рама и чугунный шибер.

Стойки 1 железной рамы сделаны из углового железа и связаны вверху поперечиной 2. Нижние концы рамы прикреплены к направляющей раме 3 болтами 4. Шибер 7 висит на штоке 5,

оканчивающемся кованой вилкой 6. Шток 5 имеет нарезку и ходит во втулке 8. Поднятие и опускание шиберов производится рычагом 9. Шибер 7 отливается из чугуна и для большей жесткости имеет усиливающие ребра. Описанная конструкция шиберов часто заедает, поэтому лучше устанавливать колокольный клапан, как об этом сказано при описании печи для сжигания газоочистительной массы (см. также рис. 95).

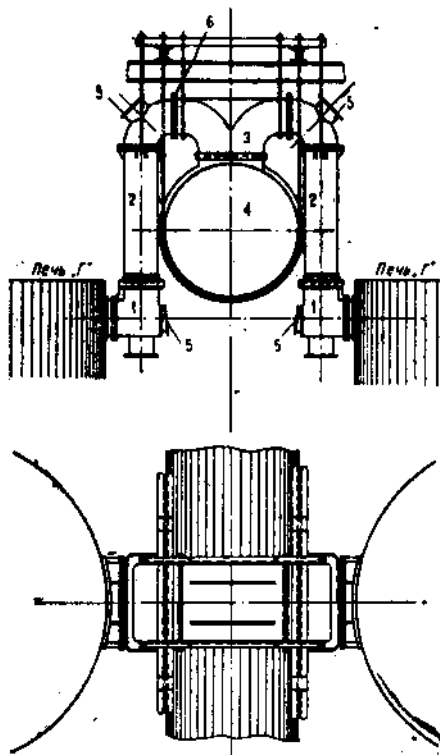


Рис. 91. Присоединение печей к газоходу:

1 — газовая коробка, 2 — стояк, 3 — тройник, 4 — сборный коллектор, 5 — люки, 6 — фланцы.

Соединение двух печей через общий тройник 3 является непрактичным, так как при замене этого тройника (в случае его протравления) необходимо выключать две печи, с ним связанные.

На некоторых вновь выстроенных заводах общие коллекторы не были внутри облицованы кирпичом, что привело к их быстрому износу и замене новыми. Внутренняя облицовка служит также и для тепловой изоляции. При длинных необлицованных газоходах большая потеря тепла обжиговыми газами приводит к тому, что их температура падает ниже $250-300^{\circ}$, вследствие чего приходится выключать коттрели и часто работать без пылеочистки.

Для того чтобы температура не понижалась, иногда изолируют наружную поверхность газоходов. Такую изоляцию не сле-

Нами подробно описано устройство для отвода газа из печей, так как этой детали часто не оказывают должного внимания, в результате чего в этом месте происходит забивание пылью и подсосы воздуха, влекущие за собой нарушение правильного режима печи.

На рис. 91 представлено в общем виде другое устройство для отвода газа из печей в общий коллектор. Газ из печи «Г» через газовую коробку 1 и стояк 2 поступает в общий для двух печей тройник 3, а из него в коллектор 4, общий для всех печей. Люки 5 служат для очистки газовой коробки 1 и тройника 3. Шибер, не показанный на рисунке, устанавливается между фланцами 6. Коллектор 4 склепан из 6-мм железа. Этот коллектор следует внутри облицевать кислотоупорным кирпичом (в $\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$ кирпича).

Соединение двух печей через общий тройник 3 является непрактичным, так как при за-

дует делать, так как в этом случае металл газохода разрушается более быстро, чем при газоходах, изолированных изнутри. Мы рекомендуем при железных газоходах делать обязательно внутреннюю изоляцию толщиной $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ кирпича. В том случае, если данные газоходы делаются и с целью охладить газы, что встречается при печах пылевидного обжига, то газоходы оставляют не изолированными в незначительной части от печи; остальную же часть изолируют в $\frac{1}{4}$ кирпича или плитками толщиной 30—35 мм. В некоторых случаях внутреннюю изоляцию газоходов производят андезитовой кислотоупорной мастикой.¹ Такую мастику наносят на железную сетку, прикрепленную к внутренней поверхности газохода.

Очистка газоходов должна производиться регулярно с тем, чтобы в них не накапливалось много пыли. В коротких газоходах

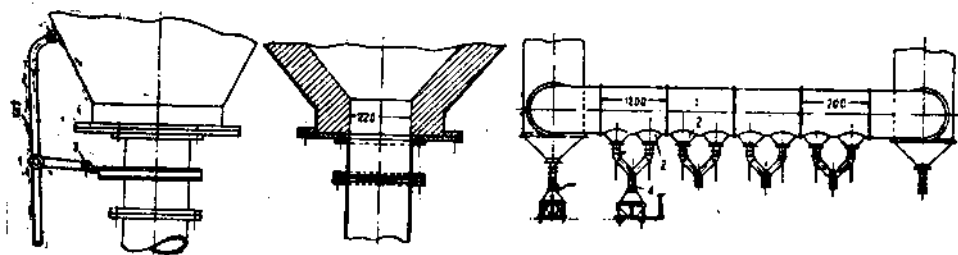


Рис. 92. Сборный коллектор:

1 — газоход, 2 — бункеры, 3 — шибер, 4 — труба, 5 — рычаг.

в нижней их части делают бункеры, куда и сгребают пыль через люки железными скребками. Люки в газоходах должны быть сделаны в таких местах, чтобы удобно было работать, а также и заводить скребки. Точно так же должны быть предусмотрены для той же цели и необходимые площадки. При длинных газоходах делают нижние бункеры, как это указано на рис. 92.

Осаждающаяся в газоходе 1 пыль собирается в бункерах 2, откуда она периодически удаляется в подставленные вагонетки. С целью уменьшения точек для удаления пыли каждые два бункера соединены в общую трубу 4, опускающуюся в вагонетки. Каждый бункер имеет шибер 3, который открывается рычагом 5. Газоходы и бункеры облицованы внутри кислотоупорным кирпичом.

Кирпичные газоходы делают из хорошо обожженного красного кирпича. Толщина стенок делается в 1— $1\frac{1}{2}$ кирпича и кроме этого газоходы внутри футеруются кислотоупорным кирпичом (в $\frac{1}{2}$ кирпича); кирпичный газоход устанавливается на железных или железобетонных балках, к которым подвешиваются бункеры из того же материала. В том и другом случае бункеры облицовываются кислотоупорным кирпичом или плитками.

¹ Подготовка мастики см. выпуск III. К. А. Поляков, Свинцовая аппаратура.

На рис. 93 представлен сборный коллектор для газа от печей пылевидного обжига. Газоход сделан из кирпича, а нижняя его часть железобетонная. Газоходы и бункеры имеют внутри кислотоупорную футеровку толщиной в полкирпича. Кирпичные газоходы должны быть хорошо стянуты железными балками и связями. Связи устанавливаются по его длине через каждый метр. При отсутствии хороших связей газоход даст трещины, через которые засасывается воздух, и этим самым понижается концентрация SO_2 в газах.

Сборные газоходы могут

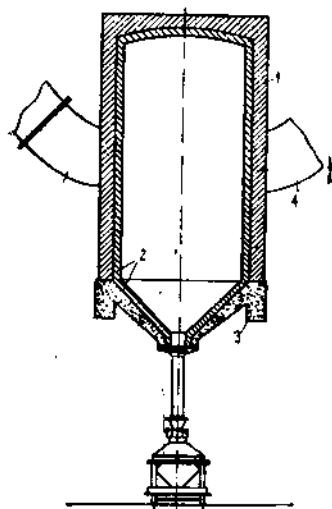


Рис. 93. Сборный коллектор:

1 — обыкновенный кирпич, 2 — кислотоупорный кирпич, 3 — железобетонный бункер, 4 — газоходы от печи.

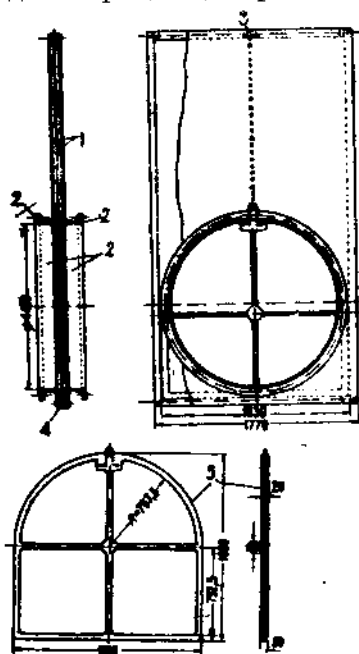


Рис. 94. Шибер с направляющей рамой:

1 — направляющая рама, 2 — патрубки, 3 — отверстие для штока, 4 — дно рамы, 5 — шибер.

быть сделаны целиком железобетонные, но в этом случае их необходимо внутри облицевать кислотоупорным кирпичом толщиной в полкирпича. Такой сборный газоход установлен автором в 1927 г. на Полевском заводе в камерной системе. Этот газоход работает до настоящего времени.

Для отключения одной или нескольких печей и для направления газа в другой газоход или аппарат на газоходах устанавливают шиберы или клапаны. Один из подобных шиберов описан выше (рис. 90). Описанный шибер не имеет направляющей по всему сечению газохода и вследствие неправильной поверхности газохода шибер неплотно прилегает к газоходу. Через неплотность между газоходом и шибером может просасываться газ. Это явление не имеет значения, когда шибером пользуются для регулиро-

вания печи. В некоторых же случаях необходимо полное закрытие газохода и для этой цели устанавливают или шиберы, точно пригнанные по направляющей раме, или же клапаны.

На рис. 94 представлен шибер с направляющей рамой. Рама шибера изготовлена из железа, а шибер 5 отлит из чугуна. К направляющей раме 1 приварены два патрубка 2; вся конструкция вставляется между двумя фланцами газохода и крепится болтами. Направляющая рама сверху закрыта; для прохождения штока шибера в раме есть отверстие 3. Если в газе имеется SO_3 , то шибер может быть установлен на газе с температурой не ниже 250° ; при более низкой температуре конденсирующаяся сернистая кислота будет разрушать металл: при сухом газе и отсутствии SO_3 шибер может быть установлен при любой температуре, но не выше 500° , так как при температуре выше 500° рама будет деформироваться.

При пыльном газе дно рамы 4 необходимо сделать на шарнире с тем, чтобы ее можно было легко открыть и прочистить.

Шибер по рис. 94 может быть установлен лишь на чистом газе после коттрелей или при получении SO_2 при сжигании серы.

Для той же цели, что и шиберы, иногда ставят клапаны. Отключение газа клапанами более надежно, чем шиберами. На рис. 95 дана конструкция клапана для газохода диаметром 800 мм.

Клапан состоит из чугунного патрубка 1, перекрываемого клапаном 2. Патрубок привертывается к газоходу болтами 3. Как видно из рисунка, клапан установлен при повороте газа на 90° . Клапан подвешен на штоке 4, который ходит по винтовой нарезке втулки 5. Подъем и опускание клапана производится вращением маховика 6. Стойка клапана 7 устанавливается на крышке газохода и прикрепляется к ней болтами 8. Уплотнение между штоком и крышкой достигается сальником 9, буксой 10.

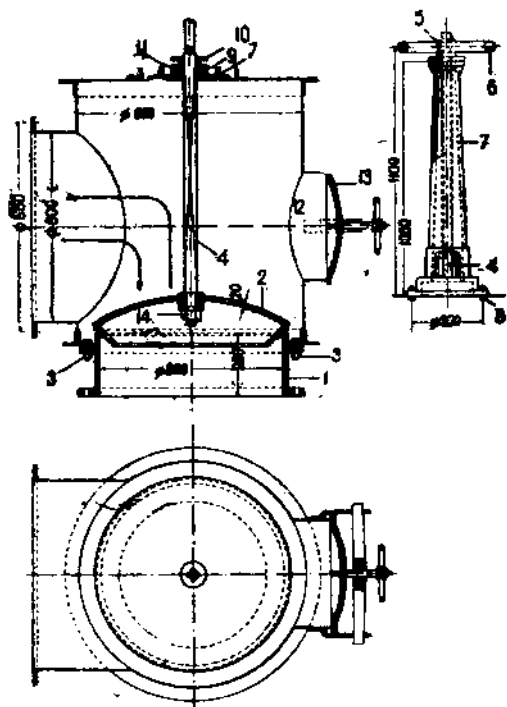


Рис. 95. Клапан для газов:

1 — патрубок, 2 — клапан, 3 — болты, 4 — шток, 5 — втулка, 6 — маховик, 7 — стойка, 8 — болты, 9 — сальник, 10 — букса, 11 — асбестовая прокладка, 12 — диск, 13 — крышка, 14 — гайка.

и набитым между ними асбестом 11. Для надзора за клапаном, очистки от пыли и ремонта имеется люк 12, закрываемый плотно крышкой 13. Устанавливать клапан относительно тока газа следует по верхней стрелке (рис. 95), так как в этом случае на верху клапана осаждается меньше пыли. При необходимости футеровать железный газоход диаметр его соответственно увеличивают с тем, чтобы после футеровки его сечение соответствовало заданному. В этом случае на шток надевают чугунную или керамиковую трубку, изменив соответственным образом и сальник. Нижнюю гайку 14 при этом необходимо сделать заподлицо с приливе клапана и заделать асбестом на силикате.

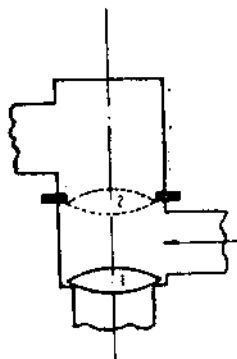


Рис. 96. Двухходовый клапан:

1 — первое положение клапана, 2 — второе положение клапана.

В некоторых случаях приходится отключать газ от одного газохода и направлять во второй. Чтобы не ставить в этом случае двух клапанов, устанавливают один двухходовой клапан. Схема подобной установки показана на рис. 96. При положении клапана, показанном на рис. 96, газ направляется в верхний газоход, а при пунктирном положении газ поворачивает на 90° и поступает в нижний вертикальный газоход.

Содержание пыли в газах при сжигании колчедана в печах пылевидного обжига доходит до 100 г/м^3 , что заставляет применять газоходы особой формы и конструкции. При обычных горизонтальных газоходах они забиваются пылью после нескольких часов работы. Газоходы для такого газа можно

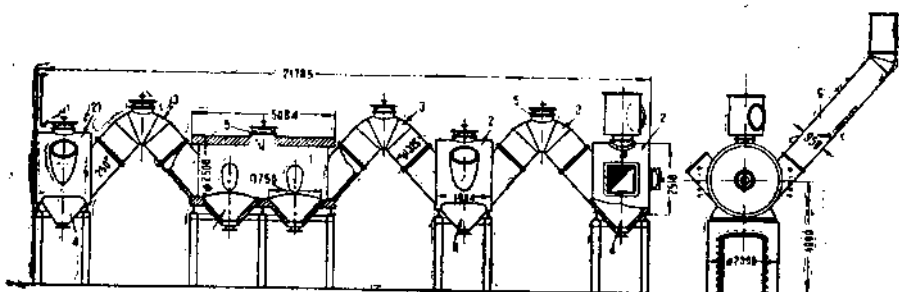


Рис. 97. Сборный газоход для печей пылевидного обжига:

1 и 2 — пылинки, 3 — кривули, 4 — бункер, 5 — люк, 6 — газоход.

было бы сделать по рис. 92, но частая чистка большого числа бункеров не только обременительна, но и связана с неизбежным подсосом воздуха. Для уменьшения числа бункеров газоходы делают под углом $50-60^\circ$ к горизонту, соединяя их между собой

пыльниками. На рис. 97 представлен общий вид сборного коллектора от четырех печей пылевидного обжига.

Газоход представляет собой четыре пыльника 1 и 2, соединенных между собой наклонными под углом 50° газоходами. Газоходы железные и футерованы внутри в полкирпича. Пыльники установлены на железобетонном постаменте. Низ пыльников заканчивается железными бункерами 4 с затворами, через которые выгружают пыль в вагонетки. Стены пыльника футерованы в один кирпич, а бункеры в полкирпича. Пыльники и газоходы имеют люки-лазы 5, через которые производят сталкивание пыли в бункеры, а при надобности и ремонт пыльников и газоходов.

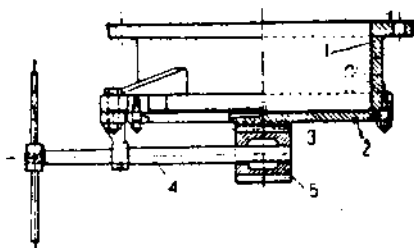


Рис. 98. Реечный затвор:

1 — горловина, 2 — крышка, 3 — зубчатая рейка, 4 — шток, 5 — зубчатое колесо.

В каждой печи по два газохода 6, по которым газ поступает в один из пыльников 1 и 2. Газоходы 6 футерованы внутри в $\frac{1}{4}$ или $\frac{1}{2}$ кирпича. Бункеры пыльников снабжаются плотными затворами: на рис. 98 представлен один из применяемых затворов реечного типа. Чугунная горловина 1 непосредственно прикреплена к выходному отверстию бункера пыльника и имеет направляющие, в которых ходит чугунная крышка 2, снабженная зубчатой рейкой 3. На шток 4 насажен с одного конца маховичок и с другого зубчатое колесо 5. При вращении маховичка зубчатое колесо входит в зацепление с рейкой и выдвигает крышку, открывая отверстие в бункере, через которое сыпается пыль. Применяются также затворы в виде крышки, вращающиеся в плоскости, параллельной затворам.

II. ПОДАЧА КОЛЧЕДАНА К ПЕЧАМ И УДАЛЕНИЕ ОГАРКА

Нормальная работа сернокислотного завода в значительной мере зависит от правильной эксплуатации всего печного отделения. Регулярная очистка газоходов, о которой мы говорили выше, бесперебойная подача колчедана к печам, своевременное и удобное удаление огарка — все это необходимые условия для нормальной работы печного отделения, а следовательно и завода.

1. Подача колчедана из печи

Колчедан на многих старых заводах подвозится в печное отделение вручную вагонетками. У печного отделения вагонетки подъемником поднимаются вверх, где колчедан и развозится к печам. Колчедан сыпается или в бункеры печей или на площадку около них. Питание печей колчеданом из бункеров произ-

водится, как выше описано, сбрасывающими пожами, укрепленными на гребках сушильного свода.

В том случае, если колчедан ссыпается на площадку у печи, то он загружается на сушильный свод периодически железными бадейками. Бадейки делаются объемом на 40—50 кг колчедана из железа толщиной в 1 мм и для прочности оковываются обручным железом. Такая подача колчедана на печь носит кустарный характер; на современных заводах обычно применяется следующий метод. Установ-

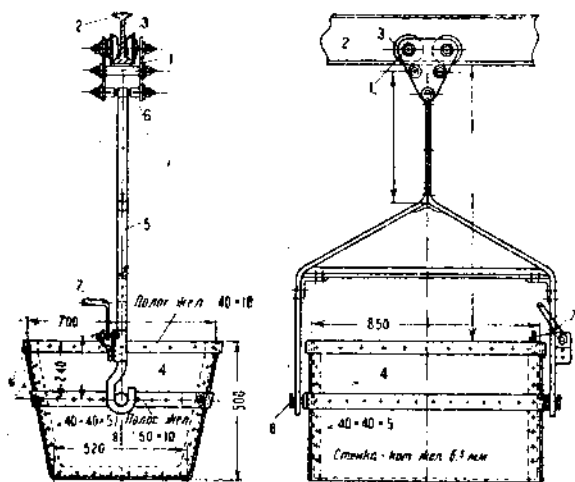


Рис. 99. Вагонетка для развозки колчедана:

4 — тележка вагонетки, 2 — балка подвесной дорожки, 3 — ролик, 1 — кузов вагонетки, 5 — штанга, 6 — валик, 7 — опрокидывающий рычаг, 8 — ось вагонетки.

происходит их взвешивание. Подвесная дорога делается обычно кольцевой, что дает возможность одновременно работать на нескольких вагонетках. На рис. 99 представлена вагонетка объемом 0,25 м³ для развозки колчедана к печам.

Каркас вагонетки сделан из углового железа 40 × 40 × 5 мм, бока и дно из котельного железа толщиной 5 мм. Для большей жесткости вагонетка сверху и посередине окована полосовым железом. Тележка вагонетки 1 катается по нижней полке балки 2 на четырех роликах 3; двутавровая балка 2 подвесной дорожки обычно крепится к фермам печного отделения. Кузов вагонетки 4 подвешен на штанге 5 из полосового железа к валику 6 тележки. Во время передвижения вагонетка запирается рычагом 7. При опрокидывании она вращается на осях 8. Конструкция этой вагонетки не рациональна, так как штанги, на которых подвешена вагонетка, слишком длинны и поэтому необходимо значительное усилие при передвижении вагонетки.

¹ См. вып. I „Аппаратура для размол и транспорта колчедана“, К. А. Поляков и В. Г. Педригайлов, рис. 1 и 59.

ный метод. Установленным в размольном отделении, колчедан подается в бункеры, находящиеся в печном отделении. Объем бункеров соответствует 12—15-часовой производительности печного отделения. На этих бункерах колчедан загружается в вагонетки, которыми он по подвесной дороге доставляется в бункеры, установленные над каждой печью. По пути от бункеров к печам вагонетки проходят весы, где

При передвижении описанных вагонеток применяется ручной труд. Серноокислотная система производительностью 80 000 т кислоты расходует в сутки 220—240 т колчедана. Чтобы обеспечить эту систему колчеданом, требуется подать 450—480 вагонеток в сутки. Такое количество вагонеток занимает в течение суток много рабочих и поэтому естественно, что на больших механизированных заводах ручные тележки заменяют электровагонетками. Электровагонетки значительно быстрее ручных вагонеток. Скорость электровагонеток 14—16 м в сек., а ручных 1 м в сек., кроме того, электровагонетки по своей конструкции являются саморазгружающимися. Для разгрузки электровагонеток у данной печи ставят упор, за который зацепляется вагонетка при подходе к бункеру. Вагонетка несколько поднимается и этим приводит в движение систему рычагов, открывающих боковые стенки вагонетки. Колчедан высыпается в бункер, вагонетка автоматически закрывается и едет к колчеданным бункерам для нового наполнения. Вся работа по развозке колчедана сводится к перестановке упора у печных бункеров и к наблюдению за насыпанием колчедана.

На некоторых заводах подают колчедан ленточными или скребковыми транспортерами непосредственно на печь. При таком транспорте учет колчедана, подаваемого на каждую печь, затруднителен и поэтому мы не рекомендуем производить подачу колчедана подобным методом. Такой вид транспорта может быть допущен лишь в том случае, когда каждая печь будет иметь не по одному, а по два бункера с тем, чтобы при наполнении колчеданом одного из них из второго происходило бы питание печи. Количество колчедана, поступающего в каждую печь, в этом случае определяется не взвешиванием, а по объему. Взвешивание же колчедана, сжигаемого всеми печами, должно производиться или до поступления в печное отделение или же автоматическими весами на транспортере. По общему весу колчедана и по объему в бункерах можно будет с некоторой точностью определить количество колчедана, поступающего в каждую печь.

При ленточных транспортерах взвешивание колчедана можно производить ленточными весами, но такие весы часто портятся и взвешивание ими неточно.

Ленточные и секционные транспортеры, устанавливаемые в печных отделениях, аналогичны описанным нами в I выпуске и поэтому здесь на них мы и не будем останавливаться.¹

2. Удаление огарка

Огарок, выходящий из механических печей, имеет температуру 160—220°, а из печей пылевидного обжига 700—800°. Огарок вы-

¹ Выпуск I „Аппараты для размола и транспорта колчедана. К. А. Поляков и В. Г. Цедригайлов.

сыпается в механических печах через течки, укрепляемые к нижней опорной раме печи. Течки делаются такой конструкции,

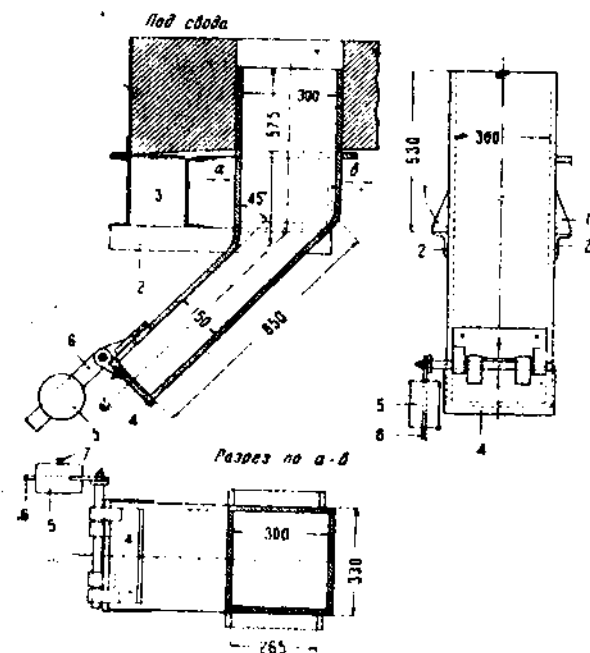


Рис. 100. Течка для колчедана:

1 — опорные приливы, 2 — угольники, 3 — опорная рама печи, 4 — крышка, 5 — противовес, 6 — рычаг, 7 — болт.

ся на рычаге болтом 7. В некоторых печах открытие течки производится пальцем, прикрепленным к шестерне печи при ее вращении. В других печах (Геррестофа) течка закрывается весом своей крышки 1, которая подвешена на шарнире 3 к жолобу 2 течки. Подобная течка представлена на рис. 101.

На большинстве работающих заводов удаление огарка из печного отделения производится вручную; для этой цели под течку подставляют вагонетки и после наполнения вагонетка по узкой колее отвозится вручную или лошадью на свалку, где опрокидывают вагонетки и разгружают огарок вдоль линии. Такая разгрузка не дает возможности располагать огарок высокими кучами.

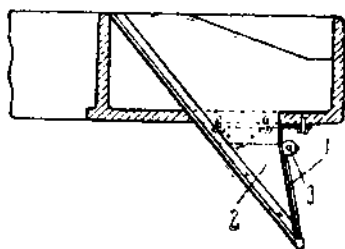


Рис. 101. Течка для колчедана: 1 — крышка, 2 — жолоб течки, 3 — шарнир.

что они по наполнении открываются и автоматически закрываются по высыпанию из них огарка. На рис. 100 представлена течка, устанавливаемая на 15-тонных печах Гумбольдта.

Течка устанавливается приливами 1 на угольниках 2, прикрепляемых к опорной раме 3 печи под свода. Крышка течки 4 имеет противовес 5. Передвижением противовеса по рычагу 6 можно регулировать количество огарка, при котором открывается крышка течки. Противовес закрепляет

Для разгрузки огарка в большие кучи на некоторых заводах установлены наклонные эстакады. Верх эстакады делают на высоте 3—5 м от земли. На верхнем конце устанавливают электролебедку с канатом; 2—3 вагонетки с огарком подвозятся к нижнему концу эстакады: их сцепляют с канатом, поднимают по эстакаде наверх, где происходит их разгрузка.

С целью защиты механизмов от пыли и предотвращения выделения пыли в рабочее помещение под печами должны быть сделаны специальные камеры для вагонеток. Камеры делаются из железа, кирпича и бетона и закрываются плотно железными дверками.

Выгрузка огарка вручную — работа трудоемкая и поэтому естественно, что делались и делаются многочисленные попытки заменить ручной труд при этой работе механизированным. Однако до сих пор эти стремления не увенчались успехом. Мы объясняем

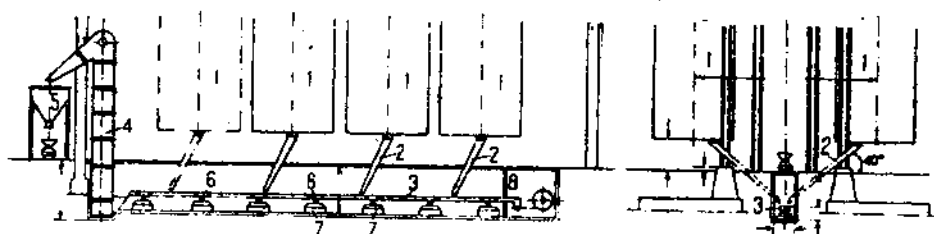


Рис. 102. Удаление огарка от печей транспортером:

1 — печь, 2 — тачки, 3 — лоток транспортера, 4 — элеватор, 5 — бункер, 6 — ролики, 7 — фундамент, 8 — стена.

это тем, что или проекты были дефектны — в них не учитывались физические свойства огарка, или же эксплуатация смонтированных механизмов была неправильна.

На одном из заводов была смонтирована механизированная установка для удаления огарка по схеме, представленной на рис 102.

Огарок из печей 1 по тачкам 2 поступает на транспортер 3; по этому транспортеру огарок передвигается в элеватор 4 и поднимается им в бункер 5. Опорожнение бункера производится периодически в вагонетки, которые отвозятся на свалку.

Транспортер представляет собой лоток,двигающийся взад и вперед в горизонтальной плоскости. Лоток движется вперед вместе с материалом при небольшой скорости и подается назад с такой быстротой, что сила инерции материала преодолевает трение и вызывает скольжение груза по лотку. Таким образом материал совершает при движении вперед больший путь, чем в обратном направлении, вследствие чего и происходит перемещение материала. Такая конструкция движения лотка выгодно отличается от конструкции встряхивающего лотка тем, что при первом выделяется значительно меньше пыли, чем при втором. Опорами лотка служат ролики 6, катающиеся взад и вперед по отрезкам инвентаров, уложенным на фундаментах 7. Для движения таких лотков

могут применяться двойные кривошипы, где шатуну, передвигающему лоток при его движении вперед, сообщается меньшая скорость, чем при обратном движении.

В транспортере нет сложных трущихся деталей, работающих в пыльной обстановке, и поэтому он не подвергается износу. По конструкции он весьма прост и работает без отказа. Для нормальной работы транспортера следует отделить стеной 8 тоннель, в котором находится лоток, от помещения для механизмов (мотор, кривошипы, шатун) с тем, чтобы в это помещение входил лишь конец лотка без огарка. Помещение механизмов должно быть просторным и открытым сверху. Тоннель для лотка должен быть перекрыт и в нем должны быть свободные проходы вдоль лотка. Лоток должен быть закрыт ящиком, легко разбираемым и не мешающим наблюдению за роликами и лотком, для чего ящик должен перекрывать лишь верх лотка, не закрывая роликов, и должен иметь сверху легко открывающиеся крышки. Из ящика, лотка, тоннели и из элеватора должна быть сделана отсасывающая система вентиляции. Правильная работа вентиляции является непрерывным условием нормальной работы транспортера и поэтому вся система вентиляции должна ежедневно контролироваться.

Раз в декаду транспортер должен останавливаться для тщательного осмотра всех его деталей. Точки от печей к транспортеру необходимо располагать под углом не менее 50° , а не 40° , как это выполнено по рис. 102. Во время остановки транспортера удаление огарка должно производиться вагонетками. Вагонеточный парк должен быть всегда в исправном состоянии, чтобы не создавать спешки при текущем ремонте транспортера. Каждая точка должна иметь шибер, плотно закрываемый при остановке транспортера. Кожух элеватора и все точки не должны пропускать пыли, для чего звенья элеваторов и точки следует клепать с подчеканкой или делать сварными, а соединение звеньев и течек производить на прокладках.

При соблюдении перечисленных условий описанное транспортное устройство должно хорошо работать; несоблюдение же этих условий должно привести не только к преждевременному износу транспортера, но и его полной остановке, что и случилось на заводе, имевшем подобную установку.

При механизированном удалении от печей огарка отвоз его следует производить в вагонах паровозом или электровозом. Для перевозки огарка наиболее удобны саморазгружающиеся вагоны типа «Хопер». К этим вагонам приделывается железная крышка с патрубком, плотно соединяемым с течкою бункера 5 (рис. 102).

Удаление огарка от печей может быть также осуществлено скрепером, движущимся вдоль печей по тоннелю, в который сыпается огарок по течкам; скрепер передвигается лебедкой, трос которой одним концом присоединен к передней открытой части скрепера, а второй конец — через барабан лебедки и блок — к задней закрытой части скрепера. При переднем ходе лебедки открытая часть скрепера захватывает огарок и передвигает его к яме

элеватора, где огарок и высыпается. При обратном ходе скрепер идет вперед закрытой носовой частью, несколько приподнимается и не захватывает огарка.

На некоторых заводах скреперами пользуются для удаления огарка от печного отделения на свалку, и мы не видим причины, препятствующей скреперной установке нормально работать в печном отделении, если только эта установка правильно спроектирована и правильно эксплуатируется.

Для одного из подмосковных заводов для удаления огарка запроектированы и находятся в стадии монтажа лотковые неподвижные транспортеры, в которых передвижение огарка по железному лотку производится скребками, имеющими свободное возвратно-поступательное движение. Скребки эти подвешены на специальной конструкции, опирающейся на катающиеся ролики. При поступательном движении гребков они передвигают огарок вперед, а при возвратном гребки, вращаясь на оси, поднимаются и не задевают огарок. Эта конструкция по нашему мнению будет работать хуже, чем описанная выше, так как в ней имеется большое количество деталей, работающих в атмосфере пыли.

Для некоторых заводов запроектирована следующая схема удаления огарка из печного отделения: огарок из печи поступает в шнек, конструкция которого тождественна с описанной выше при вращающихся печах (стр. 140). Из этого шнека огарок, после охлаждения высыпается на жаростойкий ленточный транспортер, которым он и транспортируется из печного отделения. Транспортер по выходе из-под печей переходит из горизонтального в наклонный с тем, чтобы сыпка с него огарка происходила в бункер, из которого огарок удаляется в железнодорожные вагоны. Лента для транспортера делается из асбестовой ткани, в которую заделана металлическая сетка.

Применяемый широко в других областях промышленности метод транспортирования материалов сжатым воздухом может найти также применение при удалении огарка как от механических печей, так и от печей пылевидного обжига.

Пневматическая установка для удаления огарка смонтирована и опробована на Щелковском химическом заводе. Эта установка состоит из сборника для огарка, помещаемого между двумя меха-

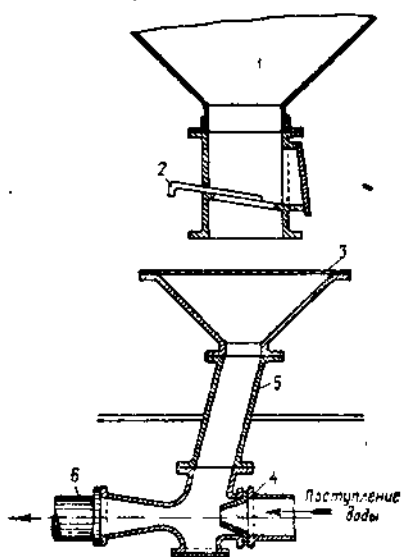


Рис. 103. Установка инжектора для удаления огарка:

1 — бункер печи, 2 — затвор, 3 — решетка, 4 — инжектор, 5 — трубы, 6 — выпускная труба.

ническими печами. Выходящий из печи по закрытой течке огарок просыпается через сетку в закрытый жолоб, примыкающий к сборнику. Сборник закрыт сверху крышкой и имеет коническое дно. Конус дна переходит в короткую трубку, закрываемую клапаном. Штанга клапана проходит через весь сборник и выходит вверху его, заканчиваясь штурвалом для открывания клапана.

Течка печи имеет задвижку, которой печь при надобности отключается от сборника для огарка. В течке над сеткой имеется также небольшой лючок, через который удаляются крупные куски, не прошедшие через сетку. Сетка изготавливается из железа толщиной 4—5 мм и имеет отверстия 25—30 мм.

Нижняя часть сборника соединяется с аппаратом Цера. Он состоит из железного цилиндра с коническими верхом и дном. К нижней части аппарата Цера привертывается стальной 2,5"-тройник. Ко второму концу тройника присоединяется стальная 2,5"-труба, по которой транспортируется огарок, к третьему концу — подводится сжатый воздух с давлением 3 ат. Кроме тройника сжатый воздух подводится также в конический верх аппарата Цера и сейчас же за тройником в трубу, по которой удаляется пылевоздушная смесь. По нагнетательной трубе пылевоздушная смесь удаляется из цеха на свалку.

С целью уменьшения пылеобразования при высыпании огарка в пылевоздушную трубу на расстоянии 5—10 м от конца вводится вода для смачивания огарка. Чтобы не увеличивать сопротивления пылевоздушной смеси, количество вводимой воды должно быть минимальным. Общие сборные магистрали для пылевоздушных смесей недопустимы, так как они в местах присоединений быстро изнашиваются. Поэтому от каждого аппарата Цера следует прокладывать отдельную магистраль.

Работу по удалению огарка производят в следующей последовательности: по наполнении аппарата Цера огарком закрывают клапан и дают сжатый воздух первоначально в трубу, затем в тройник и в аппарат Цера; после удаления огарка из Цера закрывают воздух, открывают клапан и заполняют аппарат снова, повторяя те же операции. Таким образом удаление огарка производится периодически.

Расход воздуха 30—35 кг на 1 т огарка. Сборник для огарка и аппарат Цера заглублены в землю на 2,2 м. Это является одним из неудобств такой установки. При проектировании новых печных отделений следует соответственно поднять печи.

Установка была пущена с 2"-нагнетательными трубами с толщиной стенок 3 мм. Эти трубы изнашивались в течение 10—15 суток. В данное время устанавливаются стальные трубы диаметром 2,5" с толщиной стенок 10 мм, что значительно увеличит срок их службы.

Сильное изнашивание труб наблюдалось также у фланцев и в местах переходов. Поэтому соединение труб следует делать очень точно, без смещения их центров, на специальных гайках.

При изменении направления пылевоздушной смеси трубы должны иметь главные переходы, т. е. отводы с большим радиусом.

Опыт работы этой установки, хотя и кратковременный с несомненностью подтверждает возможность удаления огарка пневматическим методом. Сама работа и аппаратура для удаления огарка весьма просты и могут быть без особых затруднений осуществлены на действующих заводах.

Главная трудность при осуществлении этого метода — это износ труб и их деталей, что также при правильном выборе материалов и хорошем монтаже является преодолимым.

Удаление огарка из печей пылевидного обжига в настоящее время на всех заводах (за исключением одного) производится вручную вагонетками. Высокая температура огарка (700—800°) и большое пылеобразование, вследствие мелкости частиц флотационного колчедана, создают настолько тяжелые условия, что лишь разрешение вопроса о механизации удаления огарка может сделать рентабельной дальнейшую эксплуатацию этих печей. Общеизвестные транспортные механизмы — элеваторы, шнеки, транспортеры и т. д. — не пригодны для этой цели, так как металл деформируется, а горячая пыль, поднимаемая при работе этих механизмов, создает невозможные условия для эксплуатации.

Разрешение вопроса о транспорте подобного огарка возможно двумя методами:

- 1) удаление огарка с помощью сильной струи воды (гидравлическое удаление),
- 2) охлаждение огарка, выходящего из печи, и дальнейшее транспортирование холодного огарка методами, аналогичными при механических печах.

Гидравлический метод удаления огарка аналогичен методу, применяемому при удалении золы в котельных установках. По этому методу в настоящее время удаляется огарок из печей пылевидного обжига на одном из заводов Урала (рис. 103).

Огарок из бункера 1 печи падает через решетку 3, отделяющую крупные куски, в воронку трубы 5, из которой огарок засасывается водой, поступающей в инжектор 4 под давлением нескольких атмосфер, и вместе с водой нагнетается в напорную трубу 6. Давление создается центробежным насосом и величина его зависит от сопротивления в трубах и инжекторе. Расход воды 8—10 м³ на 1 т огарка.

На рис. 104 представлен инжектор для удаления огарка. Вода, подаваемая центробежным насосом, поступает в патрубок 1, проходит усеченный конус 2 и ввинченный в конус наконечник 4. В камере 6 вода захватывает огарок и вместе с ним, пройдя конусы 7 и 8, нагнетается в напорный трубопровод, присоединенный к патрубку 3. Деталь 5 навинчивается на патрубок 1. Детали 5, 6 и 3 соединяются болтами на прокладках. Детали и трубопроводы, соприкасающиеся с огарком, быстро изнашиваются от трения и коррозии и поэтому их следует делать из кислотоупорной стали или из плавленого диабазы.

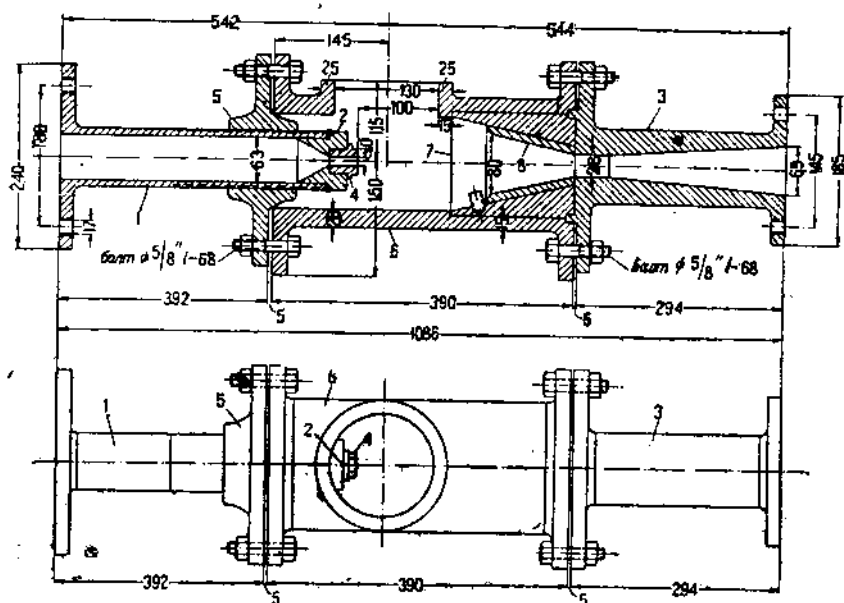


Рис. 104. Нижектор для гидравлического удаления огарка:

1 и 3 — патрубки, 2 — конус, 4 — наконечник, 5 — фланец, 6 — камера, 7 и 8 — конусы.

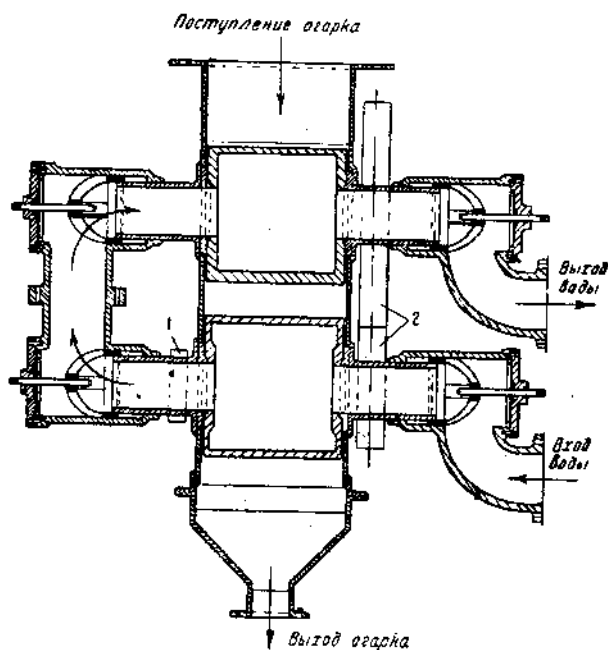


Рис. 105. Барабан для удаления огарка.

Гидравлический метод весьма компактен и гигиеничен и может быть применен на всех заводах, где имеются свободные площади для выливания смеси воды с огарком. Потребная площадь для естественных отстойников весьма велика, так как при суточном сжигании 150 т колчедана, что обычно для современных заводов, получается около 1500 т смеси огарка с водой. При отсутствии соответствующих площадей вопрос по видимому будет решен установкой сгустителей Дорра и фильтров.

Для охлаждения огарка предложены конструкции, пока еще не нашедшие практического применения. Конструкции эти состоят из двух охлаждаемых барабанов, расположенных друг над другом и вращающихся в разные стороны. Расстояние между нижней образующей верхнего барабана и верхней образующей нижнего барабана равно слою охлаждаемого огарка.

На рис. 105 представлена подобная конструкция. Огарок из печи поступает на наружную поверхность верхнего барабана и при вращении передается на нижний. Оба барабана охлаждаются водой, поступающей в нижний барабан и переходящей по боковому патрубку в верхний. Вращение нижнего барабана производится ременной передачей через шкив 1 и передается верхнему барабану парой зубчатых колес 2. Удаление огарка конвейером, применяемым на американских заводах, было описано выше при вращающихся печах «Кемико» (стр. 140).

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

МОНТАЖ ПЕЧЕЙ

Перед началом монтажа печей в первую очередь следует проверить наличие всех металлических деталей, футеровочных камней и вспомогательных материалов, необходимых для производства монтажных работ (болты, асбест, шамот, глина и т. д.). Все составные детали печей, для предохранения металлических частей от ржавчины, футеровочных камней от влаги, по прибытии их на монтируемый завод должны храниться в закрытом помещении или в крайнем случае под навесом. Намокшие камни хуже поддаются теске, при сушке свода дают большую усадку и при низкой температуре (зимой) размораживаются.

Все детали печей и керамику следует рассортировать по позициям с тем, чтобы каждый номер позиции легко можно было найти и достать. Трущиеся детали должны быть смазаны, а все железные (если до начала монтажа остается еще большой срок) — выкрашены черным печным лаком. При заказе керамики от поставщиков необходимо требовать, чтобы все камни имели номера, которыми следует руководствоваться при приемке, сортировке и при укладке в печи.

Печи обычно монтируются по несколько штук в одном здании; газ от всех печей собирается в общий газопровод. В зависимости от

расположения печей и их частей устанавливают один, два, а иногда и три общих газохода.

Приступая к монтажу печей, необходимо предварительно тщательно проверить фундаменты как по высоте, так и по расположению их относительно друг друга и относительно других аппаратов, связанных с печами. Эти точки необходимо закрепить с тем, чтобы всегда возможно было проконтролировать их расположение и брать от этих точек все нужные размеры. Для этой цели на стенках здания на высоте 1—1,5 м от уровня пола набивают доски и от этих досок через центр печей в двух взаимно перпендикулярных направлениях натягивают шпагат или, что лучше, тонкую проволоку. Если в одном ряду устанавливается несколько печей, то одна нить шпагата должна проходить через все центры этих печей, а остальные — перпендикулярно к ней через центр каждой печи. После разбивки центра печей в местах прикрепления шпагата к доскам набивают гвозди, которыми и пользуются в дальнейшем для проверки всех отметок. Затем производят проверку расположения и размеров отверстий для фундаментных болтов, опорной плиты центрального вала. Выверяют фундаменты для опорных колонн, поддерживающих печь с тем, чтобы центры этих фундаментов находились на окружности, центром которой является ось вала.

Проверку высоты фундамента под опорные плиты и колонны производят или уровнем с линейкой или же нивелиром. Верх фундамента под опорную плиту должен быть на 80—100 мм ниже опорной плоскости плиты с тем, чтобы при последующей заливке образовался достаточной величины слой цементного раствора.

До начала монтажа на площадке должно быть все такелажное оборудование: лебедки, тали и блоки. Количество оборудования зависит от числа печей и срока, в который необходимо смонтировать печное отделение. Лебедки в количестве двух-четырех штук следует установить снаружи у торцевых стен печного отделения. От этих лебедок протягивают тросы в любую точку печного отделения и через укрепленные вверху блоки поднимают необходимые детали. К монтажу печей приступают после того, как фундаменты под печи достаточно окрепли и закончено перекрытие здания.

При монтаже механических печей разных конструкций необходимы почти одни и те же знания и приемы; поэтому мы не будем описывать монтажи всех конструкций печей, а коснемся лишь печей Гумбольдта и Ведже, как наиболее часто встречающихся и включающих почти все детали, входящие в другие конструкции печей.

1. МОНТАЖ ПЕЧЕЙ ГУМБОЛЬДТА

Для получения сернистого газа на работающих заводах наиболее часто встречаются печи Гумбольдта 15- и 10-тонные, также и печи «Г».

Мы опишем здесь монтаж 15-тонных печей Гумбольдта и укажем на отклонения для остальных печей. Конструкция печей

Гумбольдта и все детали в них настолько хорошо разработаны, что в случае их точного выполнения заводами-изготовителями монтаж этих печей, несмотря на всю громоздкость и значительную величину отдельных деталей, не представляет большой сложности.

После предварительных работ, описанных выше, приступают к монтажу печи. Монтаж начинают с установки фундаментной плиты (рис. 14, 7, рис. 12, 13); ее затаскивают на фундамент и устанавливают на железных прокладках. Проверка плиты по высоте производится следующим образом: вблизи печи на стене или на колонне наносят постоянную черту на определенном расстоянии от постоянного пола помещения. Вычислив при помощи линейки и уровня или же нивелира, насколько верх плиты должен быть расположен выше или ниже этой постоянной черты, производят установку плиты по высоте, наблюдая при этом за примерным сохранением горизонтальности плиты по уровню. При этой установке для подкладок под плиту берут не только толстые куски железа, но и тонкие железные листы, дающие возможность производить перемещение плиты на небольшую высоту.

Для установки плиты в горизонтальном положении ее проверяют первоначально по уровню без плиты; для этого ставят уровень на верхнюю обработанную поверхность плиты и путем увеличения или уменьшения числа тонких железных подкладок устанавливают плиту строго горизонтально. После этого следует собрать тщательно промытые керосином детали: поставить на место пята 6 (рис. 14), вложить в нее опорные кольца 5 и на них буксу подпятника 15. Поворачивая буксу на небольшие углы вокруг оси по уровню, установленному на верхней обработанной части буксы, проверяют правильность всей установки. Эта проверка служит контролем не только правильности установки плиты, но и точности изготовления всех деталей. Следует иметь в виду, что при неправильной установке этих деталей опорные кольца не будут работать всей плоскостью и это поведет к их быстрому износу.

После описанной проверки можно залить цементным раствором фундаментную плиту и болты. Заливку следует производить жидким раствором с чистым промытым песком. Такой раствор хорошо заполняет все пространство под плитой. Так как плита, как уже было сказано, ставится несколько выше уровня фундамента, то перед заливкой кромки плиты необходимо оградить деревянным ящиком. После заливки следует наблюдать за уровнем раствора и по мере его усадки производить доливку. Мастер или бригадир, производивший установку плиты, должен присутствовать при ее заливке и наблюдать за тем, чтобы не была нарушена правильность установки.

После затвердевания раствора через 7—10 дней устанавливают большую шестерню и скрепляют ее болтами 4 с буксой подпятника 15. В шестерню вставляют стальную опору вала 1, которую шпильками 3 поднимают до средней высоты, требуемой по проекту.

При монтаже печи «Г» (рис. 10) подобным же образом и в та-

кой же последовательности устанавливают: фундаментную плиту 11, чугунное кольцо 10, опору 8 и подпятник 4. В подпятнике 4 имеются три кольца: одно из них стальное прикрепляется к валу, а второе стальное же — к подпятнику 4. Между стальными кольцами имеется свободное бронзовое кольцо. Смазка для трущихся поверхностей вала, колец и подпятника вводится через гнездо 6, в которое вставляется штауфер.

Вал перед постановкой тщательно осматривается для того, чтобы установить, нет ли в нем трещин или раковин, а также, чтобы узнать, хорошо ли он очищен от формовочной земли. Осмотр производят как снаружи, так и внутри, освещая внутреннюю часть электрическими лампочками. Кроме этого каждую часть вала испытывают водой; для этого готовят железные заглушки с отверстиями для болтов и ставят их на прокладках на нижние концы каждой части вала.

Гнезда для гребков забивают хорошо пригнанными пробками из мягкого дерева, затем, поставив часть вала вертикально, заполняют наружную полость водой и производят осмотр с внутренней полости, освещая ее опущенной внутрь электрической лампочкой.

Трещины и раковины опасны не только потому, что через них может просачиваться охлаждающий воздух внутрь печи, а опасны главным образом в отношении механической прочности вала, несущего большие нагрузки. Обнаруженные трещины и раковины заделывают пробками на резьбе или, что реже, электросваркой. Вал удобнее поднимать по частям на двух вертикальных стойках. Чтобы не столкнуть валом поставленные уже детали, следует во время подъема тросом от лебедки или талью оттягивать нижний его конец. После установки и обвалчивания всех частей вала следует проверить приблизительную правильность установки всего вала по вертикали; раскрепить тросами к стенам здания и оставить в таком положении до установки верхних направляющих роликов.

Проверку установки опорных колонн (рис. 12, 4) под корпус печи правильное производить совместно с опорной рамой (рис. 12, 3), так как небольшие отклонения от проекта при изготовлении колонн (например по высоте) не имеют большого значения. От установки же опорного кольца требуется большая точность как по высоте, так и относительно центрального вала.

Так как кольцо делается клепаным, то особой точности получить при установке нельзя. Проверку нужно производить длинной линейкой с уровнем, лежащим сверху линейки. Передвигая линейку по всей окружности кольца, наблюдают за показанием уровня и тонкими подкладками под колонны производят выверку кольца в горизонтальной плоскости.

Подобную проверку можно произвести также при помощи водяного уровня и при помощи этого же уровня можно проверить правильность установки опорного кольца в вертикальном направлении, сравнивая высоту его верхней кромки с высотой точеного фланца пяты.

Испытание и установка вала печей «Г» ничем не отличается

от описанного, но так как вал печи «Г» состоит из двух частей, а не из трех, то испытание и установку вала можно производить целиком, а не по частям. Печь «Г» не имеет опорных колонок и устанавливается на забетонированных балках, положенных на кирпичный или бетонный цоколь. Верхняя поверхность бетона, служащего опорой печи, должна быть проверена на горизонтальность и по высоте.

Для подъема вала верхний его конец при помощи лебедки затаскивают внутрь цоколя. После этого укрепляют вверху блок и той же лебедкой через верхний блок поднимают вал так, чтобы нижний его конец был несколько выше подпятника, привинчивают стальные кольца: одно к валу, а второе к подпятнику (рис. 10): между кольцами вкладывают бронзовое кольцо. Если почему-либо кожух и верхняя рама уже установлены, то на нижний конец вала надевают неразъемную песочницу, так как сверху она не проходит через раму. Чтобы в гнездо подпятника при подъеме не попали посторонние предметы, его закрывают мешковиной, которую снимают перед опусканием вала.

Кожухи печей высылаются с заводов в виде отдельных листов, которые при транспортировке разгибаются и теряют свою первоначальную правильную форму. При монтаже необходимо сделать шаблон по окружности кожуха и по этому шаблону выправить листы до необходимой цилиндрической формы кожуха. Поставленные без этой правки листы придадут отдельным поясам кожуха эллиптическую форму.

Для большей предосторожности следует по мере сборки проверять правильность каждого собранного на болты пояса, так как выправлять весь кожух после сборки очень трудно и сложно. При сборке кожухов нужно обратить внимание на правильное положение относительно газоходов отверстий для газовых коробок. После сборки кожуха на болтах и проверки правильности его положения относительно центра печи, высоты и газохода производят его клепку, и, если кожух имеет угольник на нижней кромке (рис. 12, 2), его привертывают болтами к опорной раме 3.

На кожухе печи устанавливают верхнюю раму (рис. 12, 11, рис. 15, 8). Рама создает жесткость в верхней части кожуха и на ней устанавливаются верхние направляющие ролики. Этими роликами при помощи нажимных болтов (рис. 15, 5) окончательно выверяют вертикальное положение вала по отвесам.

В некоторых конструкциях печи не имеют направляющих роликов (печь Герресгофа, рис. 2, первоначальный тип печи «Г»). В этом случае на верхней раме крепятся направляющие кольца для вала или его головки (рис. 2 и 4, 23). При отсутствии направляющих роликов вертикальность вала достигается правильной установкой верхних направляющих колец. Выходные штуцеры для огарка и уплотняющие кольца сводов устанавливаются в процессе футеровочных работ.

Для того чтобы точно сохранить зазор в 2,5—3 мм между сводовыми кольцами и валом, каждое кольцо закрепляется на валу,

забиваемыми снизу между кольцами и валом 5—6 клиньями одинаковой толщины. При забивании клиньев зазор по всей окружности проверяется шупом. Клинья выбивают лишь после производства футеровочных работ. Перед футеровкой необходимо проверить правильное положение дверок и воздушников относительно сводов печи. Если окажется, что отверстия для дверок не совпадают против проекта более, чем на 20—25 мм, то в этом случае вырезают автогеном новые отверстия, а старые неправильные заваривают. Рамы дверок и воздушников ставятся на сухом асбесте толщиной в 5 мм.

Установка питателя 15-тонной печи Гумбольдта (рис. 17) производится до футеровки сушильного свода. Весь питатель ставится комплектно, за исключением кольцевой плиты 6, которую можно вложить впоследствии. Тарелку питателя 1 подвешивают болтами к лапам 2 и поднимают теми же болтами до среднего проектного положения. Чугунное кольцо 3, замыкающее сушильный свод, подпирают через опалубку деревянными стойками, которые устанавливаются на нижележащем своде. Одновременно его расклинивают в нескольких местах строго концентрично с тарелкой питателя. После этого, установив и закрепив железную трубу 5 и штангу 4, можно будет приступить к футеровке верхнего свода.

Питатель в печи «Г» (рис. 11) устанавливают в следующей последовательности. Шпурнами 9 колокол питателя укрепляют на валу печи; одновременно с этим устанавливают и сводовую тарелку 7, расклинивая ее концентрично с колоколом и подпирая снизу стойками, поставленными на нижележащем своде. При установке тарелки 7 необходимо учесть осадку свода на 4—5 мм после снятия кружал. Колпак устанавливается после футеровки таким образом, чтобы расстояние от его нижней кромки до сводовой тарелки было равно 50 мм. Регулировка на высоте достигается шпильками 2.

Установка гребков производится после окончания футеровки, когда все своды вычищены от мусора и прочищен вал. Навеска лопаток на их места должна строго соответствовать номерам, представленным на каждой лопатке. Количество и номера лопаток для каждого свода указаны при описании печи. Для установки гребков пользуются инструментом, описанным при эксплуатации печи (стр. 208).

Гнезда и концы гребков у 15-тонной печи Гумбольдта обработаны и поэтому при новых не загоревших еще деталях монтаж гребков весьма прост и мы не будем на этом останавливаться, так как об этом было достаточно сказано при описании печей.

Конструкция крепления гребков на печах «Г» значительно хуже, чем у 15-тонных печей. При их установке необходимо следить не только за плотной пригонкой гребка к валу, но и за тем, чтобы стягивающая два противоположных гребка и проходящая через вал тяга была натянута таким образом, чтобы низ гребков был горизонтален. Гайки тяг заворачивают ключом через торцевые отверстия гребков, которые после заворачивания закрывают чугун-

ными пробками. Пробки после некоторого времени работы обычно трудно бывает открыть и их заменяют керамическими огнеупорными пробками, которые в случае надобности разбивают.

При пуске печей тяги удлиняются и гребки опускаются, что может повести к их поломке. Поэтому при разогреве и пуске печей необходимо следить за гребками и в случае надобности подтягивать тяги. Конструкция тяг с гайками сильно затрудняет операцию смены гребка при эксплуатации печей. Это и является одним из недостатков печи «Г».

Гнезда и концы гребков на верхнем сушильном своде не обработаны. Между тем при вращении вала оба гребка должны вращаться в одной горизонтальной плоскости. Установку этих гребков следует производить после окончания футеровочных работ, когда можно проворачивать вал. Поставив на место оба гребка, нужно измерить расстояние от одного гребка до верхнего свода и повернуть вал на 180° , измерить то же расстояние и у второго гребка. Расхождение в размерах устраняется путем наварки и подчистки запечников, которыми гребки упираются в верхние стенки гнезда. Этим же способом нужно добиться и горизонтальности нижней кромки гребков.

Привод печи можно устанавливать во время футеровки. Монтаж привода заключается в установке вала (рис. 12) с малой шестерней и редуктором. Соединение вала 14 с валом редуктора производится двумя шпильками в муфте 12. Диаметр шпилек 16 мм; они являются предохранительными, так как при сопротивлении в печи ломаются в первую очередь.

Перед установкой все подшипники и редуктор должны быть прочищены и осмотрены. Поверхность и наружная образующая муфт 12 точно обработаны и поэтому расположение вала редуктора и вала малой шестерни по одной горизонтальной прямой достигается установкой уровня на муфты и отсутствием зазоров между обеими муфтами.

В печах «Г» первоначально на центральном валу печи закрепляют болтами разъемную большую шестерню. Шестерня может несколько перемещаться в вертикальном направлении и она окончательно закрепляется после выверки всего приводного механизма. Затем устанавливают вал с конической шестерней и соединяют его с валом редуктора. Желательно, чтобы редуктор и подшипники передачи были установлены на одной фундаментной плите. Установив и выверив редуктор с приводом, заливают цементным раствором фундаментные болты.

II. МОНТАЖ ПЕЧЕЙ ВЕДЖЕ

Монтаж печей Ведже в общем подобен монтажу печей Гумбольдта. Главное затруднение при монтаже печей Ведже (рис. 35 и 36) заключается в установке валов, так как они изготовляются из котельного железа и не имеют снаружи обработанных деталей. Для печи Ведже с водяным охлаждением гребков (рис. 35), описа-

ние монтажа которой мы и даем, добавляется еще и то затруднение, что направляющие опоры вала лежат в трех плоскостях (палец 11, роликовые опоры 5, верхние ролики 13).

Так как трудность монтажа печей В е д ж е заключается в правильной установке клепаного вала, то мы главным образом и остановимся на этом.

Вал перед установкой следует проверить. Для этого его кладут на 4—5 опор и вдоль образующих туго натягивают несколько стальных нитей. Путем измерения расстояния от нити до вала определяют правильность цилиндрической поверхности вала. В случае большой неправильности расклепывают соответствующий стык вала, выправляют обичайку и снова склепывают, рассверлив отверстия для заклепок там, где это необходимо. Неправильность в вале бывает потому, что отдельные обичайки приклепаны друг к другу неправильно, или же потому, что вал был помят при транспортировке.

Выправив вал, его поднимают на мачтах в центре печи и оставляют в всячем положении до подвода под него большой шестерни. Шестерня свертывается болтами и сразу устанавливается на место. Ее поднимают домкратами, подкладывая по мере подъема деревянные бруски в трех-четырех местах. Бруски кладутся друг на друга, образуя клетки. Подняв шестерню на нужную проектную высоту, на нее опускают вал таким образом, чтобы он охватил выступающий борт шестерни. Во втулку шестерни сверху туго забивают железный диск с очень малым отверстием в центре. Через это отверстие опускают небольшой весок, по положению которого проверяют вертикальность оси втулки, а следовательно и вала. Внутренняя часть втулки и выступающий борт шестерни, охватываемой валом, должны быть точно обработаны.

Горизонтальное положение шестерни проверяют по обработанному ее ободу, которым она опирается на ролики 5. Проверку производят водяным уровнем, прикладывая его в диаметрально противоположных концах обода, примерно в 6—8 местах. Установив шестерню в строго горизонтальном положении и проверив вертикальность оси втулки шестерни, приступают к предварительной установке вала. До этого момента поднята и предварительно установлена лишь цилиндрическая часть вала до угольника 30. В верхней части вала несколько ниже угольника 30 укрепляют железный диск. На этом диске циркулем находят центр вала и просверливают в центре небольшое отверстие, через которое спускают весок с тем, чтобы он прошел и отверстие в диске, который укреплен во втулке шестерни.

Вал должен быть установлен таким образом, чтобы опущенная через верхний диск нить веска была в центре нижнего отверстия в диске втулки. Добившись этого, укрепляют верхний конец вала, а нижний берут на болты в том месте, где в дальнейшем будут заклепки 29; при таком положении вала проверяют горизонтальность кольца из угольника 30, приклепанного к верхней кромке вала. Верхняя часть вала выше угольника 30 проверяется отдельно.

Ее устанавливают на горизонтальной плите и укрепляют в верхней ее части также диск с маленьким отверстием в центре.

Веском, опущенным через отверстие в диске, проверяют правильность цилиндрической и конической частей, а также и правильную посадку кольца, по которому катаются верхние направляющие ролики. Особо обращают внимание на то, чтобы полка кольца, которая будет соприкасаться с угольником 30, была ровная и чтобы кольцо имело тот же диаметр, что и кольцо из угольника 30. Проверив и поставив верхнюю часть вала на угольник 30, опускают весок через все три отверстия в дисках и добиваются такого положения, чтобы нить веска находилась в центре всех трех отверстий. При наблюдении за веском нужно иметь в виду, что вследствие значительной длины нити она сильно качается и весок может давать неверные показания. Для уменьшения раскачивания следует на нижний конец нити подвесить тяжелый груз и подставить под него ведро с водой. В этом случае весок значительно скорее прекращает качание.

Закрепив нижнюю и верхнюю части вала в вертикальном положении, устанавливают ролики 13 и склепывают обе части вала в угольнике 30; одновременно с этим приклепывают нижнюю часть вала заклепками 29. После соединения частей вала привертывают к шестерне крестовину 10 таким образом, чтобы ее ось была строгим продолжением оси втулки. Затем устанавливают палец 11, подпятник 12 и всю передачу печи так, чтобы можно было вращать вал. По окончании установки передачи и роликовой опоры пускают на некоторое время мотор, наблюдая за вращением вала и роликовой опорой, а также за состоянием подпятника и верхних направляющих роликов.

Испытав таким образом вращение печи, устанавливают на валу кольца 20.

Для того чтобы кольца 20 установить точно в отношении оси вала, даже при несколько неточном изготовлении самого клепаного вала, внутренний диаметр колец делают больше внешнего диаметра вала. При установке колец правильность их посадки в отношении оси вала проверяют при помощи рейсмуса, конец которого все время должен касаться окружности кольца при полном обороте вала, чего достигают забиванием железных клиньев в зазор между кольцами и валом. После тщательной выверки колец 20 в отношении оси вала они прикрепляются к валу болтами или заклепками. Опорные сводовые кольца 26 устанавливаются в период футеровки. Они расклиниваются до кладки соответствующего свода на кольцах 20 с зазором в 5 мм. Зазор в 5 мм при клепаном вале возможен лишь при весьма тщательной установке колец 20 в отношении оси вала. При неправильной посадке колец 20 они при вращении печи будут цеплять сводовые кольца 26. Зазор больше 5 мм между кольцами 20 и 26 не допустим, так как при большем зазоре через него будет просыпаться колчедан. Соприкасающиеся поверхности колец 20 и 26 должны быть точно обработаны на станках.

Таблица 29

Наименование элементов работ	Рабочие			Количество трудо- часов	
	специаль- ность	раз- ряд	коли- чество	на 1 ра- бочего	всего
Подготовительные работы					
Подтянуть все детали печи на 25 м	Таколажни- ки	4 3 2	1 1 3	25,6 25,6 25,6	25,6 25,6 76,8
Проверить наличие деталей печи по чертежам (листы, вал, гребки, дверцы, шестерни, редуктор, лопатки для гребков, верхние гребки, пята- тель)	Котельщики	6 3 2	1 1 1	10,0 10,0 10,0	10,0 10,0 10,0
	Слесари	5 3 2	1 1 1	14,0 14,0 14,0	14,0 14,0 14,0
Проверить место установки по чертежу	Слесари	6 2	1 1	3,0 3,0	3,0 3,0
Монтажные работы					
Установить и собрать кожух печи на болтах, включая про- верку и правку листов, клеп- ку кожуха с подвальцовкой листов, с установкой приспособ- ления для подъема частей печи	Котельщики	6 5 3 2	1 1 2 3	118,0 118,0 118,0 118,0	118,0 118,0 236,0 354,0
Установить на болты дверцы с постановкой асбестовых прокладок	Слесари	4 3 2	1 1 1	28,0 28,0 28,0	28,0 28,0 28,0
Поднять и установить верхнюю раму и укрепить на ней верх- ний подшипник вала	Слесари	6 4 2	1 1 1	15,0 15,0 15,0	15,0 15,0 15,0
Установить подшипник и вал с головкой, с выверкой и смазкой	Слесари	6 4	1 1	18,0 18,0	18,0 18,0
Выверить вал по центру кожуха по вертикали и по отношению гребков и сводов	Слесари	3 2	1 1	18,0 18,0	18,0 18,0
Подогнать гребки по гнездам вала и установить их на место, проверив по отноше- нию к сводам, с постановкой зубьев	Слесари	4 3 2	1 1 1	46,0 46,0 46,0	46,0 46,0 46,0

Продолжение

Наименование элементов работ	Рабочие			Количество трудо- часов	
	специаль- ность	раз- ряд	коли- чество	на 1 ра- бочего	всего
Установить нижние шестерни и привод к редуктору	Слесари	6	1	21,0	21,0
	"	4	1	21,0	21,0
	"	3	1	21,0	21,0
	"	2	1	21,0	21,0
Разобрать, осмотреть, промыть, прочистить и вновь собрать редуктор	Слесари	5	1	16,0	16,0
	"	3	1	16,0	16,0
	"	2	1	16,0	16,0
Установить редуктор, соединив его с приводом, проверив по отношению к трансмиссии	Слесари	6	1	12,0	12,0
	"	4	1	12,0	12,0
	"	3	1	12,0	12,0
	"	2	1	12,0	12,0
Собрать и установить механизм питателя	Слесари	5	1	15,0	15,0
	"	4	1	15,0	15,0
	"	3	1	15,0	15,0
	"	2	1	15,0	15,0
Установить гребки (верхние) с лопатками и отрегулиру- вать их по горизонтальной линии	Слесари	5	1	12,0	12,0
	"	3	1	12,0	12,0
	"	2	1	12,0	12,0
Установить все масленки с за- правкой их тавотом и за- ливкой редуктора маслом	Слесари	4	1	9,0	9,0
	"	3	1	9,0	9,0

Футеровка печи (см. футеровочные работы)

Испытание

Опробовать работу механизмов после кладки сводов	Слесари	5	1	8,0	8,0
	"	3	1	8,0	8,0
	"	2	1	8,0	8,0

Итоговые данные работы в трудочасах

Наименование квалификации	Разряды					Приведен- ные к пер- вому раз- ряду
	6	5	4	3	2	
Котельщики . . .	128,0	118,0	—	246,0	364,0	1451,36
Слесари	69,0	65,0	164,0	214,0	208,0	1213,74
Ткачевы	—	—	25,6	25,6	76,8	175,62
Итого . . .	197,0	183,0	189,0	486,6	648,8	2840,72

В первоначальной конструкции печи (Незский химкомбинат) не было колец 26 и это приводило к большому содержанию серы в огарке и даже к потуханию печи. Это и привело к реконструкции печей по рис. 35. Питатель печи аналогичен питателю печи «Г», монтаж которой описан выше, поэтому здесь мы на нем и не будем останавливаться. В этой печи болты, которыми питатель прикрепляется к валу, необходимо завертывать изнутри вала, так как при нахождении гаек внутри вала они не загорают и легко будут отвертываться. Отверстие для болтов следует сделать продольговым в вертикальном направлении, что даст возможность при надобности опускать или поднимать питатель.

При изготовлении гребков их концы следует обрабатывать таким образом, чтобы они входили в гнезда с зазором в 1—2 мм. При цилиндрических поверхностях гребка и гнезда и при отсутствии зазора гребки настолько сильно пригорают, что при выемке их приходится применять специальные домкраты. Зазор в 1—2 мм в этих печах не может принести вреда, так как вал здесь не охлаждается воздухом под давлением.

Монтаж печи Ведже с воздушным охлаждением (рис. 36), в связи с улучшением конструкции вала и его опор, проще, чем монтаж печи с водяным охлаждением. Монтаж этой печи можно производить, руководствуясь описанием монтажа печей Гумбольдта и печи Ведже с водяным охлаждением.

III. ПОТРЕБНОСТЬ В РАБОЧЕЙ СИЛЕ ПРИ МОНТАЖЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Для монтажа механических печей нужны следующие квалификации рабочих: слесари, котельщики, такелажники. Количество людей этих квалификаций и время, затрачиваемое на производство работ, для печей Гумбольдта, печей «Г» и печей пылевидного обжига видно из приводимых данных.

Для монтажа печи Гумбольдта производительностью 15 т колчедана в сутки затрачивается по отдельным элементам работ и квалификации следующая рабочая сила (табл. 29, стр. 282).

Процесс монтажа для 10-тонной печи Гумбольдта и для печи «Г» тот же, что и для 15-тонной. Итоговые данные рабочей силы для монтажа этой печи даны в трудочасах в табл. 30.

Таблица 30

Группа работ	Разряды					Приведенные к первому разряду
	6	5	4	3	2	
Слесари	81,0	51,0	146,5	194,5	188,0	1133,57
Котельщики	108,0	100,0	—	208,0	308,0	1177,28
Такелажники	—	—	23,0	23,0	69,0	157,78
Итого	189,0	151,0	169,5	425,5	565,0	2468,63

Таблица 31

Наименование элементов работ	Рабочие			Количество трудо-часов	
	специаль- ность	раз- ряд	коли- чество	на 1 ра- бочего	всего
Подготовительные работы					
Подтянуть все детали печи на 25 мм	Такелаж- ники	4	1	8,72	8,72
		3	2	8,72	8,72
		2	3	8,72	26,16
Проверить наличие деталей пе- чи по чертежам	Котель- щики	6	1	4,0	4,0
		3	1	4,0	4,0
		2	1	4,0	4,0
Проверить места установки по чертежам	Котель- щики	6	1	2,0	2,0
		2	1	2,0	2,0
Монтажные работы					
Установить и собрать кожух печи на болтах, включая про- верку и правку их по верти- кали и диаметру, клепку с подвальцовкой листов с уста- новкой приспособления для подъема листов печи	Котель- щики	6	1	89,0	89,0
		5	1	89,0	89,0
		3	2	89,0	178,0
		2	3	89,0	267
Установить двери воздуш- ников	Слесари	4	1	14,0	14,0
		3	1	14,0	14,0
Установить нижний конус печи с водяным охлаждением и шибером для выхода огарка	Котель- щики	5	1	12,0	12,0
		3	1	12,0	12,0
		2	1	12,0	12,0
Просмотреть, проверить, прочи- стить и смазать питающие механизмы	Слесари	5	1	12,0	12,0
		3	1	12,0	12,0
		2	1	12,0	12,0
Установить шнеки 3 шт. с транс- миссиями, приводом переключе- телями и выключателями	Слесари	6	1	32,0	32,0
		4	1	32,0	32,0
		3	1	32,0	32,0
		2	1	32,0	32,0
Установить чугунную форсунку	Слесари	5	1	4,0	4,0
		2	1	4,0	4,0
Соединить форсунки и шнеко- вые питатели с трубами для подачи колчедана	Слесари	4	1	8,0	8,0
		3	1	8,0	8,0
Соединить питатели с бункером	Слесари	4	1	5,0	5,0
		3	1	5,0	5,0
		2	1	5,0	5,0
Собрать кольцевой воздухопро- вод, подводящий воздух в печь, и установить 6 фуры с присоединением к линии воздухопровода	Слесари	5	1	6,0	6,0
		3	1	6,0	6,0
		2	1	6,0	6,0

Футеровка (см. нормы на футеровочные работы)

Испытание

Произвести опробование и регу- лировку подающего меха- низма	Слесари	5	1	8,0	8,0
	"	3	2	8,0	16,0

Продолжение табл. 31

Итоговые данные рабочей силы в трудо-часах

Наименование квалификации	Разряды						Приведен- ные к первому разряду
	7	6	5	4	3	2	
Котельщики	—	95,0	101,0	—	194,0	285,0	1142,54
Слесари	—	32,0	30,0	59,0	93,0	59,0	477,78
Такелажники	—	—	—	8,72	28,76	26,16	59,82
Итого	—	127,0	131,0	67,72	295,72	370,16	1680,14

Для монтажа цилиндрической печи пылевидного обжига, производительностью 25 т колчедана в сутки, затрачиваемая рабочая сила по отдельным элементам работ и рабочим квалификациям представлена в табл. 31.

IV. ФУТЕРОВКА ПЕЧЕЙ

Приемы футеровки и требования, предъявляемые при футеровке к разнообразным типам печей, мало отличаются друг от друга. Мы опишем здесь футеровку печей «Г» (рис. 9), как наиболее распространенную.

После механического монтажа печи необходимо проверить правильность установки вала, кожуха, дверок и газовой коробки. Вал печи проверяется по отвесу, а его верхняя торцевая поверхность по уровню. В дальнейшем вал служит основанием для всех измерений при установке деталей и при кладке сводов.

При установке кожуха нужно стремиться к тому, чтобы все точки его стенки были равно удалены от вертикальной оси вала, т. е. чтобы кожух имел цилиндрическую форму и стоял вертикально. Все замеченные неправильности кожуха отмечают мелом на внутренней его стороне, чтобы рабочие и технический персонал всегда имели их в виду в процессе работы. На кожухе также следует разметить всю печь по высоте, как-то: положение сводов, гребков, дверок и т. д. При разметке необходимо обратить внимание на то, чтобы расстояние от нижнего свода до нижней кромки лопаток гребков того же свода было равным 30—40 мм, если нет указания в проекте на другую величину. По этой разметке сверяют положение вырубленных в кожухе отверстий для дверок и воздушников.

Требующиеся для футеровки монтажные камни должны по своим размерам соответствовать чертежам. Иногда случается, что нехватает некоторых номеров камней; тогда недостающие камни приходится заменять другими номерами большего размера, подтесывая их до размера нужного камня. При подобной замене свод,

естественно, несколько ослабевает и поэтому подтеку не следует допускать как правило, а прибегать к ней лишь в исключительных случаях. Камни должны быть рассортированы и сложены под навесом для предохранения их от влажности и других вредных погод. Футеровку следует производить в теплое время года или в отапливаемом помещении. В крайности можно допустить производство футеровочных работ и в холодном помещении, но в этом случае вокруг печи должен быть сделан тепляк и печь необходимо обогревать внутри временками с тем, чтобы температура в тепляке никогда не падала ниже 2° .

Футеровка ведется на шамотной массе, состоящей из одной части шамотной глины и двух частей отсеянного шамота. Глина и шамот отсеиваются через сито со 100 отверстиями на 1 см^2 . На один свод идет около 0,5—0,6 т отсеянной огнеупорной глины и шамота.

До начала работ нужно заготовить для футеровщиков следующие инструменты: 1) стальные кирки для подтесывания камней из расчета по 5 шт. на одного футеровщика; 2) рогадку из полосового железа, обхватывающую полуокружность вала; к рогадке приделывается деревянная рейка, которой измеряется расстояние швов от вала; 3) деревянные молотки по две штуки на печь; 4) кувалды по одной штуке на печь; 5) железные прямоугольные угольники для проверки направления швов по 3 шт.; 6) деревянные рейки для проверки по уровню кладки; 7) уровни по 1 шт. на печь; 8) лопатки (мастерки) по 2 шт. на футеровщика.

Кладку сводов производят по опалубке. На рис. 106 представлена опалубка для печи «Г». Опалубка делается из леса толщиной 40—50 мм. Каждая доска 1 опалубки представляет собой трапецию, положенную широким основанием к периферии печи, а узким к валу. Опалубка поддерживается кружалами 2, изготовляемыми из брусков $125 \times 125 \text{ мм}$ или из досок $250 \times 50 \text{ мм}$. На каждом своде устанавливаются три кружала, подпираемые деревянными стойками 3, размером $125 \times 125 \text{ мм}$.

Нижний конец стоек опирается на два клина 4, что делается с целью облегчения из выбирания при разборке кружал. Так как

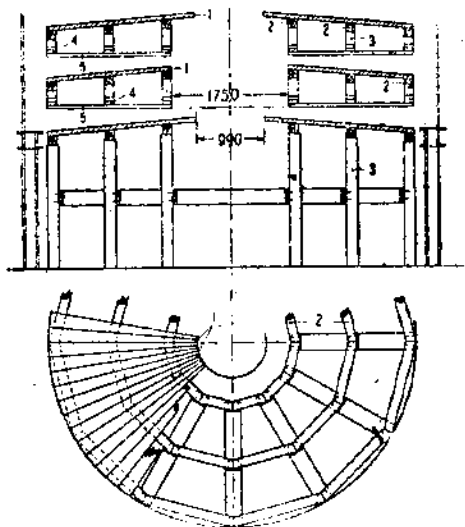
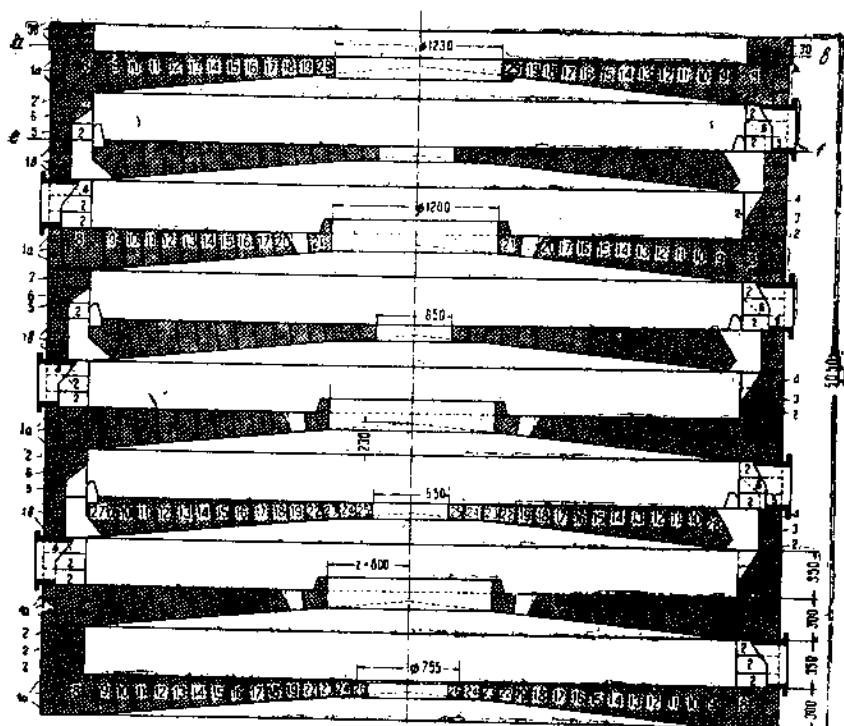


Рис. 106. Опалубка для кладки сводов печи:

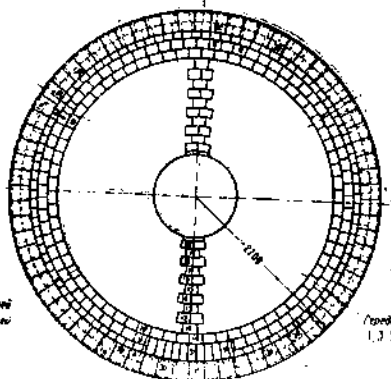
1 — опалубка, 2 — кружала, 3 — стойки, 4 — клинья, 5 — подкладочные доски.

стойки 3, опираясь на свод, могут его придавить, то под них подкладывают доски 5. Опалубка должна иметь подъем, соот-



Разрез по а-б

Разрез по е-г



Внутренний диаметр
24,5 см

Внутренний диаметр
1,35 м

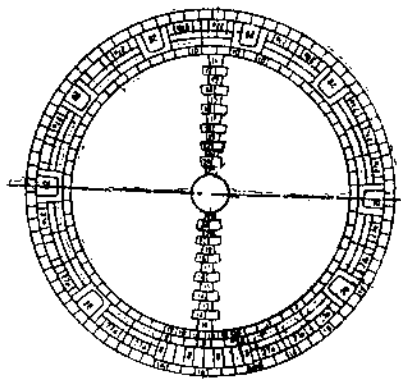


Рис. 107. Футеровка печи.

ветствующий проекту, который для печи «Г» равен 180 мм. Опалубка настилается плотно по кругам без зазоров. Для ровной укладки камней стыки опалубки состругиваются. Стойки

для кружал нижнего свода устанавливаются на доски, положенные на землю. Перед началом футеровочных работ рекомендуется проверить в каждой из печей опалубку нижнего свода выставленными на место гребками. Такая проверка особенно необходима для нижнего свода, так как она контролирует и всю остальную разметку.

При установке кружал следует принять во внимание осадку сводов после уборки опалубки. Поэтому к проектному подъему опалубки (для печи «Г» — 180 мм) на осадку сводов прибавляют 4—5 мм. Наибольшая осадка свода происходит у вала, постепенно уменьшаясь к периферии; правильно смонтированный свод на 5—6-м кольце свода (считая от вала) не дает уже никакой осадки.

На рис. 107 представлены вертикальный и горизонтальные разрезы футеровки печи «Г». Кладку футеровки начинают с вертикальной стенки. Все камни стен 1а, 1в, 2, 3, 4, 5, 6 кладутся кольцами по кожуху печи и не требуют тщательной пригонки с внешней и внутренней сторон, за исключением камней 1а и 1в. В камнях 1а и 1в плоскость, прилегающая к сводовым камням, должна быть особо тщательно притесана, так как она служит пятой для сводов. Расстояние между каменной стеной и кожухом печи при нормальной установке должно быть не более 25—30 мм. Образующийся таким образом зазор между керамикой и кожухом забивают щебенкой, оставшейся от подтепки, и заливают цементным раствором состава: 1 ч. цемента и 3 ч. песка или шамота. При крупных камнях для пят свода можно их стыки распереть лещадкой, а пространство между лещадками засыпать сухим шамотом или песком. Такое закрепление пятых камней показано на рис. 108.

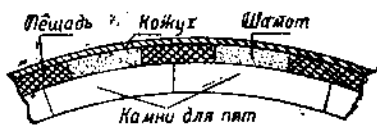


Рис. 108. Крепление пятых камней.

Зазоры между кладкой и кожухом в остальных местах заполняют сухим шамотом или песком. Проемы для дверок и воздушников для предупреждения высыхания шамота из зазоров обделывают лещадкой на шамотно-глиняном растворе. При кладке камней 1а рогаткой с рейкой проверяют расстояние камней от центра печи. Камни сторонами, обращенными внутрь печи, должны образовать правильное кольцо с радиусом точно по проекту. После укладки на растворе камней 1а набирают насухо сводовое кольцо из камней 8. Каждый ряд или кольцо в своде подбирается и притесывается первоначально насухо.

Притеска ведется кирками утяжеленного и легкого типа; первая нужна для грубой притески, а вторая для чистой. Каждый футеровщик за один рабочий день сменяет до 4 кирок, которые поступают затем на оттягивание и заточку. Наиболее удобная для работы ширина лезвия кирок 60 мм. Камни должны притесываться со всех сторон таким образом, чтобы они прилегали друг к другу полной поверхностью. Швы камней должны быть строго радиаль-

ными, а в другом направлении линии швов должны составлять правильные концентрические круги без всяких выступов. После притески камня угол между опалубкой и стенкой камня должен быть равным 90° в печах «Г», что проверяется железным угольником. Притеска проверяется стальной узкой полосой толщиной в 1 мм; такая полоса не должна свободно проникать между притесанными плоскостями.

Притесанное кольцо свода расклинивается замками, т. е. камнями, имеющими боковую клинчатую растеску по 10 мм на каждой стороне; такие камни в притесанном насухо кольце выдаются вверх на $\frac{1}{3}$ своей высоты. Замки забиваются при кладке камней на растворе. Число замков зависит от радиуса кольца. В кольце из камней 8 забивают 10—12 замков. Малое кольцо у вала имеет 2—3 замка. После того как все кольцо притесано и проверено бригадиром, приступают к укладке его на шамотной массе указанного выше состава. Масса не должна содержать крупных частичек, которые могут попасть в корыто при теске. По укладке кольца на шамотной массе приступают к забиванию замков. Замки забиваются одновременно во всем кольце. Для предупреждения раскалывания замков их следует забивать деревянными молотками или же подкладывать доски под удар молотка. Замки следует ставить на жидком растворе.

Заключив укладку на шамотном растворе кольца из камней 8, набирают и укладывают следующее кольцо из камней 9, соблюдая все правила и приемы, указанные выше. Подобным же образом ведут кладку до кольца из камней 23. При кладке свода все время проверяют горизонтальность верха свода линейкой и уровнем, а также наблюдают за тем, чтобы швы в одном кольце шли в пересвязку со швами в следующем кольце. В нижнем своде еще до кладки камней устанавливают на место точно по проекту течки для огарка. После укладки кольца из камней 23 точно устанавливают сводовое чугунное кольцо, которое расклинивают на валу, как это сказано при описании монтажа печи. К чугунному кольцу притесывают и укладывают кольцо из камней 26 и после этого уже кольцо из камней 24.

Параллельно с укладкой сводовых колец ближе к валу можно продолжать кладку камней 2 цилиндра печи. При кладке камней 2 первоначально кладутся камни 7 (не указанные на рисунке) с цилиндрическим отверстием для подачи воздуха в печь. Эти отверстия должны точно совпадать с отверстиями в кожухе печи, предназначенном для установки воздушников.

Кладка камней второго снизу свода производится аналогично кладке первого свода. Особое внимание обращается на тщательную притеску и укладку камней 21, так как в этом своде отсутствует чугунное сводовое кольцо и все напряжения, могущие возникнуть в этом своде в направлении к валу печи, воспринимаются кольцом из камней 21.

Все вышеописанные своды делаются так же, как первый и второй своды (снизу), только при кладке сводов третьего, пятого и седь-

мого (снизу) надо обращать внимание на то, чтобы камни 28 и 27а с отверстиями для пересыпания колчедана и перехода газа не приходились против дверок.

При кладке всех сводов нужно следить за тем, чтобы расстояние между сводом и нижней кромкой лопаток гребков было в пределах 25—50 мм. До укладки верхнего сушильного свода следует установить питатель, как это описано при монтаже печей, и по нему уже наметить правильное положение свода.

Камни 29 сушильного свода укладываются после сводового кольца из камней 18 и после этого уже укладывается кольцо из камней 19. Удаление кружал производится после того, как достаточно окреп цементный раствор между футеровкой и кожухом печи, т. е. через 3—4 дня после окончания кладки свода. Вынутые кружала могут пойти для кладки сводов следующих печей. Иногда кружала не вынимают, а сжигают в печи при их сушке. Мы не рекомендуем этого делать, так как в этом случае не всегда возможно своевременно определить осадку свода, как это делается при снятии кружал, и кроме того при горении высокая температура может повредить свод.

Правильно сложенный свод не должен после удаления кружал давать осадку больше 5—6 мм. Осадку определяют путем измерений расстояний между сводом и рейкой, положенной одним концом в гнездо гребка, а другим у периферии печи. Измерения производят по радиусам печи в трех-четырех местах до и после снятия кружал. При испытании свода нагрузкой на него 2 т груза осадка свода не должна быть больше 8—10 мм.

Для производства работы по футеровке печей обычно ставят бригаду, состоящую из 4—6 футеровщиков и 2—3 чернорабочих. Необходимое количество футеровщиков для кладки сводов и стен печей Гумбольдта можно определить из следующих данных: бригада, состоящая из четырех футеровщиков (2 чел. 6-го разряда, 2 чел. 5-го разряда), затратит на каждого работающего на кладку 1 м³ по 9 час. при 10-тонных печах и по 8 час. при 15-тонных печах. Производимая ими работа заключается в проверке камней на звук и подборе их на место, в притеске и притирке камней, в верстовке их насухо, в перелопачивании шпательного готового раствора, в кладке камней на растворе и в проверке правильности кладки по уровню, отвесу и лекалу. Для подноски и подъема материалов, а также для приготовления раствора к бригаде прикрепляются два чернорабочих, которые оплачиваются отдельно.

При кладке печей пылевидного обжига бригада футеровщиков в составе 1 чел. 6-го разряда и 2 чел. 5-го разряда затратит следующее количество времени (в часах) на каждого работающего: для кладки 1 м³ на футеровку боковой поверхности печи на растворе с тщательной притеской и притонкой 3,7 часа; на кладку же свода при фасонном огнеупоре с притеской 9,3 часа. При отсутствии фасонного огнеупора для обрубки и тщательной его притески требуется 11,1 часа на 1 м³ и кроме этого для кладки притесанного огнеупора 4,5 часа.

У. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА КЕРАМИКУ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Керамика, или, как ее называют, футеровка, является основным материалом, применяемым при сооружении печей. Она относится к шамотным огнеупорным изделиям, которые изготавливаются путем обжига смеси из огнеупорного шамота и огнеупорной глины.

В нашей практике приходилось встречаться с весьма разнообразными и порой противоречивыми требованиями, предъявляемыми техниками при заказе футеровки. Так как до настоящего времени отсутствует утвержденный стандарт на футеровку для колчеданных печей, то поэтому мы считаем необходимым описать те технические условия, которые, по нашему мнению, следует предъявлять при заказе на футеровку.

Огнеупорность футеровки. В зависимости от огнеупорности, шамотные изделия разделяются на три класса: А, Б и В. Огнеупорность класса А должна быть не ниже 1730° , класса Б не ниже 1670° и класса В не ниже 1580° . Так как во всех печах, применяемых для получения сернистого газа, температура во время процесса значительно ниже приведенных, то мы считаем, что футеровка для печей может быть приготовлена из смеси, отвечающей любому из трех классов. Требование же, чтобы футеровка по огнеупорности отвечала непременно классу А или В, мы считаем неправильным.

Форма и внешний вид. Поверхность камней должна быть ровной, без заметных на глаз трещин и искривлений, нарушающих заданную форму изделий. Не допускается зашлакованность поверхности камней. Размеры камней должны соответствовать чертежам; допускаются отклонения в ту и другую сторону не более 2%. Отбитость и притупленность ребер и углов допускается не более 5 мм. Допускаются отдельные посечки, но не трещины шириной до 1 мм, длиной до 15 мм. Кривизна (толщина шва) при длине стороны до 400 мм допускается до 3 мм и при длине до 600 мм не более 5 мм. Допускаются отдельные выплавки диаметром до 5 мм.

Строение. Камни в изломе не должны иметь раковин, пустот и трещин. Допускаются лишь отдельные посечки шириной до 0,5 мм и длиной до 10 мм. Поверхность излома должна быть однородной без крупных включений. Отдельные зерна шамота не должны выпадать или легко крошиться. Величина зерен шамота не должна быть более 3 мм.

Обжиг. Камни должны быть хорошо обожжены и при ударе стальным молотком издавать чистый, недребезжающий звук.

Механическая прочность. Временное сопротивление на сжатие при нормальной температуре должно быть не менее 100 кг/см^2 .

Дополнительная усадка. Камни после нагревания их в течение двух часов при температуре 1250° должны давать усадку не более 0,7%.

Водопоглощение и пористость. Водопоглощение определяется 4-часовым кипячением с последующим 2-суточным вымачиванием. При таком испытании кирпич не должен поглощать влаги более чем 10—14% от своего веса.

Термическая устойчивость. Камень, нагретый при температуре 850°, опускают в воду. После охлаждения в воде его снова нагревают. Процесс этот повторяется до тех пор, пока не наступит значительное разрушение, растрескивание, расслоение камня. По числу повторных нагревов и охлаждений судят о термической устойчивости испытуемого образца. Таких повторных охлаждений (теплосмен) камень должен выдерживать 3—6. Если футеровка заказывается для печей с водяным охлаждением гребцов, то камни должны выдерживать 5—6 теплосмен, для печей же с воздушным охлаждением достаточно 1—2 теплосмен. Так как камни с большой пористостью выдерживают обычно больше теплосмен, то для печей с водяным охлаждением можно допускать большую пористость.

Маркировка. Камни должны быть снабжены неглубоким (не более 2 мм) и не широким клеймом на нерабочей стороне с указанием завода-изготовителя и номера камня по чертежу.

Хранение и перевозка. Камни должны храниться отдельными партиями в условиях, не допускающих их увлажнения и последующего замораживания, в штабелях не выше 2 м с выставкой номера и числа на каждом штабеле. Проходы между штабелями различных марок должны быть не менее 0,6 м.

Перевозка камней допускается лишь в крытых вагонах с укладкой сплошными рядами по всей площади вагона и с прокладкой соломой между рядами.

Фасонные камни с острыми очертаниями и выступающими частями должны быть упакованы в ящики или в обрешетку.

Отбор проб. Отбор проб камней для освидетельствования и лабораторных испытаний производится от каждой партии:

1. По внешнему виду и размерам достаточно освидетельствовать по 20 камней от каждой партии, однако не менее чем по одному камню от каждого номера.

2. По строению — 8 камней разных размеров.

3. По огнеупорности — 1 камень.

4. По временному сопротивлению на сжатие — 5 камней разных номеров.

5. По дополнительной усадке — 3 камня.

Примечание. Освидетельствованию и испытанию по пп. 2, 3, 4 и 5 подвергаются образцы, осмотренные по п. 1.

Партия считается принятой, если:

а) по п. 1 — из 20 образцов 18 отвечают техническим условиям;

б) по п. 2 — из 8 образцов 7 отвечают техническим условиям;

в) по п. 2 — из 5 образцов 4 отвечают техническим условиям.

При этом среднее из пяти образцов должно быть не ниже вышеуказанных требований и ни один из образцов не должен иметь временного сопротивления сжатию меньше 80 кг/см^2 ;

г) по п. 5 из трех образцов два должны отвечать техническим условиям, при этом среднее из результатов испытаний трех образцов должно быть не ниже вышеуказанных требований и дополнительная усадка ни в одном из образцов не должна превышать 1%.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

КРИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПЕЧЕЙ

Описанные нами выше печи для сжигания колчедана по принципу работы разделяются на три класса.

I. Механические печи, где колчедан горит, передвигаясь по поверхности обжига.

II. Печи пылевидного обжига, где колчедан горит на лету в атмосфере обжига.

III. Вращающиеся печи, в которых колчедан горит, передвигаясь по поверхности сводов и в атмосфере обжига. Эти печи занимают среднее положение между первым и вторым классами.

Каждая печь отличается от других печей своими особенностями, а также своими недостатками и преимуществами.

Работников, занятых в производствах, где имеются печи для получения SO_2 , должен занимать вопрос, какой же тип печей наиболее дешев при постройке и наиболее выгоден при эксплуатации.

Для выяснения вопроса о преимуществах каждого из выше названных классов печей возьмем ряд сравнительных показателей. Для сравнения возьмем 15-тонную печь Гумбольдта, как наилучшую из механических печей, крутую печь пылевидного обжига, сжигающую 25 т пылевидного колчедана в сутки, и 15-тонную горизонтальную вращающуюся печь¹.

При диаметре печи Гумбольдта 6 м и высоте 6,11 м объем ее равен

$$\frac{3,14 \cdot 6^2 \cdot 6,11}{4} = 172 \text{ м}^3.$$

Объем крутой печи пылевидного обжига при диаметре 4,2 м и высоте 7,5 м равен

$$\frac{3,14 \cdot 4,2^2 \cdot 7,5}{4} = 100 \text{ м}^3.$$

Объем 15-тонной вращающейся печи при диаметре 2 м и длине 20 м равен

$$\frac{3,14 \cdot 2^2 \cdot 20}{4} = 63 \text{ м}^3.$$

¹ Сравнение печей нами дается, исходя из их паспортной производительности; все описанные печи могут быть форсированы почти в одинаковой степени.

Интенсивность печей в $\text{кг/м}^3 \cdot \text{час}$ (количество колчедана, сгораемого в единице объема печи в час) будет для печей Гумбольдта

$$\frac{15\,000}{172,24} = 3,67 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{час};$$

для печи пылевидного обжига

$$\frac{25\,000}{100,24} = 10,4 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{час};$$

для вращающейся печи

$$\frac{15\,000}{63,24} = 9,9 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{час}.$$

Таким образом интенсивность печи пылевидного обжига является наивысшей и при рассмотрении конструкции печей видно, что эта печь наиболее простая, а поэтому и самая дешевая. Отсюда следует, что при одной и той же производительности печного отделения первоначальные затраты будут наименьшими в том случае, если в печном отделении будут установлены печи пылевидного обжига.

При нашем рассуждении нами принята паспортная производительность печей. Достигнутая на некоторых заводах производительность для печей ВХЗ ~ 30 т и пылевидного обжига ~ 40 т хотя и увеличивает несколько интенсивность в пользу механических печей, но и при этом увеличении все же интенсивность механических печей значительно ниже других типов печей.

Технологические показатели печей приведены в табл. 32.

Таблица 32

Тип печи	Допустимая температура при обжиге в °С	Получаемая концентрация в газе в %	Запыленность газов в г/м³	Содержание серы в отгарке в %	Допустимая влажность колчедана в %	Размер частиц колчедана в мм
Механические	750	7—9	2—9	1,2—1,8	3,5	6—8
Пылевидного обжига . .	1200	12	30—100	2—2,5	0,5—1	0,07
Вращающиеся	1050	10—11	6—10	0,8—1	—	0,07—10

Из сравнения приводимых данных видим, что в отношении температуры и концентрации газа на первом месте стоят печи пылевидного обжига, а затем горизонтальные.

Высокая температура газов позволяет поставить вопрос об утилизации тепла этих газов. Высокая концентрация SO_2 в газах также дает эффект в ряде производств.

Кажущийся недостаток печей пылевидного обжига состоит в том, что они требуют тонкого размола колчеданов. Тонкий размол кускового колчедана значительно удорожил бы производство. Но так как роль обыкновенного колчедана быстро падает, а потребление флотационного колчедана — отброса цветной промышленности — растет и будет расти, то мелкость колчедана не только не может служить препятствием для развития печей пылевидного обжига, а, наоборот, будет способствовать этому развитию.

Полный расход энергии¹ на 1 т сжигаемого колчедана для всех печей следующий:

15-тонная печь Гумбольдта	11 kWh
Печь пылевидного обжига № 3	8 "
Вращающаяся 15-тонная печь	12 "

Таким образом расход энергии в печах пылевидного обжига наименьший. Полное отсутствие в печах пылевидного обжига движущихся механизмов, работающих в условиях высокой температуры, уменьшает эксплуатационные расходы на ремонт и замену деталей.

Все изложенные преимущества, метод работы и простота конструкции печей пылевидного обжига говорят о том, что эти печи следует считать наиболее прогрессивным типом печей.

Работающие в настоящее время печи пылевидного обжига имеют еще ряд весьма крупных недостатков, сводящих на-нет их преимущества. Большая запыленность газа значительно усложняет и удорожает очистку. Раскаленный отарок, высыпавшийся из бункеров печей, создает весьма тяжелые условия при эксплуатации. Необходимость дополнительной сушки колчедана на месте потребления также является одним из недостатков этих печей. Но ведь и конструкция современных механических печей, работающих в настоящее время вполне удовлетворительно, явилась не сразу. Для этого потребовался не один десяток лет. Печи же пылевидного обжига появились совсем недавно и конструкторская мысль не имела еще достаточно времени для их усовершенствования. Такие крупные недостатки, как удаление раскаленного отарка, необходимость дополнительной сушки колчедана, можно считать почти уже устраненными с введением метода удаления отарка гидравлическим путем и метода сжигания влажного колчедана. К числу значительных недостатков печей пылевидного обжига следует также отнести неравномерное получение газа и непостоянство его концентрации. Непостоянство концентрации газа объясняется главным образом частой остановкой пневматических питателей, подающих в печь колчедан, что при непрерывающейся подаче воздуха в печь ведет к резкому снижению концентрации газа (см. главу сжигания влажных флотационных хвостов и главу удаления отарка).

Паспортная производительность механических печей Гер-

¹ Без расхода на сушку и дробление колчедана.

ресгофа, Гумбольдта, Льюри и др. в среднем составляет 95—115 кг 45%-ного колчедана на 1 м² рабочих сводов. Эта производительность далеко не предельная. На заводах Воскресенском, Дорогомиловском и «Красном химике» в настоящее время паспортная мощность печей, установленных на этих заводах, значительно превзойдена. На Дорогомиловском заводе на печи типа «Г», сжигающей обычно 10 т колчедана в сутки, производительность доведена до 15—16 т в сутки. На Воскресенском заводе на 15-тонных печах сжигают до 24 т колчедана в сутки и даже 28,5 т (см. стр. 93). Производительность печей на заводе «Красный химик» против 12 т поднята до 16—18 т колчедана в сутки.

Приводимые данные показывают на большую возможность интенсификации работающих печей, что вполне возможно, так как использование рабочего пространства в механических печах весьма невелико.

В. Трипкс дает допустимое напряжение топочного пространства печи для различных условий тгорания в пределах от 50 000 до 540 000 ккал/м³ · час, причем 50 000 ккал/м³ · час дается для топок при плохом перемешивании топлива с воздухом, при несовершенном использовании камеры тгорания пламенем или струями газа, при крупных кусочках топлива и холодном воздухе.

Если же подсчитать напряжение топочного пространства, т. е. количество калорий, выделяемых в 1 м³ печи в 1 час, то мы получим для печей пылевидного обжига 25 000 ккал/м³ · час, а для 15-тонной печи Гумбольдта всего лишь 7000 ккал/м³ · час. Сравнивая эти цифры с данными Трипкса, мы видим, что они в несколько раз меньше величин, данных для самых плохих условий тгорания, и следовательно как печи пылевидного обжига, так и механические печи имеют большие резервы для повышения интенсивности. Надо конечно учитывать, что величины Трипкса даны для угля, а не для колчедана, но сопоставление приведенных цифр однако говорит о возможности значительного повышения производительности колчеданных печей.

Увеличению производительности механических печей препятствует высокая температура, развиваемая при большой загрузке печи, так как при этом происходит спекание колчедана и поломка гребков. Увеличивая количество воздуха для охлаждения вала и гребков, мы не только сохраним гребки, но и снизим температуру в печи, а следовательно и будем иметь возможность повысить производительность печи. Установка более мощных воздушных вентиляторов и уменьшение сопротивления в воздухопроводах, вату и гребках может значительно повысить производительность печи там, где вентиляторы маломощны или указанные сопротивления высоки.

Большое разнообразие в типах, конструкциях и размерах механических печей, работающих в СССР, и затруднений, связанных с этим разнообразием при изготовлении запасных деталей для печей, лишний расход средств при изготовлении разнотипных деталей, несовершенство и устарелость некоторых типов печей

и т. п. — все это вполне правильно заставило поставить вопрос о выработке стандартного типа механических печей.

Стандартные печи для сжигания колчедана были разработаны и предложены Гипроазотмашем впервые в СССР в 1934—1935 гг. Им были предложены следующие пять типов печей: 1-П-6; 3-П-10; 3-П-16; 4-П-25; 5-П-25. Последние цифры в предложенном стандарте обозначали производительность печи в сутки.

Конструкции этих печей обладали рядом очень крупных дефектов. В них был очень несовершенный питатель, отсутствовали уплотняющие чугунные кольца в сводах. В последних двух типах печей было запроектировано без особой надобности в этом водяное охлаждение для гребков вместо воздушного. Отсутствовали кольца для крепления футеровки вала и т. п.¹

Гипроазотмашем (см. ЖХМ, 6, 1937) предложен новый проект стандарта, отличный от его предыдущего проекта как по производительности, так и по конструкции. Основные размеры и характеристика новой стандартной полочной печи следующие.

Таблица 33.

Тип	П 5-75	П 7-105	П 7-150	П 9-245	П 13-350
Производительность в т/сутки	10	16	25	40	63
Число рабочих сводов	5	7	7	9,6	13
Рабочая поверхность сводов в м ²	75	105	150	245	350
Система охлаждения	воздушн.	воздушн.	воздушн.	воздушн.	водян.
Расход энергии в kW	2,85	6,8	6,8	10,0	20,5
Расход охлажденного воздуха в м ³ /час	3 100	4 900	7 700	11 500	—
Расход охлаждающей воды в м ³ /час	—	—	—	—	29
Напор вентилятора в мм вод. ст.	75	120	160	210	3 500 (давление воды)
Расход энергии для вентилятора в kW	1,5	3,5	6,0	14,5	—
Габариты в мм: диаметр наружный	5 200	5 200	6 100	7 000	7 000
высота кожуха	4 710	6 330	6 330	8 350	11 750
высота печи	8 300	9 900	10 000	12 800	16 300
Количество гребков	10	14	14	24	32
Вес печи в т:					
а) футеровка	78	100	150	230	350
б) металл. часть	18	35	34	60	80

Мы считаем, что конструкция и производительность предложенных печей выбраны Гипроазотмашем неправильно. В данное время на заводах химической промышленности установлено и уста-

¹ Отрицательный отзыв об этих печах был помещен в статье Полюкова и Педригайлова в газете „Техника“ от 12/X—1935 г.

наливается несколько десятков печей типа ВХЗ. Печь ВХЗ по своей конструкции признана наилучшей. Рабочая поверхность сводов этой печи $\sim 143 \text{ м}^2$, диаметр кожуха 6034 мм, высота кожуха 6110 мм. Печь Гипроазотмаша (тип П7-150) имеет поверхность рабочих сводов 150 м^2 , диаметр кожуха 6100 мм, высота 6330 мм.

Сравнительно небольшая разница в размерах обеих печей и лучшая конструкция печи ВХЗ дает возможность принять эту печь за стандартную и добавить к этому типу печи другие типы большей и меньшей производительности. В результате же изменения, внесенного Гипроазотмашем, большое количество совершенно новых печей, только что освоенных изготовлением Краматорским заводом, будет признано нестандартным, и таким образом мы снова будем иметь разнотипные печи почти одинаковой производительности и конструкции. Нерациональность такой стандартизации очевидна.

Производительность печей, предложенных Гипроазотмашем, равна: 10, 16, 25, 40, 60 и 63 т/сутки 45%-ного колчедана.

Работающие сернокислотные заводы имеют почти исключительно печи 10—12-т и 20—24-т. В дальнейшем при замене старых печей новыми и при постройке новых заводов будут устанавливаться печи типа ВХЗ или печи еще большей мощности. В связи с этим следовало бы разработать конструкцию печей производительностью 12, 24, 50 и 100 т колчедана в сутки, причем для типа 24 было бы нужно принять печь ВХЗ.

Изменения, внесенные Гипроазотмашем в печь ВХЗ, не улучшают ее конструкции, а, наоборот, ухудшают. Эти изменения следующие:

1. Подвод воздуха в печах ВХЗ сделан снизу, причем воздуховод удобно располагается в канале под полом. В конструкции, предложенной Гипроазотмашем, этот подвод, как и в печах Льюри, сделан сбоку, поэтому воздуховод нужно прокладывать по полу, что затрудняет доступ к печи. При укладке же воздуховода в каналах под полом необходимо будет установить несколько лишних колен, что увеличивает сопротивление воздуховода.

2. Передача вращения от мотора к валу печи производится через редуктор, соединенный на муфте с мотором, и далее через две пары цилиндрических шестерен и одну пару конических. Кроме того для изменения числа оборотов имеется еще одна пара цилиндрических шестерен. При пуске такая передача требует более мощного мотора (особенно в случае коротко замкнутого мотора). Во время же работы мотор будет работать при неполной нагрузке и следовательно с плохим коэффициентом использования его мощности. Кроме того при спекании колчедана или перегрузке печи возможна поломка гребков и других деталей. Наличие трех пар цилиндрических шестерен излишне усложняет передачу.

При механических полочных печах устанавливают ременную передачу, которой, несмотря на многие отрицательные моменты, следует отдать предпочтение, как более простой, обладающей глб-

костью, дающей возможность пускать печь с мотором меньшей мощности.

В лучших типах печей Гумбольдта и Люрги принят как раз этот вид передачи. На Невхимзаводе замена непосредственного соединения мотора с редуктором на привод от ремня позволила почти вдвое уменьшить мощность моторов у печей.

При попадании в печь куска металла или гребка или образовании спекшихся кусков колчедана, если печь имеет ременную передачу, происходит сходжение ремня со шкива. В печах же Гипроазотмаша это поведет к поломке гребков или других деталей печей.

3. Для печи типа П13-350 запроектировано водяное охлаждение гребков. Так как воздушное охлаждение при эксплуатации имеет значительные преимущества против водяного, то и для этой печи следовало бы также запроектировать воздушное охлаждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сосновский Н. П. и Аркин Н. Л., Механические печи для обжига серного колчедана, ОНТИ, 1936.
2. Баранов Н. А., О новых способах удаления колчеданных огарков ЖХП, 7 (1935).
3. Малин К. М., Технические проблемы производства серной кислоты ОНТИ 1934.
4. Чижиков Д. М. и Марголин Ш. Ш., Хлорный метод переработки медно-колчеданных огарков, ЖХП, 8 (1935).
5. Баранов Н. А., О новых способах удаления колчеданных огарков, Б. П., 7 (1935).
6. УНИХИМ, „Сжигание влажного колчедана в печах пылевидного обжига“, „Рабочий химик“, 12 (1935).
7. Шебакопольский Я. И., Николаев А. А., Думаревский Н. С., Удаление огарка сернокислотных заводов гидравлическим методом, Химстрой, 4 (1935).
8. Союзхиммонтаж, „Спутник монтажника“, ОНТИ, 1934.
9. Чижиков Д. М. и Валихина Г. С., Сульфатизация при действии хлора на смеси из CuSO_4 , CuO , Cu_2S , Fe_2O_3 , ЖХП, 10 (1935).
10. Рафалович И. М., Рационализация типовых печей металлопромышленности, ОНТИ, Металлургиздат, 1933.
11. Васильев И. П., Хлудов И. В., Механическая печь Гумбольдта для сжигания колчедана, ОНТИ, 1935.
12. Второв М. Н., Работа печей пылевидного обжига. Сборник „Техническая реконструкция сернокислотной и серной промышленности во втором пятилетии“, Госхимтехиздат, 1934.
13. Мостович В. Я., Металлургия меди. Конспект лекций, Томск 1931.
14. Вебер В. Ф., Металлургия меди, Госцветметиздат, 1932.
15. Про Е., Цинк и кадмий, ГНТИ, 1931.
16. Тафель В., Металлургия меди, Госцветметиздат, 1932.
17. Померанцев Н. Н. и Сорокина Д. Э., Переработка колчеданных огарков сернокислотных производств на медный купорос и инсектофугисиды, ЖХП, 1 (1934).
18. Слободской Я. Я., Коттрельная пыль сернокислотных заводов и возможность ее переработки химическим путем, ЖХП, 6 (1934).
19. Агломерационная установка по способу Гринвальда. Химстрой, 6 (1931).
20. Производство железного агломерата и серной кислоты в Доктауне в штате Теннесси, ЖХП, 11 (1934).

21. Гурвич М. Н., Гулков Я. И., Сперанский М. А., К вопросу о получении серной кислоты из сульфатов и углистого колчедана, ЖХП, 8 (1934).
22. Розенбаум Д. А., Пневматический транспорт пиритных огарков, ЖХП, 12 (1934).
23. Рояк С., Гэршман М., Милославский К. и Нагерова Э., Получение сернистого газа и портланд-цемента из гипса, ЖХП, 7 (1933).
24. Кузьминых И., Турхан Е. и Ляпустина Е., Испытания круглых печей с нижним дутьем для сжигания пылевидного колчедана, Химстрой, 10 (1933).
25. Сосновский Н., Вращающиеся печи в производстве серной кислоты Химстрой, 4 (1933).
26. Debusch C. P., Der Drehrohrföfen als Röstföfen, Metallgesellschaft, 7 (1932).
27. Debusch C. P., Der Drehrohrföfen für die Piritröstung, Chemische Apparatur, 3, 5, 7, 8, 11 (1928).
28. Лукьянов П. М., Современные печи для обжига сульфидных руд, ЖХП, 8 (1927).
29. Слободской Я. Я., Обработка колчеданных огарков хлорированием, ЖХП, 4 (1934).
30. Постников В. Ф., Барсков Н. М., Опыт расчета основных размеров печей, Химстрой, 1 (1934).
31. Ходаков К. В., Особенности горения углистых колчеданов, ЖХП 1933.
32. Нейсахов Н. Д., Рамм В. М. и Сосновский Н. П., Сушка и сжигание флотационного колчедана, ЖХП, 9 (1933).
33. Сосновский Н. П. и Немчик Г. Л., Сернокислотная промышленность Германии, ЖХП, 9 (1934).
34. Проф. Будников П. Н., Гипс и ангидрит как сырье для получения серы и серной кислоты. Сборник „Вопросы серной промышленности СССР“. Комитет по химизации, Госхимтехиздат, 1932.
35. Сосновский Н. П. и Тимко Я. М., Аппаратура производства серной кислоты контактным способом, стр. 44—78, Госхимтехиздат, 1934.
36. Трест Оргхим, Технический контроль производства серной кислоты. Под редакцией М. Н. Второва и Н. И. Смыслова, ОНТИ, 1935.
37. Малин К. М., Технология серной кислоты и серы, ч. I и II, ОНТИ.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ОЧИСТКА ПЕЧНЫХ ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ

При сжигании колчедана печные газы уносят с собой некоторое количество отарка в виде пыли. Большая часть пыли образуется при дроблении колчедана в размалывающих и транспортных аппаратах. Эта пыль и попадает вместе с колчеданом в печь. Частично пыль также возникает и при распаде крупных частишек колчедана на мелкие под влиянием быстрого нагревания и горения.

Образующаяся из колчедана пыль представляет собой неправильные по форме частички с острыми углами. В пыли, осажденной после механических печей, почти отсутствуют частички шарообразной формы, после же печей пылевидного обжига в пыли содержится довольно много частичек, имеющих шарообразную форму, что объясняется более высокой температурой в этих печах, при которой частички оплавляются и принимают шаровую форму. Газообразные по форме пылинки, несомые газом, обычно окружены тончайшей газовой оболочкой.

При сжигании обыкновенного колчедана в механических печах газы улетают с собой 2—5 г пыли, считая на 1 м³ нормального газа (при 0° и 760 мм давл.). Если шихта кроме обыкновенного колчедана содержит и флотационный, количество пыли в газе увеличивается и достигает 5—9 г. Особенно большое содержание пыли в газе бывает при сжигании флотационного колчедана в печах пылевидного обжига. В печах пылевидного обжига содержание пыли в газе иногда доходит до 60—100 г в 1 м³ нормального газа.

Размер частичек пыли, уносимых газом, различен и меняется в зависимости от рода колчедана и метода его сжигания. При кусковом колчедане в механических печах основная масса частичек пыли имеет размер 5—25 μ . При флотационном колчедане пыль получается более мелкая.

В современной технике очистки газов от взвешенных частиц применяются следующие методы для разделения двухфазных систем.

1. Использование силы тяжести для разделения двухфазных систем — пылесадительные камеры; этот способ очистки дает громоздкие конструкции и поэтому не соответствует

общей тенденции в технике ускорять все производственные процессы.

2. Использование центробежной силы — **циклоны** — неподвижные аппараты. Эти аппараты, а также аппараты первой группы могут применяться только для грубой очистки, так как полная очистка в них невозможна.

3. Воздействие электрических зарядов на взвешенные частицы — **электрофильтры**. Этот метод незаменим для осаждения самых тонких суспензий, в то же время он и более дорогой по первоначальным затратам и в эксплуатации.

4. **Фильтрация**, когда взвешенные твердые частицы задерживаются на фильтрующем материале при пропускании запыленных газовых потоков через тонкопористые прослойки. Этот способ, могущий дать высокую степень очистки газов, не применяется в настоящее время для очистки печных газов, получаемых при сжигании колчедана, вследствие трудностей с выбором фильтрующего материала и неустойчивости сопротивлений таких аппаратов. Сюда же можно отнести всевозможные формы мокрых фильтров, которые почти не применяются при фильтрации печных газов колчеданных печей, так как пользование мокрыми фильтрами связано с потерей образующегося в печах SO_2 и охлаждением газа, что в дальнейшем ухудшает технологический процесс в башенных и камерных системах. В некоторых контактных системах газ после циклонов окончательно очищается в промывных башнях. Но очистка газа в таких башнях связана с потерей части продукции и поэтому такие башни редко применяются.

Очистка печных газов должна производиться с особой тщательностью и аппараты, установленные для этой цели, должны быть в исправном состоянии. Запыленный газ поступает в систему, забивает башни и загрязняет кислоту. Грязь из кислоты осаждается в холодильниках и башнях, в результате сопротивление в системе повышается, холодильники перестают охлаждать кислоту, технологический процесс расстраивается и систему приходится останавливать на длительный ремонт. Производство же ремонта сопровождается не только потерей продукции, но и безвозвратной потерей материальных ценностей.

Мы опишем аппараты 1-й, 2-й и 3-й групп и не будем останавливаться на аппаратах 4-й группы, как почти не применяемых для очистки от пыли печных газов, получаемых в колчеданных печах.

I. ПЫЛЕОСАДИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ

Простейший способ удаления взвешенных частиц из газов состоит в том, что газ пропускают по каналам, в которых частички пыли успевают осесть. Такие каналы для осаждения пыли должны быть достаточной длины, чтобы достигнуть удовлетворительных результатов, но недостаток их в том, что они требуют много места, большого расхода строительного материала и применяются

только для грубой очистки, так как полная очистка газа в них невозможна.

В настоящее время в небольших установках применяют для очистки газа пылесадительные камеры Говарда, а поэтому мы считаем не лишним описать эти камеры.

До описания устройства этих камер остановимся на теории процесса самоосаждения частичек пыли в них под действием силы тяжести.

Частички пыли, попадая в пыльную камеру, находятся под действием силы тяжести, которая, как известно, выражается весом частички, и силы сопротивления среды.

В нашем рассуждении мы допустим, что частички пыли имеют форму шара: в этом случае вес частички будет равен

$$P = \frac{\pi d^3 \gamma}{6},$$

где d — диаметр, а γ — удельный вес частички.

Сопротивление среды (воздуха, воды и т. д.) зависит от поверхности тела, от скорости движения тела, от вязкости и плотности среды.

Общая формула для величины этого сопротивления имеет следующий вид:

$$S = \frac{K \cdot F \cdot \rho_1 v^2}{2},$$

где S — величина сопротивления;

K — коэффициент пропорциональности;

ρ_1 — плотность среды, равная $\frac{\gamma}{g} \left(\frac{\text{объемный вес}}{\text{ускорение}} \right)$;

F — площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению движения воздуха;

v — относительная скорость тела.

Коэффициент пропорциональности K , в свою очередь, зависит от ряда факторов, а именно: от вязкости и плотности среды, от размеров и скорости тела. Для маленьких шаровых частиц, согласно закону Стокса

$$K = \frac{24\eta}{v \cdot d \cdot \rho_1},$$

где d — диаметр частиц;

η — вязкость среды;

ρ_1 — плотность среды.

Подставляя эту величину в выражении для S и заменяя d через $2r$, получим:

$$S = \frac{F \cdot \rho_1 \cdot v^2 \cdot 24 \eta}{2v \cdot d \cdot \rho_1} = \frac{6 \cdot F \cdot v \cdot \eta}{r}.$$

При нашем допущении, что частички имеют форму шара, и при замене F через проекцию шара на плоскость, т. е. через πr^2 , получим:

$$S = 6\pi r \cdot v \cdot \eta. \quad (1)$$

Из этой формулы следует, что сила сопротивления среды возрастает с увеличением скорости движения тела и при большой скорости эта сила может достигнуть такой величины, что уравнивает силу притяжения.

Стокс разработал закон падения, который первоначально был принят для частиц шарообразной формы, а затем вследствие своего широкого значения оказался применим к частичкам различных размеров и форм. Закон подтверждает тот факт, что для меньших частичек скоро получается состояние равновесия между силой тяжести частичек и сопротивлением среды. При достижении такого равновесия частички перестают падать с нарастающей скоростью, а начинают двигаться с постоянной скоростью по инерции, так как равнодействующая силы сопротивления и силы тяжести равна нулю. Чем меньше размер частичек пыли, тем скорее при одной и той же скорости наступит подобное равновесие. На основании равновесия силы сопротивления и силы тяжести приравняем выражения для этих сил:

$$P = S; \quad \frac{\pi d^3}{6} \gamma = 6\pi r v \eta$$

и определим скорость, при которой наступит равновесие

$$v = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot \frac{\gamma}{\eta}, \quad (2)$$

При этой равномерной скорости частицы будут падать на пол камеры. Если за время пребывания газа в камере частички успеют упасть на пол камеры, то газ по выходе из камеры не будет содержать частичек пыли, диаметр которых соответствует данной скорости. Из выражения (2) следует, что с уменьшением радиуса частицы скорость падения ее уменьшается в квадрате, т. е. при уменьшении радиуса в 2—3 раза скорость уменьшается в 4—9 раз.

Осаждение частичек пыли зависит от площади пола камеры и не зависит от ее формы, т. е. высоты. Для доказательства этого представим себе камеру, высота которой h , ширина b и длина l ; обозначим через V — объем газа, проходящего через камеру в одну секунду; через t — время, в которое газ проходит камеру; через v — скорость падения частички; через w — скорость газа. Время падения частичек пыли, находящихся при входе в камеру на самом верху, равно $\frac{h}{v}$; V , т. е. объем газа, проходящего че-

рез камеру в 1 сек., равен: $V = wbh$, но $w = \frac{l}{t}$, отсюда

$$V = \frac{b \cdot h \cdot l}{t}. \quad (3)$$

Для того чтобы частички пыли успели упасть на дно камеры, время их падения $\frac{h}{v}$ должно быть меньше или равно времени нахождения газа в камере, т. е. $\frac{h}{v} \leq t$, и следовательно

$$V = \frac{bhlv}{h} = blv. \quad (4)$$

Произведение bl — есть площадь пола камеры, а v — скорость падения частичек пыли, V — секундный объем газа, проходящего через камеру, т. е. секундная производительность камеры. Таким образом количество газа, которое можно очистить от частичек пыли крупностью r , зависит только от площади пола и от скорости падения частичек и не зависит от формы и высоты камеры. Этот вывод важен в том отношении, что никогда не следует при одном и том же объеме пыльной камеры увеличивать ее высоту, а необходимо камеру делать с максимально большей площадью пола.

Точно так же устройство вертикальных перегородок в камерах иногда не только бесполезно, но даже вредно, так как они, не увеличивая площади пола, уменьшают объем камеры и этим самым сокращают время пребывания газа в камере. Устройство перегородок лишь тогда достигает своей цели, когда частички пыли, ударяясь о них, теряют свою скорость и выпадают из газового потока, и особенно в тех случаях, когда перегородки, о которые ударяется газ, влажные.

В камерах Говарда, путем устройства горизонтально расположенных полок, искусственно увеличена площадь пола и этим в них достигается лучший эффект очистки газа, чем в обычных камерах без горизонтальных перегородок.

На рис. 109 представлена камера Говарда в том виде, в котором она встречается на заводах, получающих сернистый газ при сжигании колчедана. Газ поступает по трубе 1 в сборный коллектор 2, из которого он опускается вниз и проходит параллельно две камеры 3. В каждой камере уложены горизонтально железные листы размером 4065×885 мм и толщиной 3,5 мм. Листы укладываются на огнеупорные плитки размером $63,5 \times 63,5$ мм. Этими плитками в стыках железных листов каждая из камер 3 разделяется на две половины, и листы образуют полки с расстоянием между листами 63,5 мм. В камере имеются дверки 4, через которые гребками пыль сталкивается в заднюю или переднюю часть камеры и удаляется или через нижние дверки или же через люки 5, которые во время работы камеры заделываются кирпичом. Каждая из двух камер 3 чистится от пыли поочередно и на это время отключается от газа колоколом 6. В камере 66 горизонтальных полок с общей площадью пола приблизительно 850 м². Благодаря наличию вертикальной стенки 7 газ ровным потоком проходит по всему сечению камеры. Такая камера может очистить 0,8—1 м³ газа в секунду.

Пользуясь приведенными выше формулами, можно определить величину такой камеры, чтобы в ней осели частички пыли определенной величины, а также по данным размерам камеры можно вычислить размеры частичек пыли, которые оседут в данной камере. Поясним на примере.

Требуется определить площадь пола такой камеры, в которой осели бы все частички пыли величиной больше 50 μ (0,05 мм).

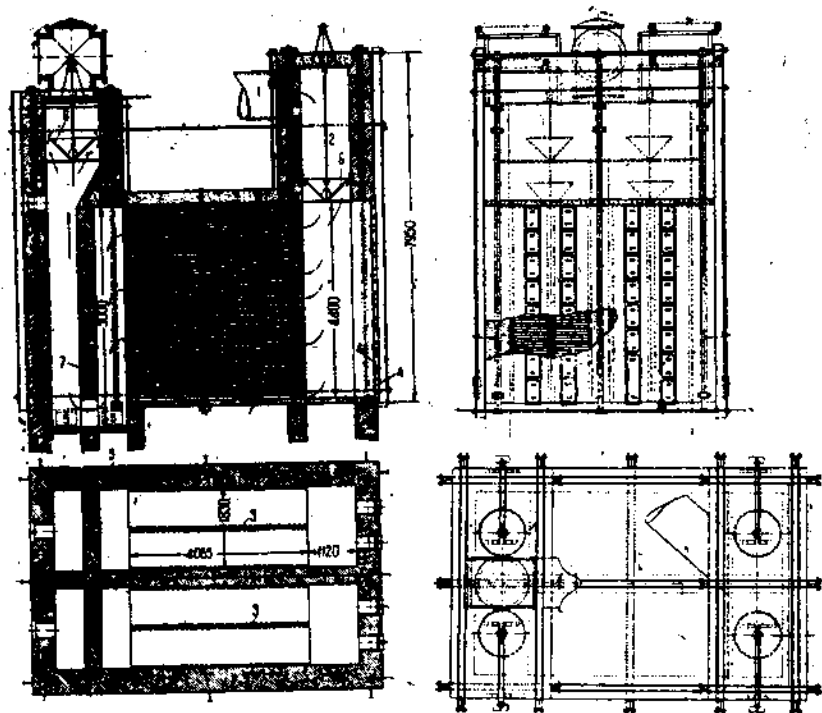


Рис. 109. Пыльная камера Говарда:

1 — галлоход, 2 — общий коллектор, 3 — камера, 4 — дверки, 5 — люки, 6 — колокола, 7 — вертикальная стенка.

Через камеру проходит газ в количестве $1\frac{1}{2}$ м³ в секунду при температуре 500°. Удельный вес частиц пыли равен 4000 кг/м³. Вязкость газа $3,55 \cdot 10^{-6}$ кг·сек/м². По формуле (2) определим необходимую скорость падения для частичек диаметром 50 μ с тем, чтобы во время своего пребывания в камере они достигли пола камеры:

$$v = \frac{2}{9} \left(\frac{0,05}{2 \cdot 1000} \right)^2 \cdot \frac{4000}{3,55 \cdot 10^{-6}} = 0,157 \text{ м/сек.}$$

Зададимся высотой камеры в 4 м. Все частички пыли диаметром больше 50 μ при высоте камеры 4 м достигнут пола камеры,

если время пребывания газов в камере будет больше или равно

$$t = \frac{4}{0,157} \approx 25,5 \text{ сек.}$$

По нашему условию секундный объем газа равен $1,5 \text{ м}^3$, следовательно, объем камер должен быть равен

$$V_{\text{камеры}} = 1,5 \cdot 25,5 = 38,4 \text{ м}^3.$$

При заданной высоте камеры 4 м площадь пола камеры равна

$$F_{\text{камеры}} = \frac{38,4}{4} = 9,6 \text{ м}^2.$$

При заданной высоте камеры 5 м

$$t = \frac{5}{0,157} = 31,85 \text{ сек.}$$

$$V_{\text{камеры}} = 1,5 \cdot 31,85 \approx 47,8 \text{ м}^3;$$

$$F_{\text{камеры}} = \frac{47,8}{5} \approx 9,6 \text{ м}^2,$$

т. е. при одинаковой площади пола мы получили бы больший объем камеры при одном и том же эффекте очистки.

Допустим теперь, что у нас камера Говарда с 30 полками площадью по 4 м^2 каждая. Требуется определить, какой величины частички пыли осядут в этой камере. Количество, состав и температура газа те же, что и в предыдущем примере.

Общая площадь всех пластин равна $4 \times 30 = 120 \text{ м}^2$. По формуле (4) скорость падения частиц равна:

$$v = \frac{V}{Vb} = \frac{1,5}{120} = 0,0125 \text{ м/сек.}$$

По формуле (2) определим искомый радиус пылинки

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\gamma}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 3,55 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0125}{2 \cdot 4000}} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

т. е. 7μ ($0,007 \text{ мм}$).

Приведенные примеры позволяют рассчитать величину камеры, в которой осядут частицы пыли определенной величины, но из этих данных мы не можем определить степень очистки камеры, т. е. вычислить, какое количество от всей поступающей пыли из газов оседет в камере.

Для определения процента очистки камеры представим себе в ней бесконечно малый слой dz , находящийся на расстоянии z от пола камеры. Из этого слоя выделим элемент dl (рис. 110). При нашем рассуждении, допустим, что частицы пыли имеют не только шаровую форму, но равномерно по величине и числу распределяются по всему сечению камеры. Обозначим через q содержание

пыли в 1 м³ газа. Все остальные обозначения те же, что и при выводе предыдущих формул. Объем выделенного нами элемента будет равен $b \, dz \, dl$, а количество пыли, находящейся в этом элементе при входе в камеру, $q \cdot b \cdot dz \cdot dl$. Из этого элемента осядут лишь те частички пыли, которые имеют скорость падения $v = \frac{z}{t}$ и радиус которых из формулы (2) равен $r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\gamma}}$, но t равно длине камеры, деленной на скорость газа, т. е. $t = \frac{l}{w}$, откуда

$$v = \frac{zw}{t}$$

$$r = \sqrt{\frac{9\eta zw}{2\gamma l}}. \quad (5)$$

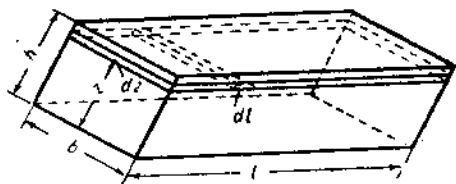


Рис. 110. Схематический чертеж камеры.

В этом выражении все величины, за исключением z , для данного процесса постоянны и поэтому минимальный радиус частичек пыли, которые успеют осесть из слоя, находящегося на расстоянии z от дна камеры, равен

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{9\eta w}{2\gamma l}} \cdot \sqrt{z} = M \sqrt{z}, \quad (6)$$

где M является постоянной и равной

$$\sqrt{\frac{9\eta w}{2\gamma l}}.$$

В газе пыль распределяется таким образом, что каждому размеру частичек отвечает вполне определенное количество пыли. Эту зависимость можно выразить в общем виде уравнением $A = f(r)$, где A — весовое количество пыли в процентах с величиной частиц больше r . Так как для нашего элемента все частицы больше $r_{\min}$ осядут, то количество пыли, которое оставит элемент в камере, будет равно

$$q b d z d l \frac{f(r_{\min})}{100}$$

и процент очистки для взятого нами элемента будет равен

$$\alpha = \frac{q b d z d l \frac{f(r_{\min})}{100}}{q b \cdot d z d l} \cdot 100 = f(r_{\min}).$$

Чтобы получить общий процент очистки от всего потока газа,

откладываем в масштабе значение высоты z , т. е. числа 0,5; 1; 2; 3 и 4, а ось абсцисс остается прежней. На этих координатах строим кривую AB минимальных диаметров по точкам с координатами (17,8 и 0,5); (25,2 и 1); (35,6 и 2); (43,6 и 3); (50,4 и 4). Разобьем нашу камеру по высоте на несколько участков: 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 и 4. На нижней ординате отложим эти величины и из соответствующих точек проведем прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с кривой AB . Из точек пересечения

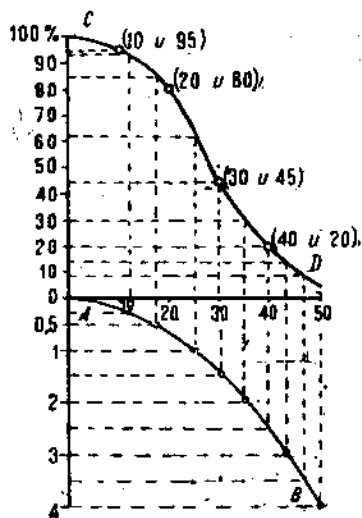


Рис. 111. Диаграмма для вычисления процента очистки.

проведем прямые, параллельные осям ординат, до пересечения с кривой характеристики пыли CD . Из точек пересечения с кривой CD проведем прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с

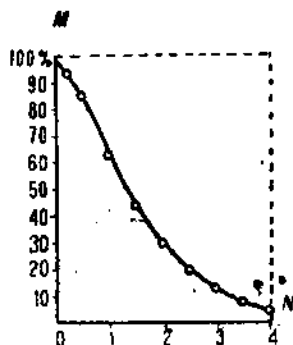


Рис. 112. Диаграмма для вычисления процента очистки.

верхней ординатой. Найденные точки дадут соответственные степени очистки для каждой взятой высоты камеры.

Для слон. находящегося на высоте	0,25 м	93%
" " " " "	0,5	85%
" " " " "	1	68%
" " " " "	1,5	44%
" " " " "	2,0	30%
" " " " "	2,5	20%
" " " " "	3,0	14%
" " " " "	3,5	9%
" " " " "	4,0	5%

На диаграмме (рис. 112) по оси абсцисс откладываем высоты камеры, а по оси ординат соответствующие им проценты очистки и вычерчиваем кривую MN . Для нахождения общей степени очистки камеры следует подсчитать площадь, ограниченную осью абсцисс, осью ординат, кривой MN и ординатой, соответствующей полной высоте камеры, т. е. 4 м. Найденную площадь нужно разделить на высоту камеры и мы получим искомую степень очистки.

В нашем случае площадь равна 128 клеткам, что составляет 160 метро-процента при общей площади 320 клеток равной 400 метро-процентам. Разделив 160 на высоту камеры, т. е. на 4, получим 40%. Таким образом в нашей камере из газа осадет 40% пыли и кроме того, как было рассчитано в первом примере, из этой камеры газ уходит, оставляя полностью частички пыли диаметром выше 50 μ .

II. ЦИКЛОНЫ

Циклоны являются неподвижными аппаратами, в которых для выделения пыли из аэросмеси используется центробежная сила.

Циклон представляет собой круглый книзу конический сосуд, в котором очищаемый газ вводится сверху в тангенциальном направлении. Газ, проходя через аппарат, приобретает круглообразное вращательное движение, причем взвешенные частицы приближаются к стенкам сосуда, вдоль которых они опускаются вниз под влиянием силы тяжести, являющейся здесь также вспомогательной силой, и собираются в особом коническом сборнике, вне газового потока. Очищенный газ поднимается вверх и удаляется из аппарата через отводную центрально расположенную трубу. С целью избежать вредных завихрений газу сообщают принудительный путь устройством направляющих спиралей. Хотя по сравнению с обычными пылевыми камерами циклоны и дают лучшую очистку, однако с их помощью нельзя освободить газ полностью от пыли и поэтому для газа, требующего полной очистки, циклоны могут устанавливаться лишь для предварительной очистки.

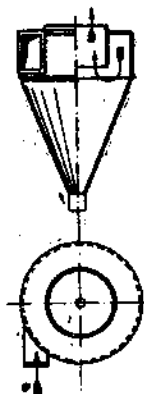


Рис. 113.
Простой
циклон.

Первые конструкции циклонов представляли собой следующее: верхняя часть циклонов состояла из двух концентрически расположенных цилиндров небольшой высоты (рис. 113). Диаметр внутреннего цилиндра равнялся радиусу наружного. К наружному цилиндру примыкала труба прямоугольного сечения, подводящая газ или воздух из газопровода. К этому же цилиндру внизу присоединялась коническая часть циклона с углом при вершине около 60° , заканчивавшаяся внизу отверстием для удаления осевших из газа твердых частиц.

Газ, поступающий в циклон по подводящей трубе, попадая в пространство между двумя цилиндрическими поверхностями, получает вращательное движение. Наиболее мелкие твердые частицы вместе с газом уносятся наружу через внутренний цилиндр меньшего диаметра, который служит выхлопной трубой для очищенного газа или воздуха. Если газ является сырьем для получения продукции, подводящая и выхлопная трубы циклона соединяются с соответствующими газоходами. Вращательное движение воздуха внутри такого циклона сопровождается образованием вихрей вследствие столкновения струй газа.

Время воздействия центробежной силы на взвешенные в газе твердые частицы незначительно и поэтому эффект действия таких аппаратов оказался недостаточно удовлетворительным. Чрезвычайная простота устройства их все же заставляет применять подобные циклоны в настоящее время для удаления из воздуха крупных частиц, например стружек в деревообделочной промышленности.

Первые шаги к улучшению конструкций циклона заключались в том, что внутри циклона начали устраивать направляющие ребра, предполагая, что тогда вращательное движение газа будет более правильным. В настоящее время подобного рода циклоны с направляющими ребрами внутри и с различными добавочными конструктивными деталями строятся некоторыми заводами в СССР.

Дальнейшие усовершенствования сводились к уменьшению в циклонах вредных вихрей, для чего внутри них делались спиралеобразующие поверхности, придающие струям газа определенное направление. Для увеличения поверхности осаждения и пути газа делают спирали в циклонах иногда в несколько оборотов (рис. 114).

В технической литературе известны два метода расчета циклонов. Первый из них основывается на допущении процессов отделения пыли в циклонах под влиянием силы тяжести, как в пылесадочных камерах. Такой метод расчета циклонов изложен немецким инж. Каргом. Второй метод расчета циклонов основан на учете действия центробежной силы, развивающейся при вращении газового потока в циклонах.

Метод, предложенный для расчета циклонов Каргом, основывается на определении максимально допустимой скорости в выхлопной трубе циклона, при которой взвешенные в газовом потоке частицы заданных размеров еще не уносятся с отходящими газами. Применяемые Каргом формулы для определения скоростей вылетающих частицы выводятся из условия равновесия двух составляющих: динамического давления, производимого воздушным потоком на тело, и веса тела.

Из аэродинамики известно, что динамическое давление (сопротивление среды) воздушного потока равно:

$$S = \frac{K \rho_1 F v^2}{2}, \quad (7)$$

где S — динамическое давление;

K — коэффициент пропорциональности;

ρ_1 — плотность среды (воздуха, газа и т. д.), равная

$$\frac{\gamma_1}{g} \left(\frac{\text{объемный вес}}{\text{ускорение}} \right);$$

F — площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению движения газа;

v — скорость (газа, воздуха).

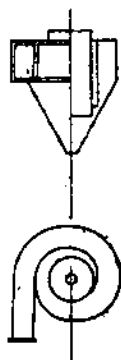


Рис. 114.
Циклон
с двойной
улиткой.

При расчете принимаем, что частица пыли имеет форму шара; в этом случае вес ее равен $P = \frac{\pi d^3 \gamma_2}{6}$, где d — диаметр частицы и γ_2 — удельный вес частицы. На основании равновесия между S и P имеем, заменяя ρ_1 через $\frac{\gamma_1}{g}$,

$$K \frac{\gamma_1}{2g} \cdot P \cdot v^2 = \frac{\pi d^3}{6} \cdot \gamma_2,$$

Коэффициент пропорциональности (K) для шара при крупных частицах (не менее 75 — 100 μ) можно принять равным 0,5; γ_1 для воздуха 1,2 кг/м^3 . Заменяя P через $\frac{\pi d^3}{6}$ и g через 9,81, получим:

$$0,5 \cdot \frac{1,2}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{\pi d^3}{4} \cdot v^2 = \frac{\pi d^3}{6} \gamma_2 \quad \text{и} \quad v = 4,7 \sqrt{d \gamma_2}. \quad (8)$$

Диаметр частиц, которые останутся витающими в выхлопной трубе циклона и не будут уноситься из нее наружу при заданной в ней скорости воздуха, будет равен:

$$d = \frac{v^2}{(4,7)^2 \gamma_2}. \quad (9)$$

По формулам (8) и (9) можно определить, какой величины должна быть скорость в выхлопной трубе, чтобы в циклоне осели частички пыли диаметром больше данного размера d , или же, зная диаметр выхлопной трубы и количество газа, по скорости в трубе можно определить минимальную величину частичек пыли, выше которой все пылинки осадут в циклоне.

Из этих рассуждений следует, что весь пылеосадительный эффект зависит только от уменьшения скорости в выхлопной трубе, по сравнению с входной скоростью, воздушного или газового потока.

Как раз утверждает: «Как правило, можно принять следующее: чем больше будут размеры циклона или пыльной камеры для определенных масс смеси, тем лучше будет очищен воздух». Это утверждение, как мы увидим ниже, не соответствует сущности циклонного процесса и не подтверждается опытными данными.

Отделение твердых частиц из газа происходит вследствие неодинакового действия центробежной силы, развиваемой при вращении, на твердые частицы и молекулы газа. Для разделения такой смеси требуется определенный промежуток времени, в зависимости от совокупности условий в каждом частном случае. Разделение неоднородной среды двухфазной системы в циклоне можно считать законченным, если взвешенные частицы под влиянием центробежной силы переместятся к наружной стенке циклона. Дальнейшее движение совершается винтообразно (вместе с воздушным потоком) по стенкам конуса, причем пыль, вследствие сохранения вращательного движения и даже его усиления в конусе, попрежнему не может оторваться от наружной стенки и по

инерции входит в пылесборочный бункер через пылевое отверстие.

В самом невыгодном положении окажутся те частицы пыли, которые находятся при входе в циклон у стенки внутреннего цилиндра. Если в определенные промежутки времени эти частицы успеют переместиться к наружной стенке цилиндра, то остальные частицы и подавно там будут. Таким образом основная задача сводится к определению времени, потребному для того, чтобы частицы определенных физических свойств переместились от стенок внутреннего цилиндра к стенкам внешнего. Вращательное движение в циклоне и процесс отделения пыли из газового потока настолько сложны, что в настоящее время могут быть даны только приближенные способы расчета, которыми охватываются лишь главные факторы, влияющие на эффект пылеотделения. На этом основании при выводе ниже приводимых формул введены следующие допущения:

1. Частички пыли рассматриваются как тела шарообразной формы.
2. Пылевые частички при своем движении в газовом потоке не влияют друг на друга.
3. Вследствие сравнительно незначительной величины силы тяжести из действующих сил при рассмотрении принимается только центробежная.
4. Поступательная скорость частиц принимается равной скорости воздушного потока, причем частички не имеют собственного вращения относительно этого потока.
5. Острым выделившейся пыли от наружной стенки циклона под влиянием различных вихрей не имеет места.
6. Центробежная сила направлена по радиусу циклона¹. Это допущение является довольно грубым для крупных частиц. Для частиц высокой степени дисперсности, отделение которых происходит в результате нескольких оборотов воздушного потока в циклоне, это допущение можно считать приемлемым. Предлагаемые ниже формулы могут служить для ориентировочных практических расчетов, так как дают величины сравнительно близкие к опытным данным.

Обозначим через

V — секундный объем газа,

w — среднюю скорость газа в циклоне,

v — среднюю скорость движения пыли под влиянием центробежной силы по направлению к осадительной поверхности циклона,

R_2 — радиус внешнего цилиндра циклона,

R_1 — радиус внутреннего цилиндра циклона,

R — средний радиус циклона,

b — ширину входного отверстия в циклоне, т. е. $R_2 - R_1$,

¹ В действительности центробежная сила направлена нормально к спиралеобразной траектории пылевой частицы.

h — высоту цилиндра,
 t — время пребывания газа в циклоне.
 Отсюда

$$V = bhvw,$$

так как в bh есть площадь, по которой движется газ со скоростью w . Путь газа в циклоне равен $2\pi Rn$, где n есть число кругов (оборотов) в циклоне, проходимых газом. Следовательно скорость газа в циклоне

$$w = \frac{2\pi Rn}{t},$$

подставляя это выражение для скорости в формулу для V , получим

$$V = \frac{2\pi R nbh}{t}.$$

Для того чтобы частица пыли успела осесть, необходимо, чтобы время, потребное для ее осаждения, было равно или меньше времени пребывания газа в циклоне.

Частичка пыли, находящаяся у стенки внутреннего цилиндра, как наиболее удаленная, требует для своего перемещения максимального времени. Эта пылинка должна пройти путь, равный b в направлении радиуса со скоростью v за время t , т. е. $b = vt$ или $t = \frac{b}{v}$. Подставив эту величину в выражение для V , получим

$$V = \frac{2\pi R nbhv}{b} = 2\pi R nhv, \quad (10)$$

но величина $2\pi R nh$ равна площади осаждения пыли; обозначив ее через F , получим

$$V = Fv. \quad (11)$$

Из этой формулы следует, что производительность циклонов зависит от внутренней поверхности (улитки) циклона и от скорости осаждения пыли, которую частички пыли получают от действия центробежной силы в направлении радиуса циклона.

Для определения скорости найдем силы, действующие на частичку пыли. Первая из этих сил — центробежная — равна $\frac{mv^2}{R}$, где m — масса пылинки, а R — средний радиус циклона. Вторая сила — сопротивление среды — равная, согласно закону Стокса [уравнение (1)] $6\pi rv\eta$, где r — радиус частицы и η — вязкость газа. При увеличении скорости сила сопротивления уравновесит центробежную и с этого момента частичка будет двигаться к осадительной поверхности с постоянной скоростью.

Приравнявая эти силы, получим $\frac{mv^2}{R} = 6\pi rv\eta$.

Заменяя массу частички через $\frac{4}{3} \pi r^3 \frac{\gamma}{g}$, где γ — удельный вес пылинки, и произведя сокращения, получим

$$v = \frac{2r^2 \gamma w^2}{9gR\gamma} \quad (12)$$

Из этой формулы следует, что скорость осаждения частичек пыли увеличивается с увеличением радиуса частичек и удельного их веса, скорости газа в циклоне и с уменьшением радиуса циклона. Такой вывод для скорости правилен лишь до определенного оптимума, так как при увеличении скорости сверх предела значительно увеличивается унос пыли и очистка ухудшается. Кроме того следует иметь в виду, что с увеличением скорости значительно увеличивается сопротивление циклона. Особенно сильно возрастает унос при мелкой пыли (30 μ и ниже), поэтому циклоны не следует ставить, если пыль мелкая и газ необходимо хорошо очистить. Скорость газа в циклоне нормально принимают в пределах 7—20 м/сек.

Для определения коэффициента очистки циклона следует составить формулу для наименьших частичек пыли, которые будут оседать в циклоне, если они при входе в аппарат находятся на расстоянии x от оси циклона. Из уравнения (12) имеем

$$v = \frac{2r^2 \gamma w^2}{9gR\gamma} = \frac{dR}{dt}$$

или

$$\frac{2r^2 \gamma w^2}{9g\gamma} \cdot dt = R dR.$$

Интегрируем в пределах от 0 до t . При входе частичек пыли в циклон, т. е. при $t=0$, R равно расстоянию частичек пыли от оси циклона x . При выходе частичек из циклона, т. е. через t секунд, R равно радиусу внешнего цилиндра R_2 . Получаем

$$\frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \gamma w^2}{g\gamma} \cdot t = \frac{1}{2} (R_2^2 - x^2).$$

Заменяя в этом уравнении t через $\frac{2\pi Rn}{w}$, определим $r_{\min}$:

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{9g\gamma(R_2^2 - x^2)w}{4\gamma w^2 \cdot 2\pi Rn}} = \sqrt{\frac{9g\gamma}{8\pi\gamma w}} \cdot \sqrt{\frac{R_2^2 - x^2}{Rn}} \quad (13)$$

Аналитически подсчет процента очистки еще более сложен, а поэтому задачу решают обычно графически. Для этого, так же как и при пыльных камерах, вычисляют значения минимальных диаметров для частиц, которые могут осесть с различных расстояний x . Если например диаметр внешнего цилиндра 1 м, а внутреннего 0,5 м, то вычисляют $r_{\min}$ для x , равного 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 и 0,95. Определив по $r_{\min}$ диаметры в микронах в нижнем квадранте, строят соответствующую кривую, а в верхнем кривую характеристики пыли. По этим кривым находим степени очистки

при различных значениях x (в%) и по этим значениям строим кривую очистки. Определив площадь в метро-процентах, делим на ширину циклона; в нашем случае на 0,5 м.

В сернокислотной промышленности циклоны применяются главным образом для сушилок флотационного колчедана; их также ставят в размольных отделениях для колчедана при очистке вентиляционного воздуха. В настоящее время циклоны предполагено установить и для очистки печных газов при вращающихся печах «Кемико». Конструкция и описание этих циклонов даны выше при описании соответствующих печей.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗА

В 1824 г. математик училища Томаса в Лейпциге М. Гольфельд описал свой опыт осаждения дыма посредством электричества и впервые указал на то, что можно искусственно воспроизвести сильный дождь и так называемые ливни, наблюдаемые после ударов молний, после сильных быстро следующих друг за другом разрядов электричества.

Первые практические работы с осаждением дыма и пыли относятся к 1884 г. Проф. физики Лодж (Ливерпуль) в 1885 г. описал свой способ осаждения дыма в стеклянном сосуде, в котором он соединял металлический провод с полюсом электрической машины. Первое применение в промышленности принадлежит Альфреду Вэлкеру, который при консультации Лоджа сделал опытную установку для осаждения свинцовой пыли в канале с многочисленными остриями, присоединенными к индукционной машине; частицы сбивались в хлопья и быстро осаждались как при спокойном газе, так и во время его движения.

В дальнейшем известны опыты Гемпеля по осаждению пыли и Ирвина по осаждению сажи. Все эти опыты не нашли широкого практического применения, так как электромашины и изоляционные материалы того времени для получения тока высокого напряжения были весьма несовершенны. Невыгоден также был и метод, применявшийся для заряжения пыли частью положительно, частью отрицательно.

В 1906 г. Коттрель своими работами в деле электрического осаждения пыли и туманов твердо установил, что действие постоянного и переменного токов различно в отношении осаждения. По его мнению главное действие переменного тока состоит в соединении отдельных мельчайших частиц в более крупные, которые затем уже осаждаются вследствие своего большого веса. Поэтому переменный ток достаточен лишь для очистки неподвижного газа, для производства же, где приходится иметь дело с большими количествами движущегося газа, наиболее подходит постоянный ток, при котором частицы заряжаются одновременно, а

затем двигаются в электрическом поле к электроду противоположного знака.

В связи с этим первой задачей Коттреля было получение постоянного тока высокого напряжения, и он добился этого, применив трансформацию обычного переменного тока от световых или силовых линий в ток высокого напряжения, а затем выпрямление его с помощью вращающихся механических выпрямителей. Схема Коттреля питания током электроосадительных камер осталась и до сих пор. В дальнейшем Коттрель улучшил осадительные электроды, заменив их спицеобразную форму плоской поверхностью.

Первую свою опытную заводскую установку Коттрель построил в 1906 г. для осаждения тумана серной кислоты. Установка работала вполне удовлетворительно. Более крупная промышленная установка была построена Коттрелем в 1908 г. для очистки отходящих газов после рафинировочного отделения, где сплавы золота и серебра обрабатывались кипящей серной кислотой для отделения серебра.

В 1910 г. была пущена весьма крупная установка для очистки газов медеплавильных заводов Балаклава Сметтер (Америка). Эта установка состояла из девяти камер и очищала около 8000 м³ газа в минуту. Расход мощности 120 kW.

Одновременно с Коттрелем в Германии Е. Меллер в течение 1907—1910 гг. провел ряд работ по электрической очистке газов. Задержанное несколько мировой войной развитие электроочистки пошло весьма быстрыми шагами в 20-х годах, и количество установленных фирмами Люрти и Сименс электрофильтров в одной только химической промышленности в 1931 г. превышало 300 аппаратов.

Первый электрофильтр в СССР был спроектирован и установлен в 1924 г. инж. Баймаковым на заводе «Красный выборжец» в Ленинграде для улавливания окиси цинка. Вторая установка была поставлена в 1926 г. инж. Шнейерсоном на заводе «Победа» в Ярославле также для улавливания окиси цинка. В дальнейшем было привезено из-за границы несколько электрофильтров. В настоящее время электрофильтры в СССР проектируются и устанавливаются трестом «Газоочистка».

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1. Форма электродов, напряжение поля

Электрический метод очистки газа применяется с большим успехом во всех отраслях промышленности. Рассмотрим элементарную теорию этого метода.

Если мы придадим двум электродам, между которыми находится диэлектрик, некоторые противоположные по знаку электрические заряды (конденсатор), то пространство между электродами придет в особое состояние: мы будем иметь электрическое поле. Это пространство отличается тем, что заряд, поме-

ценный в нем, начинает под влиянием сил, действующих в поле, передвигаться от одного электрода к другому.

Сила, с которой поле действует на единицу положительного заряда, называется напряжением поля.

Движение заряда в поле происходит по некоторым кривым, направление которых совпадает с направлением силы или напряжения поля в данной точке. Такие кривые, мысленно проведенные в поле, называются силовыми линиями. Если в любой точке пространства поля напряжение одинаково, то поле называется однородным.

Вид поля зависит только от формы электрода. Все конструктивные выполнимые формы электродов можно свести к трем основным типам: 1) две параллельные плоскости, 2) два концентрических цилиндра, 3) плоскость и цилиндр.

1. Рассмотрим случай двух параллельных плоскостей. Предположим, что плоский лист заряжен количеством электричества Q . Если поверхность листа равна F , то заряд на 1 см^2 будет равен $q = \frac{Q}{F}$.

Выделим из нашего листа элемент площадью f . Так как силовые линии направлены всегда нормально к заряженной поверхности, то из нашего элемента они будут исходить лишь из двух небольших поверхностей $2f$, ограничивающих взятый элемент с обеих сторон листа. Если обозначить через E напряжение поля, то для любой поверхности уровня (поверхность точек в пространстве с одинаковым напряжением) полное количество силовых линий, проходящих через эту поверхность, составит:

$$E \int df = E 2f.$$

Далее согласно теореме Гаусса силовой поток для данного случая равен

$$E \int df = \frac{4\pi}{\epsilon} qf,$$

где ϵ диэлектрическая постоянная, следовательно

$$\begin{aligned} 2Ef &= \frac{4\pi}{\epsilon} qf, \\ E &= \frac{2\pi q}{\epsilon}. \end{aligned} \quad (14)$$

Возьмем теперь две параллельные плоскости, находящиеся на расстоянии d друг от друга, и зарядим каждую из плоскостей противоположным электрическим зарядом величиной $+Q$ и $-Q$.

Напряжение поля в любой точке между плоскостями составит:

от заряда первой плоскости

$$E_1 = \frac{2\pi Q}{\epsilon F}; \quad (15)$$

от заряда второй плоскости

$$E_2 = \frac{2\pi Q}{\epsilon F}. \quad (16)$$

Так как поля направлены в разные стороны, то результирующее напряжение равно сумме абсолютных значений E_1 и E_2 (вне плоскостей напряжение равно нулю):

$$E_{1,2} = \frac{4\pi Q}{\epsilon F}. \quad (17)$$

Но из физики известно, что напряжением поля называют силу, с которой действует поле на единицу положительного заряда или, что то же, падение потенциала на единицу длины. Следовательно можно написать

$$E_{1,2} = -\frac{dV_{1,2}}{dx} = \frac{4\pi Q}{\epsilon F},$$

где x — расстояние, откуда

$$dV_{1,2} = -\frac{4\pi Q}{\epsilon F} \cdot dx \quad \text{и} \quad V_{1,2} = -\int \frac{4\pi Q}{\epsilon F} \cdot dx.$$

Если x_1 и x_2 — расстояние выбранной точки от первой и второй плоскостей, то потенциал, обусловленный зарядом первой плоскости

$$V_1 = -\frac{2\pi Q}{\epsilon F} x_1 + \text{const}$$

и второй

$$V_2 = +\frac{2\pi Q}{\epsilon F} x_2 + \text{const}.$$

Результирующий потенциал окажется равным

$$V = V_1 + V_2 = \frac{2\pi Q}{\epsilon F} (x_2 - x_1) + \text{const}.$$

Отсюда можно определить потенциал любой точки между плоскостями; располагая точку на поверхности плоскостей, получим

при $x_1 = 0$ и $x_2 = d$

$$V' = \frac{2\pi Q}{\epsilon F} \cdot d;$$

при $x_1 = d$ и $x_2 = 0$

$$V'' = -\frac{2\pi Q}{\epsilon F} \cdot d;$$

откуда разность потенциалов между плоскостями равна

$$V = V' - V'' = \frac{4\pi Q}{\epsilon F} \cdot d$$

или

$$Q = \frac{V_e F}{4\pi d}.$$

Подставив значение Q в уравнение (17), получим

$$E_x = \frac{4\pi V_e F}{\epsilon F 4\pi d} = \frac{V}{d}, \quad (18)$$

т. е. напряжение поля плоского конденсатора равномерно, градиент напряжения постоянен, одинаков для всех точек поля.

2. Допустим теперь, что мы имеем цилиндрический проводник радиуса r и длины l , которому сообщен заряд Q . Этот заряд распределится равномерно по всей длине проводника и величина заряда на единицу длины будет равна

$$q = \frac{Q}{l}. \quad (19)$$

С наружной стороны этого проводника будут исходить силовые линии в виде радиальных лучей. Густота этих линий в любой точке пространства выражает напряжение поля в этой точке. Если проводник — полая цилиндрическая труба, то силовые линии, как известно, идут только снаружи и напряжение поля внутри проводника равно нулю. Чтобы найти напряжение поля в расстоянии x от проводника, надо провести концентрический цилиндр радиусом равным x и высотой dl . Поверхность этого цилиндра будет равна $2\pi x dl$. Полное количество силовых линий, проходящих через цилиндр, т. е. через поверхность уровня, будет равно

$$E \int df = E 2\pi x dl.$$

По теореме Гаусса силовой поток через замкнутую поверхность равен $\frac{4\pi}{\epsilon} Q_0$, сумме заключенных в ней зарядов, т. е.

$$E \int df = \frac{4\pi \cdot Q_0}{\epsilon},$$

откуда

$$E \cdot 2\pi x dl = \frac{4\pi Q_0}{\epsilon},$$

но заряд, заключающийся внутри взятой поверхности уровня, равен $Q_0 = qdl$. Подставив значение Q_0 в последнее равенство, получим

$$E = \frac{4\pi q dl}{\epsilon 2\pi x dl} = \frac{2q}{\epsilon x}$$

или, заменив q из уравнения (19), найдем

$$E = \frac{2Q}{\epsilon l \cdot x}, \quad (20)$$

т. е. напряжение поля обратно пропорционально расстоянию точки от оси цилиндра.

Возьмем теперь трубу с радиусом R и поместим в центре ее проводник (проволоку) радиуса r . Пусть проводник будет заряжен количеством электричества $+Q$ и трубка $-Q$. Напряжение поля на расстоянии x от оси диаметров (при $x < R$), вызываемое зарядом $+Q$, согласно уравнению (20) будет

$$E_1 = \frac{2Q}{\varepsilon kx}$$

и вызываемое зарядом $-Q$

$$E_2 = 0$$

и результирующее напряжение поля

$$E_x = E_1 + E_2 = \frac{2Q}{\varepsilon kx}.$$

Если обозначим через $V_{1,2}$ потенциал в точке x , то на основании определения потенциала

$$E_x = -\frac{dV_{1,2}}{dx} = \frac{2Q}{\varepsilon kx}, \quad (21)$$

откуда

$$dV_{1,2} = -\frac{2Q \cdot dx}{\varepsilon kx}. \quad (21a)$$

Интегрируем в пределах от R до r , получим

$$V_1 - V_2 = V = -\frac{2Q}{\varepsilon l} (\ln r - \ln R) = \frac{2Q}{\varepsilon l} \ln \frac{R}{r}.$$

Определив отсюда Q и подставив в выражение для поля, получим

$$E_x = \frac{2\varepsilon l V}{2\varepsilon kx \ln \frac{R}{r}} = \frac{V}{x \ln \frac{R}{r}}. \quad (22)$$

Сравнивая уравнения (18) и (22), мы видим, что в первом случае градиент напряжения поля одинаков для всех его точек и поле однородно, во втором же случае поле неоднородно, так как градиент напряжения его обратно пропорционален удалению от оси цилиндров. Максимальный градиент получается при минимально возможном x , т. е. при $x = r$. Вообще же x может меняться в пределах от r до R .

3. В третьем случае, т. е. когда мы имеем плоскость и цилиндр, можно также доказать, что поле будет неоднородным, максимальное его значение у поверхности цилиндра равно:

$$E_{\max} = \frac{V}{r \ln \frac{R}{r}},$$

где s — расстояние между плоскостью и цилиндром.

На практике последняя форма проводников широко применяется в виде параллельных плоскостей с помещенными между ними рядами проводников в виде проволок.

2. Ионизация и коронный разряд

Остановимся теперь на явлении ионизации, для чего проведем следующий опыт.

Возьмем плоский конденсатор, в который включены (рис. 115) источник электричества a , который может давать различное напряжение конденсатору, и чувствительный амперметр b . Если цепь разомкнуть, закончив ее двумя параллельными плоскостями c , разделенными слоем воздуха d , то очевидно, что тока в цепи не будет, так как воздух является непроводником. Но если на воздух, находящийся между пластинами c , подействовать ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами или же лучами радиоактивных веществ, то мы заметим отклонение стрелки амперметра.

В дальнейшем сила тока первоначально постепенно будет увеличиваться почти пропорционально повышению напряжения, затем увеличение силы тока несколько замедлится и наконец совсем прекратится, несмотря на увеличение напряжения. Величину тока, соответствующего этому моменту, называют насыщающим током (или током насыщения), а величину напряжения, отвечающую этому току, называют насыщающим напряжением.

Если при некотором расстоянии пластин напряжение поднять очень сильно, например до 20 000 V, то между пластинами произойдет пробой, и амперметр покажет весьма большую силу тока. Весь этот процесс изображен на рис. 116 и объясняется следующим образом.

Атомы всякого вещества состоят из ядра, заряженного положительно, и из определенного количества отрицательных электронов. При добавлении одного или нескольких электронов сверх этого постоянного числа вещество заряжается отрицательно, образуя отрицательный ион. При отнятии же одного или нескольких основных электронов создается положительный ион. Электрон представляет наименьшее количество электричества, которое может существовать самостоятельно. Величина электронов составляет $4,774 \cdot 10^{-11}$ эл.-ст. ед. При действии ультрафиолетовых или рентгеновских лучей возможно, что газовые молекулы расщепляются, образуя положительные и отрицательные ионы, или же возможно, что от молекул отделяются свободные электроны: тогда остаток составит ион, который будет положителен. Но, как и при электролитической диссоциации, молекула может разделиться на положительный и отрицательный ионы. Эти ионы при столкновении друг с другом могут соединяться вновь в нейтральные молекулы — происходит так называемая рекомбинация их.

При отсутствии источника электричества a (рис. 115) и действия лучей на пространство d за один и тот же промежуток вре-

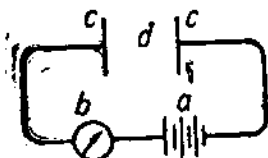


Рис. 115. Плоский конденсатор:

a — источник электричества,
 b — амперметр, c — пластины,
 d — расстояние между пластинами.

мени образуется и рекомбинируется одинаковое количество ионов, т. е. число свободных ионов в некотором объеме постоянно. Если же между пластинами с мы будем иметь поле, то ионы будут двигаться к пластинам и мы будем наблюдать по амперметру электрический ток. При увеличении напряжения поля ионы начинают двигаться быстрее, число рекомбинаций уменьшается и большее количество ионов доходит до пластин: ток увеличивается. По мере дальнейшего увеличения напряжения все образующиеся ионы участвуют в переносе зарядов к пластинам и число рекомбинаций становится незначительным по сравнению с числом образующихся ионов, а поэтому сила тока становится максимальной и постоянной — наступает момент насыщения. Дальнейшее повышение напряжения поля вызывает лишь увеличение скорости ионов, но так как уже все образовавшиеся ионы участвуют в образовании тока, то увеличения силы тока не происходит.

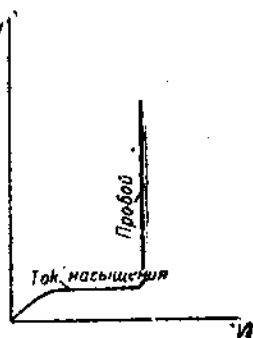


Рис. 116. Ток насыщения в плоском конденсаторе.

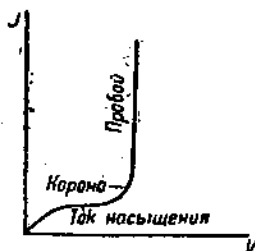


Рис. 117. Ток насыщения в цилиндрическом конденсаторе.

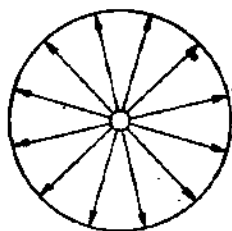


Рис. 118. Поле в цилиндрическом конденсаторе.

Если же мы увеличим напряжение поля еще больше, то скорость и живая сила ионов будут настолько велики, что они ударом будут расщеплять встреченные молекулы воздуха на ионы (ударная ионизация), которые, в свою очередь, приобретают большую скорость и разбивают следующие молекулы и т. д. Таким образом ионизируется все пространство между пластинками с и в результате происходит пробой.

При плоском конденсаторе, как мы видели выше, поле однородно, т. е. напряжение поля во всех точках равномерно и поэтому пробой наступает одновременно во всем слое воздуха между плоскостями конденсатора. Получается искровой разряд и ионизация в этом случае вообще получить нельзя. По этой причине электроды в виде двух параллельных плоскостей для электроосистки газов не пригодны.

Если мы заменим в нашем опыте (рис. 116) плоский конденсатор на цилиндрический, то вначале при малом напряжении явление будет сходно с первым случаем, но период насыщения будет короче и после него начнется сильное, но не резкое повышение силы тока (рис. 117).

Пробой вначале не будет, он произойдет только при дальнейшем повышении напряжения. Это отличие от плоского конденсатора объясняется неравномерностью поля в цилиндрическом конденсаторе (рис. 118).

Около центрального провода густота силовых линий, т. е. напряжение больше, чем у периферии, поэтому при повышении напряжения ионы, находящиеся вблизи этого провода, будут двигаться с большой скоростью и расщеплять ударом на ионы встречающиеся на их пути молекулы. Но по мере приближения к периферии напряжение будет уменьшаться, ионы будут двигаться с меньшей скоростью и их живая сила будет недостаточна для ионизирования встречающихся молекул, т. е. дальнейшая ионизация прекратится и ограничится районом вблизи центрального провода. Воздух на периферии останется неионизированным и пробой не произойдет.

Видимым явлением при наступлении ионизации будет появление вокруг поверхности центрального провода слабого свечения, сопровождающегося легким шипением. Видимое свечение вокруг центрального провода носит название короны и ионный разряд обычно называют коронным разрядом. Если провод отрицателен, то корона имеет беловато-голубой оттенок и светится ровно; при положительном проводе корона имеет фиолетовый оттенок и пушится. Пространство вокруг короны сильно ионизировано и поэтому хорошо проводит ток. На основании этого можно рассматривать область короны как некоторое увеличение радиуса центрального провода. С увеличением напряжения увеличивается размер короны. Увеличение короны происходит до тех пор, пока напряжение не достигнет определенного предела, после чего происходит пробой.

Для определения этого момента возьмем уравнение (22)

$$E_x = \frac{V}{x \ln \frac{R}{r}}$$

и заметим, что так как корона представляет собой проводящий слой, то, считая x за радиус короны, можем написать:

$$x = r \quad \text{и} \quad E_x = \frac{V}{x \ln \frac{R}{r}}$$

Определим значение E_x при различных значениях x , выраженных в долях R .

При x , равном:

$$\frac{R}{100}$$

$$\frac{R}{20}$$

E_x равно:

$$\frac{V}{\frac{R}{100} \ln 100} = 21,7 \frac{V}{R}$$

$$\frac{V}{\frac{R}{20} \ln 20} = 6,7 \frac{V}{R}$$

$$\begin{array}{ll} \frac{R}{5} & \frac{V}{\frac{R}{5} \ln 5} = 3,1 \frac{V}{R} \\ \frac{R}{2,718} & \frac{V}{\frac{R}{2,718} \ln 2,718} = 2,718 \frac{V}{R} \\ \frac{R}{2} & \frac{V}{\frac{R}{2} \ln 2} = 2,9 \frac{V}{R} \\ \frac{R}{1,5} & \frac{V}{\frac{R}{1,5} \ln 1,5} = 3,7 \frac{V}{R} \\ \frac{R}{1,1} & \frac{V}{\frac{R}{1,1} \ln 1,1} = 11,4 \frac{V}{R} \end{array}$$

Возьмем конденсатор, в котором внешний цилиндр имеет радиус R , а внутренний провод радиус $\frac{R}{100}$, и повысим потенциал V до тех пор, пока у границы центрального провода не начнется образования короны. Допустим, что это произойдет в тот момент, когда потенциал будет равен V_1 . Тогда так называемое критическое напряжение должно быть равным $E_{кр.} = 21,7 \frac{V_1}{R}$, но это напряжение должно упасть, так как с образованием короны x увеличивается, а при увеличении x , как мы видели выше (см. E_x при $x = \frac{R}{20}$), E_x уменьшается, т. е. оно сейчас же будет меньше $E_{кр.}$. Для того чтобы достигнуть $E_{кр.}$ необходимо снова повысить V , но при повышении V также увеличится x и E_x не достигнет $E_{кр.}$. Так будет продолжаться до тех пор, пока мы не увеличим радиус провода или, что то же, радиус короны до $r = x = \frac{R}{2,718} = \frac{R}{e}$, где e — основание натуральных логарифмов. Если при этом значении r мы поднимем потенциал настолько, что будем иметь корону, т. е. достигнем E_x , то дальнейшее увеличение короны сверх значения $\frac{R}{e}$ при том же потенциале не только не вызовет уменьшения E_x , а, наоборот, вызовет увеличение E_x сверх уже достигнутого $E_{кр.}$, что видно из того, что с увеличением x выше $\frac{R}{e}$, т. е. при $\frac{R}{2}$, $\frac{R}{1,5}$ и т. д., значение E_x возрастет.

Таким образом радиус короны будет увеличиваться далее без повышения потенциала и ионизация распространится на весь объем конденсатора, т. е. произойдет пробой. Отсюда следует, что увеличение диаметра провода, а также и короны



имеет предел от $x=r$ до $x=\frac{R}{e}$. Кроме того при одном и том же U напряжение тем больше, чем меньше радиус провода, поэтому в цилиндрическом конденсаторе, а также и в конденсаторе, состоящем из плоскости и провода, при тонких проводах для получения короны нужен меньший потенциал, чем при толстых проводах.

3. Выбор рода тока для электроочистки

В электрофильтрах применяют всегда постоянный ток и коронирующие провода соединяют с отрицательным полюсом.

Опыт показывает, что при постоянном токе и отрицательной короне можно достигнуть 95—98%-ной степени очистки; в этих же условиях при положительной короне степень очистки составит лишь 70—80%, а при переменном токе всего 50%. Объясняется это тем, что при переменном токе образовавшиеся ионы подвергаются попеременному действию сил, притягивающих и отталкивающих. Часть ионов, не успевших отдать своих зарядов при перемене знака на электродах, должна изменить свое направление и вследствие этого скорость их уменьшается. Таким образом ионы будут двигаться скачками и результирующая скорость их движения будет незначительной. Частицы пыли или тумана двигаются вместе с ионами, их заряжающими, т. е. также скачками, меняя направление с незначительной конечной скоростью. Кроме того напряжения поля будут тратиться на преодоление инерции частиц после перемены направления силы тока.

Таким образом при переменном токе потребуется больше времени на то, чтобы частица достигла электродов, а следовательно при прочих равных условиях и степень очистки окажется меньшей.

Преимущество отрицательного тока объясняется тем, что скорость движения отрицательных ионов больше скорости положительных. При положительной и отрицательной короне ионы обоих знаков возникают в одинаковом числе, но при отрицательной короне отрицательные ионы беспрепятственно двигаются к трубе или плоскости и там разряжаются. Положительные же ионы ввиду ограниченности поверхности проволоки не всегда достигнут этой поверхности: часть их нейтрализуется, а часть перезарядится и переменит направление. Следовательно при отрицательной короне в электрическом поле будут главным образом двигаться отрицательные ионы. При положительной короне, наоборот, не все отрицательные ионы нейтрализуются у проволоки, а часть из них перезарядится и как положительные ионы они будут двигаться к трубе или плоскости.

Таким образом в обоих случаях главное количество ионов, находящихся в движении, будет того знака, каким заряжен провод; но так как скорость отрицательных ионов больше, чем положительных, то и степень очистки при отрицательном заряде провода выше.

Второй и главнейшей причиной выбора отрицательной короны для электроочистки является возможность держать при ней напряжение значительно выше, чем при положительной короне, без пробивания, а стало быть имеется и возможность увеличения напряжения поля, диаметра короны и улучшения осаждения.

4. Заряжение пыли

Рассмотрим теперь, что будет происходить в цилиндрическом конденсаторе, когда в нем происходит сильная ионизация, т. е. образовалась корона, и через него проходит газ, содержащий пыль. В радиусе короны образуются ионы обоих знаков, но ионы одинакового знака с проводом, как отталкивающиеся от провода и притягивающиеся цилиндром, будут двигаться к цилиндру и поэтому в пространстве между короной и цилиндром будут находиться только ионы, заряженные одинаково с проводом; в пространстве же, занятом короной, преимущественно будут находиться ионы, заряженные по знаку противоположно проводу.

Ионы, двигаясь по полю, будут сталкиваться с пылинками, находящимися в газе, и будут осаждаться на пылинках, сообщая им соответствующий заряд. Пылинки, получив заряд, начнут двигаться под влиянием электрического поля в том же направлении, в каком двигались ионы, осевшие на пылинках. Определим величину заряда пылинки. Считая пылинку шарообразной с радиусом r и имея в виду диэлектрическую поляризацию, благодаря которой изменяется однородность поля вблизи пылинки, так как ее диэлектрическая постоянная ϵ отличается от таковой газа, мы получим величину внешней силы, направленной в центр пылинки и взятой на ее поверхности $E_x \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right)$, где E_x — напряжение поля в абсолютных единицах [1 абсолютная единица (1 CGS) равна 300 V]. Эта сила будет притягивать к пылинке ион, обладающий элементарным зарядом l_0 , и величина притяжения на поверхности пылинки будет равна

$$E_x \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) l_0.$$

Как только один или несколько ионов окажутся притянутыми к пылинке, они начнут отталкивать другие, одинаково с ними заряженные ионы. Величина этого отталкивания по закону Кулона равна: $\frac{n l_0^2}{r^2}$, где n — число ионов, осевших на пылинке; r — радиус пылинки.

Притягивание новых ионов к пылинке прекратится тогда, когда с возрастанием числа сидящих на частице ионов с n до $n_{\max}$ равнодействующая между этими двумя противоположными силами станет равна нулю, т. е. когда

$$E_x \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) l_0 = \frac{n_{\max} l_0^2}{r^2}.$$

откуда величина максимального заряда пылинки равна

$$n_{\max} l_0 = E_x \left(1 + 2 - \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \right) r^2. \quad (23)$$

Приводим диэлектрические постоянные для некоторых веществ:

Вещество	ε	Вещество	ε
Газы	1	Гипс	5
Парафин, керосин	2	Фарфор	4—6
Изоляционные масла	2—4	Известковый шпат	8
Асфальт	2—7	Окиси металлов	12—18
* Кварц, сера	4	Металлы	∞

Пользуясь приведенными формулами и таблицей, можно определить по данному напряжению поля величину максимального заряда для пылинок определенных размеров, а также и количество осевших на пылинке ионов.

Пример. Требуется определить величину максимального заряда и число осевших ионов для пылинки огарка радиусом 2,5 μ , если напряжение поля равно 4000 В/см; $\varepsilon = 15$;

$$E_x = \frac{4000}{300} = 13,33 \text{ CGS}; \quad r = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ см.}$$

Определяем $n_{\max} l_0$ по формуле (23)

$$\begin{aligned} n_{\max} l_0 &= 13,33 \left(1 + 2 \cdot \frac{15 - 1}{15 + 2} \right) \cdot (2,5 \cdot 10^{-4})^2 = \\ &= 13,33 \cdot \frac{45}{17} \cdot (2,5)^2 \cdot 10^{-8} = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ эл.-ст. ед.} \end{aligned}$$

Если принять, что величина заряда иона равна заряду электрона, т. е. $4,77 \cdot 10^{-10}$, то на пылинку с радиусом в 2,5 μ оседает следующее количество ионов:

$$\frac{2,2 \cdot 10^{-6}}{4,77 \cdot 10^{-10}} = 4612.$$

Б. Движение пыли в электрическом поле и время осаждения

После того как пылинка получила заряд, появляется новая сила, стремящаяся привести эту пылинку в движение, а именно сила притяжения или отталкивания заряженной пылинки от заряженного провода. Величина этой силы, по закону Кулона, равна $F = n l_0 \cdot E_x$, где n — число элементарных зарядов l_0 , находящихся на пылинке, а E_x — напряжение поля в данной точке. Под действием этой силы пылинка, заряженная одинаково с коронирующим проводом, начинает двигаться в направлении к осадительному электроду (стенка трубы или листа); при этом движении пылинка будет испытывать сопротивление среды, которое, по закону Стокса равно $6\pi\eta r v$.

После того как сила притяжения пылинки к электроду будет уравновешена силой сопротивления, пылинка начнет двигаться с постоянной скоростью v_n , определяемой из уравнения

$$n l_0 E_x = 6\pi\eta r v_n,$$

откуда скорость осаждения пылинки равна:

$$v_n = \frac{n l_0 E_x}{6\pi\eta r}. \quad (24)$$

В этом уравнении все величины нам уже знакомы. Значения коэффициента внутреннего трения (вязкости) η даны в табл. 33 (по Нуссельту, в абс. ед. CGS). Умножением на 10^{-2} получается вязкость в $\text{кг}\cdot\text{сек}/\text{м}^2$.

Таблица 33

Газы	$\eta \cdot 10^4$	c	Газы	$\eta \cdot 10^4$	c
H ₂	0,85	74	CO	1,66	102
NH ₃	0,92	352	N ₂	1,63	110
CH ₄	1,10	—	O ₂	1,84	114
SO ₂	1,20	270	Воздух	1,68	128
CO ₂	1,50	264			

Вязкости в табл. 33 даны при температуре газов равной 0°. Для определения вязкости при какой-либо температуре t может служить формула Сезерленда:

$$\eta_t = \eta_0 \cdot \frac{1 + \frac{c}{273}}{1 + \frac{c}{273 + t}} \cdot \sqrt{1 + \frac{t}{273}}. \quad (25)$$

Значения величины c для различных газов приведены в той же таблице. Вязкость для смеси газов, если известен их объемный состав, определяется по формуле:

$$\eta_{\text{смеси}} = \eta_1 v_1 + \eta_2 v_2 + \eta_3 v_3 + \dots + \eta_n v_n,$$

где $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_n$ — вязкость каждого отдельного газа в смеси, $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ — объемное содержание каждого отдельного газа в смеси.

Выше мы видели, что в области короны образуются ионы обоих знаков, а в остальном пространстве ионы почти исключительно с одинаковыми с центральным проводом знаками. Пространство,

занимаемое короной, по сравнению с общим объемом, весьма незначительно, а следовательно и частицы пыли проходят вне короны, заряжаясь электричеством того знака, какой и у провода. Таким образом основная масса пыли будет двигаться по направлению к трубе или к пластине, которые поэтому называются осадительными электродами. Центральные же провода называются коронирующими электродами. По причинам, изложенным выше, коронирующий электрод заряжают отрицательно, а осадительный положительно.

Для получения сильной короны желательно увеличение отношения R/r , которое возможно за счет увеличения R или уменьшения r , но увеличение R влечет за собой необходимость увеличения разности потенциалов, что нежелательно, так как получение тока более высокого потенциала и обращение с ним связано с большими затруднениями. Уменьшение r возможно до известного предела, который определяется механической прочностью металла. Из этих соображений диаметр коронирующих проводов берут обычно равным 2 мм, а диаметр трубы или расстояние между пластинами, т. е. осадительными электродами, 250—300 мм. При таких размерах для получения большой короны требуется потенциал 50 000—65 000 В. Падение потенциала на 1 см называется градиентом напряжения. Средний градиент при указанном выше потенциале и диаметре труб составляет 4000 В/см.

Длина поля в электрофилтре (длина пути газа) определяется временем пребывания газа в электрофилтре, т. е. скоростью газа, а также и скоростью, с которой пылинки будут двигаться по направлению к электродам. Эта последняя скорость, как видно из уравнения (24), зависит от напряжения поля, сопротивления среды, величины пылинки и величины ее заряда. Пользуясь уравнениями (24) и (25), можно определить скорость осаждения в электрофилтре пылинок определенных размеров и время пребывания газа в электрофилтре. Зная же объем газа, поступающего в 1 сек. в электрофилтр, и время пребывания в нем газа, нетрудно определить и все остальные размеры электрофилтра. Для ясности приведем пример.

Определить размер электрофилтра для воздуха с температурой 273°, запыленного частицами огарка диаметром 5 μ . Напряжение поля 4000 В/см. Расстояние от осадительного электрода до коронирующего 150 мм. По уравнению (25) и табл. 33 определим вязкость воздуха при t 273°:

$$\eta_{273} = \eta_0 \cdot \frac{1 + \frac{c}{273}}{1 + \frac{c}{273 + t}} \cdot \sqrt{1 + \frac{t}{273}} =$$

$$= 1,68 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1 + \frac{128}{273}}{1 + \frac{128}{273 + 273}} \cdot \sqrt{1 + \frac{273}{273}} = 2,82 \cdot 10^{-4} \text{ CGS.}$$

Принимаем α равным 15 (стр. 319), $\rho = 2,5 \cdot 10^{-4}$ см. Величина заряда определяется по уравнению (23):

$$n_0 = \frac{4000}{300} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{15 - 1}{15 + 2}\right) \cdot (2,5)^2 \cdot (10^{-4})^2 = \\ = 13,33 \cdot \frac{45}{17} \cdot 2,5^2 \cdot 10^{-8} = 2,2 \cdot 10^{-6}.$$

Скорость осаждения по уравнению (24) будет равна:

$$v_n = \frac{n_0 E_x}{6\pi\eta r} = \frac{2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 13,33}{6 \cdot 3,14 \cdot 2,82 \cdot 10^{-4} \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}} = 22 \text{ см/сек.}$$

Расстояние между электродами, по условию, равно 150 мм. Чтобы пылинки, находящиеся у коронирующего электрода, дошли до осадительного, время пребывания газа должно быть не меньше $t \geq \frac{15}{22} = 0,68$ сек. Нормальное время пребывания газа в электрофильтре от 3 до 10 сек. На более крупные пылинки осядет большее число ионов и они скорее осядут. Однако, не все пылинки одинаково хорошо воспринимают заряд. Это зависит от природных свойств пылинок.

Важное влияние на степень очистки газа имеет его влажность: чем больше влажность газа, тем, как правило, выше степень очистки. Во многих случаях, например при осаждении ZnO , осаждение пыли из сухого газа вообще невозможно. Возможны два случая осаждения пыли из влажного газа.

Первый случай — осаждение из влажного газа при температуре выше точки росы; это имеет место, когда пыль по своим физико-химическим свойствам с трудом принимает заряд или же пыль входит в электрофильтр ионизированной, вызывая этим беспорядочное изменение зарядов в электрофильтре (ZnO). Увеличение влажности газа в этом случае ведет при невысокой температуре (от 60 до 100°) к абсорбции паров воды отдельными пылинками, увеличению проводимости их и улучшению способности заряжения.

Второй случай имеет место при требовании высокой степени очистки газа (очистка от As в контактном способе): весьма мелкие пылинки в сухом виде не успевают нацело осесть в электрофильтре вследствие незначительности полученного ими в электрофильтре заряда. Понижение температуры газа в этом случае ниже точки росы вызывает конденсацию паров воды на пылинках, как на центрах конденсации, и электроны вместе с пылинками увлекают с собой также и водную оболочку. При этом вместе с очисткой газа от пыли происходит и его осушка.

Скорость газа в электрофильтре берется в зависимости от требуемой степени очистки. С увеличением скорости уменьшается сечение электрофильтра, а следовательно и поперечное сечение поля, но зато увеличивается его длина; кроме того, при увеличении скорости возможен унос осевшей пыли. Поэтому нормально берется скорость газа от 0,5 до 1,5 м/сек.

II. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА

1. Трансформатор, выпрямитель и переключатель тока

Для питания электрофильтров током высокого напряжения и постоянного направления служит повысительно-выпрямительная подстанция. На этой станции ток высокого напряжения получается в трансформаторе. Трансформатор состоит из двух обмоток: первичной, изготовляемой из толстой проволоки с малым числом витков, и вторичной — из тонкой проволоки с большим числом витков. Обмотка намотана на металлический сердечник (кern).

При соединении первичной обмотки с источником переменного тока на концах вторичной обмотки появляется напряжение во столько раз большее, во сколько раз в этой обмотке больше витков, чем в первичной. В трансформаторах, устанавливаемых для электрофильтров, первичное напряжение зависит от места установки и может быть 220, 380 и 500 V. Вторичное напряжение равно 75 000 V. Весь трансформатор погружен в масляный ящик. Масло служит изолятором.

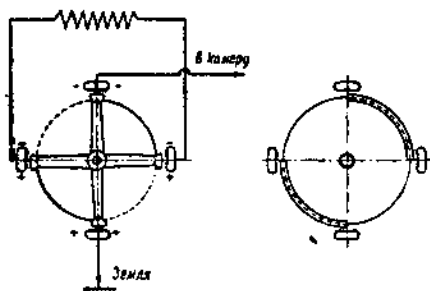


Рис. 119. Крест выпрямителя.

Питание электрофильтров производится постоянным током. Для выпрямления полученного в трансформаторе тока высокого напряжения

применяются синхронные (механические) выпрямители.

Синхронный выпрямитель представляет собой обычный мотор, на валу которого посажен крест из изоляционного материала (пертинакс, проваренное в масле дерево и т. д.); на концы креста надеты металлические башмаки, соединенные попарно проволокой (рис. 119, слева). Иногда вместо креста делают диск из такого же материала и на него насаживают два металлических токоснимателя (рис. 119, справа).

По окружности креста на изоляторах укреплены четыре щетки. К двум боковым щеткам подведены концы вторичной обмотки трансформатора высокого напряжения. К третьей (верхней) подведена шина, идущая в электрофильтр, а четвертая соединена с землей. Мотор, вращающий крест, должен делать 25 об/сек, т. е. 1500 об/мин; ток же, который подается со станции через трансформатор к боковым щеткам, имеет 50 пер/сек. Таким образом за один период крест повернется на полоборота. Допустим, что к боковым щеткам подведен переменный ток и что в данный момент на левой щетке плюс, а на правой минус. Тогда и на нижней щетке тоже плюс, а на верхней минус, так как они соединены с боковыми щетками через искру, башмаки и проволоку. Через полупериод ($1/100$ сек.) ток переменит свое направление: на левой

щетке будет минус, а на правой плюс. Но за это время крест повернется на $\frac{1}{4}$ оборота (соединяющие проволоки займут положение, указанное на рис. 119 пунктиром) и левая щетка будет соединена с верхней, а правая с нижней, полярность же верхней и нижней точек не изменится. Через следующий полупериод при повороте креста на $\frac{1}{4}$ оборота повторится то же самое и т. д. Таким образом в верхней щетке всегда будет минус, а в нижней плюс.

Щетки должны быть установлены относительно креста таким образом, чтобы при прохождении лопастей креста мимо щеток на первой щетке, соединенной с трансформатором, в этот момент было наибольшее напряжение, а на второй наименьшее. При этом условии в камеру электрофилтра мы передадим максимальное напряжение, а следовательно получим и лучший эффект. Для того чтобы установить щетки в наилучшее положение, изоляторы, к которым они прикреплены, установлены на кольце, которое при помощи соответствующего передаточного механизма, поворачивается вокруг креста.

При первом пуске электрофилтра поворачивают щетки в ту и другую сторону до тех пор, пока не получится максимальная сила тока. Такая регулировка называется регулированием траверсы. Правильное положение креста относительно щеток определяется показанием миллиамперметра, который устанавливается в цепи положительного тока, идущего от выпрямителя в землю. Показание миллиамперметра должно быть при данном положении креста максимальным и должно уменьшаться при небольшом повороте траверсы щеткодержателей как в одну, так и в другую стороны. Иногда нельзя даже при повороте траверсы до упора найти такое положение. Это указывает на то, что крест повернулся на валу, так как траверса поворачивается только на 30° . В этом случае надо повернуть крест на валу навстречу тому направлению вращения траверсы, при котором миллиампераж увеличивается. Правильное положение траверсы определяется помимо миллиамперметра также видом искры: она должна быть наименьшей при наибольшем напряжении.

Следует всегда помнить, что характеристикой работы электрофилтра является наивысший миллиампераж, а не только вольттаж, ибо при неправильном положении креста удастся на вольтметре получить более высокое напряжение в камере без пробоя. Иногда миллиампераж усиливается при невысоком напряжении. Это указывает на утечку тока вследствие загрязнения изоляторов или замыкания тока на землю.

Электрофилтр, как известно, работает наилучше в том случае, если в него подается отрицательный ток, но при пуске мотора мы не знаем заранее, какой момент мы захватили, т. е. с какой полуволны пошел мотор и какая полярность в том и другом проводниках. Для того чтобы это узнать, на противоположный конец вала мотора посажена выпрямительная шайба, называемая синхронным кольцом и состоящая из двух частей, разделенных изоляцией.

Одна часть занимает около $\frac{2}{3}$ окружности шайбы, а другая — $\frac{1}{3}$. К шайбе прижаты две щетки, к которым подведено напряжение в 220 В. В цепь тока, идущего через синхронное кольцо, включена неоновая лампа. Щетки, касающиеся шайб при вращении мотора, то соединяются, то размыкаются. При этом происходит выпрямление подведенного к щеткам переменного тока в пульсирующий постоянный. Выпрямленный ток, идущий от щетки к неоновой лампе, зажигает ее. Эта лампа обладает тем свойством, что в ней светится только катод — отрицательный полюс. Таким образом, смотря по направлению тока в неоновой лампе, электродам которой придана различная форма (кружок спереди и кольцо сзади), один из электродов светится, а второй остается темным.

На линии, идущей в трансформатор, имеется переключатель тока, поворачивая который на $\frac{1}{4}$ оборота, мы можем переменить направление тока, идущего через переключатель в трансформатор, а следовательно и в электрофильтр.

До пуска газа в электрофильтр, пользуясь неоновой лампой и наблюдая корону в электрофильтре, на переключателе делают отметки, при каком его положении в камере электрофильтра получается отрицательная корона. Этими отметками пользуются при последующих включениях трансформатора, руководствуясь в этих случаях лишь светом неоновой лампы. При неправильном включении тока высокого напряжения, т. е. при подаче в камеру положительного тока, стрелка миллиамперметра будет отклоняться в другую сторону.

Миллиамперметр устанавливается на щите, но так как через него проходит ток высокого напряжения, то при обрыве провода, идущего в землю, щит может оказаться под высоким напряжением. Для того чтобы этого не могло случиться, сейчас же за нижней щеткой выпрямителя устанавливают пробойный предохранитель, который замыкает эту щетку и миллиамперметр на землю сейчас же, как только напряжение станет ~ 100 В. Пробойный предохранитель представляет собой обычный патронный предохранитель, между контактами которого положена тонкая бумажная пластинка. Один из контактов заземлен, а другой присоединен к положительной щетке выпрямителя. Если по какой-либо причине повысится напряжение, то пробивается бумага и ток пойдет в землю через предохранитель, минуя щит.

Нужно заметить, что иногда этот предохранитель может быть пробит и ток будет идти в землю частично через него, частично через миллиамперметр. Для контроля нужно проверить предварительно проводку, вывернуть предохранитель и посмотреть, не изменил ли миллиамперметр своего показания. На постоянный ток, проходящий через миллиамперметр, накладывается высокочастотный ток, вызываемый искровыми разрядами выпрямителя. Этот ток может испортить миллиамперметр, поэтому параллельно к нему присоединяется конденсатор, представляющий для тока высокой частоты малое сопротивление. Несмотря на такую защиту, миллиамперметр все же часто портится. Во избежание этого к нему

параллельно присоединен выключатель, постоянно замыкающий миллиамперметр накоротко. Этот выключатель размыкают лишь при отсчетах по миллиамперметру.

2. Автотрансформатор и защитное сопротивление

К электрофильтру желательно подавать возможно более высокое напряжение. Однако максимальное напряжение зависит от конструкции аппарата, количества и температуры пропускаемого газа, количества пыли в газе и состояния осадительной камеры. Поэтому необходимо иметь возможность регулировать напряжение, подаваемое в осадительную камеру. Можно было бы осуществить регулировку изменением числа витков первичной обмотки трансформатора, но это связано с конструктивными трудностями. Поэтому регулировка напряжения, подаваемого к первичной обмотке трансформатора, а следовательно и высокого напряжения, пода-

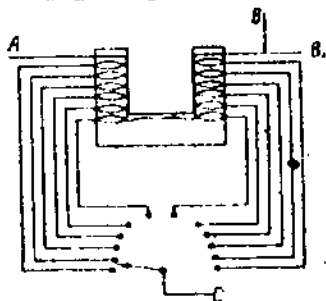


Рис. 120. Автотрансформатор.

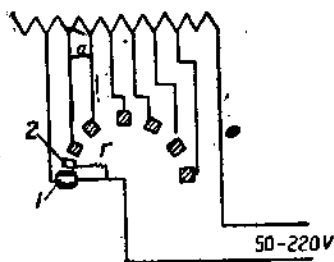


Рис. 121. Схема коммутатора:
1 — главная щетка, 2 — вспомогательная щетка.

ваемого в камеру, производится помощью отдельного аппарата — автотрансформатора; он устроен следующим образом (рис. 120).

На железном сердечнике навито несколько витков провода и каждый из них соединен со своей клеммой; по клеммам вращается контакт. Первичный ток проходит через всю намотку, от точки А до точки В. Вторичный ток, идущий в трансформатор, отводится от подвижного контакта С и из той же точки В. Так как напряжение делится поровну между всеми витками, то подвигая контакт по клеммам, можно подавать в первичную обмотку трансформатора различные напряжения от 50 до 380 В и получать соответственно напряжения на высокой стороне трансформатора от 10 000 до 75 000 В. Выводные клеммы и подвижной контакт собраны в общий прибор, называемый коммутатором. Коммутатор устанавливается за щитом. Передвижение же контакта по клеммам производится штурвалом, который устанавливается на щите. Схема коммутатора представлена на рис. 121.

Если расстояние между медными клеммами сделать меньше ширины подвижного контакта, то в момент перевода соответствующие витки были бы замкнуты накоротко. При расстоянии же между клеммами, большем ширины контакта, при его переводе бу-

дет размыкаться ток в тот момент, когда контакт будет находиться между двумя клеммами. Это повело бы к сильному искрообразованию и быстрому перегоранию контакта. Чтобы избежать этих явлений, делают расстояние между контактами шире щетки, но рядом с основной укрепляют вспомогательную щетку, соединенную с главной небольшим сопротивлением.

При переводе вспомогательная щетка переходит на соседний контакт и витки *a* замыкаются уже не накоротко, а через сопротивление *r*. При движении щеток главная щетка сходит с контакта, причем ток трансформатора не обрывается, а проходит через вспомогательную щетку и сопротивление *r*. Долго задерживать щетку в таком положении не следует, так как может перегореть сопротивление *r*, не рассчитанное на продолжительную работу; надо главную щетку перевести на следующий контакт. Положение щеток чувствуется при переводе благодаря отщелкивающему механизму. При переводе подвижного контакта по часовой стрелке включается большее число витков автотрансформатора и увеличивается напряжение в высоковольтном трансформаторе.

Значительная часть электрических газоочисток работает на напряжении, близком к разрядному, поэтому случайная искра, образовавшаяся при замыкании проводов комом упавшей щели или вследствие случайного толчка напряжения, ведет к образованию дуги; в лучшем случае она отключит автомат и вызовет перерыв подачи тока; в худшем же случае может повести к порче трансформатора. Для того чтобы этого не произошло, обычно включают на низковольтной стороне трансформатора защитное сопротивление. Такое сопротивление можно включить на высоком и на низком напряжениях. Защитное сопротивление при возрастании силы тока понижает напряжение, так как оно в трансформаторе разделяется на две части: на то напряжение, которое подается к электродам, и на другое — поглощаемое сопротивлением. Последнее напряжение равно произведению RJ . При небольшой силе тока RJ также мало, но если J сильно возрастает, то и значение RJ также сильно растет, а следовательно напряжение, подаваемое к электродам в камеру, уменьшится и искрообразование прекратится.

3. Схема повысительно-выпрямительной подстанции

Схема включения главной электрической аппаратуры подстанции представлена на рис. 122.

Трехфазный ток из сети поступает в трехполюсный рубильник 1 (он же и рубильник мотора 2 выпрямителя). Две фазы подходят к автотрансформатору 4. Автотрансформатор может быть подключен к сети в 380 и 500 В. При напряжении сети в 220 В ставится другой автотрансформатор. Один провод от ручки автотрансформатора идет к защитному сопротивлению (реостату 5) и от него к автоматическому рубильнику 6. Второй провод от крайней клеммы автотрансформатора непосредственно присоединен к тому же рубильнику. От автоматического рубильника ток через амперметр 7 и переключатель тока 8 поступает в низковольтную обмотку вы-

соковольтного трансформатора 9. Назначение автоматического рубильника отключить трансформатор от сети, если в нем почему-либо усилится ток выше нормального, например при коротких замыканиях в осадительных камерах или на линии, или если напряжение в сети упадет ниже нормального. Автомат соединен с сигнализацией и при его включении подаются световой и звуковой сигналы. Дверь кабинки снабжена контактом, включенным в линию нулевой катушки автомата. При открывании двери кабинки сеть разрывается и установка автоматически выключается.

Подав ток в первичную обмотку трансформатора 9, мы получим высокое напряжение во вторичной. Вторичная обмотка присоединена к двум противоположным щеткам выпрямителя 3. Третья щетка, пройдя миллиамперметр 10, соединяется с землей. Параллельно с миллиамперметром включены конденсатор 11 и пробойный предохранитель 12. Четвертая щетка выпрямителя 3 присоединена через радиодроссель 13 к триниальтеру 14

(высоковольтному переключателю), откуда ток подается к коронирующим проводам камеры. Дроссель защищает сеть от высокой частоты, которую излучает выпрямитель и которая мешает радиопередаче. Для защиты от радиоизлучений помимо радиодросселя служит заземленная сетка, помещенная под штукатуркой в подстанции.

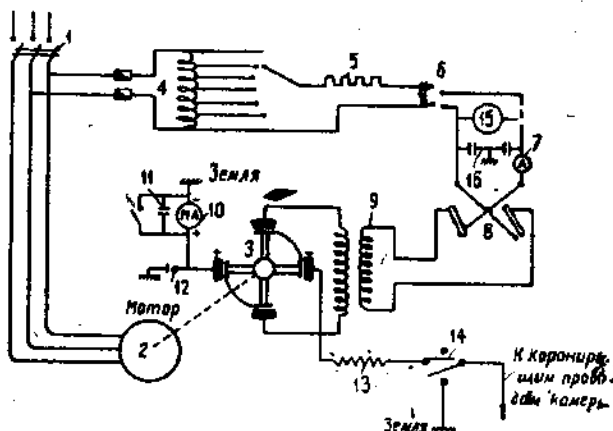


Рис. 122. Схема повысительно-выпрямительной подстанции:

1 — трехполюсный рубильник, 2 — мотор выпрямителя, 3 — выпрямитель, 4 — автотрансформатор, 5 — защитный реостат, 6 — автоматический рубильник, 7 — амперметр, 8 — переключатель тока, 9 — высоковольтный трансформатор, 10 — миллиамперметр, 11 — конденсатор, 12 — пробойный предохранитель, 13 — радиодроссель, 14 — высоковольтный переключатель, 15 — вольтметр, 16 — конденсатор.

Для измерения напряжения, подаваемого к первичной обмотке трансформатора, устанавливается вольтметр 15. Разряды на выпрямителе вызывают появление высокочастотных токов во вторичной обмотке трансформатора. Эта высокая частота вызывает появление высокочастотных токов также и в низковольтной обмотке. Для того чтобы они не попали во всю низковольтную сеть, на зажимах вольтметра устанавливаются последовательно два конденсатора 16, средняя точка которых заземлена. Представляя большое сопротивление прохождению тока обычной частоты в 50 периодов, конденсаторы легко пропускают высокую частоту, чем предотвращается в значительной мере ее попадание в сеть. Нужно время от времени проверять каждый из конденсаторов.

Высоковольтные переключатели служат для включения и переключения осадительных камер. Переключатель представляет собой крестовину, на которой укреплены два поворотных изолятора и один неподвижный. Все три изолятора имеют контакты, представляющие собой две тарелочки, прижимаемые друг к другу пружиной; кроме того на поворотных изоляторах укреплены ножи, которые могут входить между тарелочками других изоляторов. Этими ножами изоляторы могут соединяться между собой, с неподвижным изолятором или наконец с заземленной трубой, снабженной контактами и укрепленной против неподвижного изолятора. К одному из поворотных изоляторов подводится ток через радиодроссель от выпрямителя, а к другому присоединяется подводка от осадительной камеры.

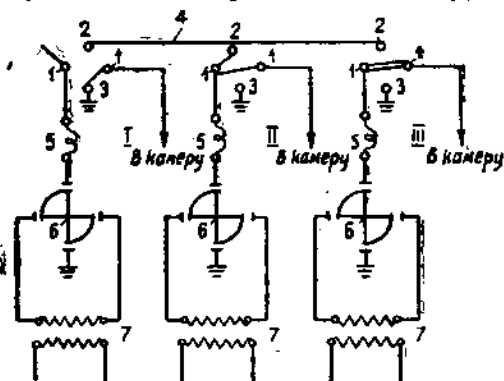


Рис. 123. Схема установки трех высоковольтных агрегатов:

1 — поворотные изоляторы, 2 — неподвижный изолятор, 3 — заземленная труба, 4 — резервная шина, 5 — радиодроссель, 6 — выпрямитель, 7 — трансформатор.

На рис. 123 изображена схема установки трех высоковольтных агрегатов. На первом агрегате выпрямитель отключен: камера не работает и заземлена. На втором высокое напряжение от выпрямителя включено на камеру и резервную шину, к которой можно присоединить и первую камеру. На третьем высокое

напряжение дано лишь в камеру и резервная шина отключена. При включении главного рубильника на щите загорается зеленая лампа и при включении рубильника трансформатора — красная. При сильных и частых колебаниях в заводской сети напряжения или частоты, что обычно ведет к пробоям в осадительных камерах и к выпадению из синхронизма моторов-выпрямителей, а также при наличии на заводе постоянного тока не удается применить для целей трансформации и выпрямления имеющийся ток. В этом случае приходится ставить моторгенераторные группы. Мотор выбирают в зависимости от имеющегося тока, а генератор обычно берут на напряжение 220 В и 50 периодов. На вал моторгенераторной группы насаживают крест выпрямителя, для чего эта группа выбирается с числом оборотов в минуту ~ 1500. Само выпрямление ничем не отличается от описанного выше. Подобная установка представлена на рис. 124.

При применении моторгенераторной установки регулировку напряжения в первичной обмотке трансформатора производят весьма удобно и точно путем установки небольших реостатов, меняя ими

силу постоянного тока, идущего в обмотку для возбуждения генератора.

Подводка тока высокого напряжения от подстанции в осадительные камеры производится довольно часто голыми шинами. Вследствие небольших токов и незначительных потерь шины изготовляются из круглых железных прутьев или труб диаметром 8—12 мм. Шины подвешиваются на изоляторах в железной защитной трубе диаметром 300 мм. Защитная труба должна быть заземлена и шины, проходя в центре трубы, нигде не должны подходить к трубе ближе, чем на 150 мм. Иногда шины помещают в цементных каналах, но практика показала, что при наличии грунтовых

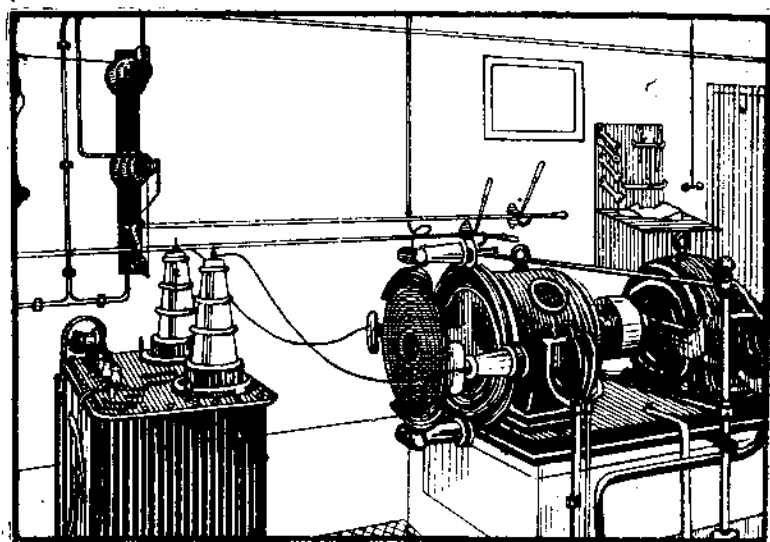


Рис. 124. Моторгенераторная группа.

вод и загрязнений, которые имеют место на кислотных заводах, такая проводка ведет к частому перекрыванию изоляторов и влечет за собой необходимость частой протирки, поэтому в последнее время проводку стали делать кабелем, что хотя дороже, но зато проще и более надежно. Предохранительные трубы, в которых прокладывают железные шины, в местах укрепления изоляторов должны иметь дверки для протирки изоляторов.

Для предохранения радиопередатч от электромагнитных волн радиочастотного порядка стены машинного помещения должны быть покрыты заземленной сеткой под штукатуркой. Окна должны быть также защищены заземленной решеткой и сеткой. При такой защите само помещение представляет собой осадительную камеру, в которой коронирующими электродами являются шины, а осадительными — стены здания. Эти стены довольно быстро становятся грязными от осевшей на них пыли, поэтому стены станции необхо-

димо выкрашивать масляной краской, а пол вымащивать метлахскими плитками.

Кроме этого в помещении должна быть хорошая вентиляция с подогревом воздуха. Необходимость хорошей вентиляции вызывается также и тем, что поступающий в станцию воздух обычно содержит газы, которые быстро разрушают аппаратуру. Сам выпрямитель также является источником образования окислов азота. Воздух для вентиляции должен браться возможно дальше от источников, выделяющих газ. Все металлические части (ограждения, приборы, штыри изоляторов и т. д.) должны быть присоединены к заземляющей шине, изготовляемой из полосового железа сечением 20×5 мм. Само заземление состоит из железных луженых труб, закопанных в землю. При больших установках делают два таких заземления.

Для безопасности и сохранности аппаратуры машинное помещение должно быть всегда заперто на ключ и вход в него разрешен только определенным лицам.

Стандартная электрическая аппаратура для очистки газа выпускается трестом «Газоочистка». В стандартный комплект входят: высоковольтный трансформатор, автотрансформатор с коммутатором для регулировки напряжения, мотор с выпрямителем-трестом, реостат, щит с вольтметром, амперметром и миллиамперметром, сигнальными лампами, рубильником, дроссели, радиозащита и дверь с предохранительным контактом.

4. Электрофильтры

Принцип работы электрофильтров представлен на рис. 125. Переменный ток по проводам *A* поступает в главный рубильник,

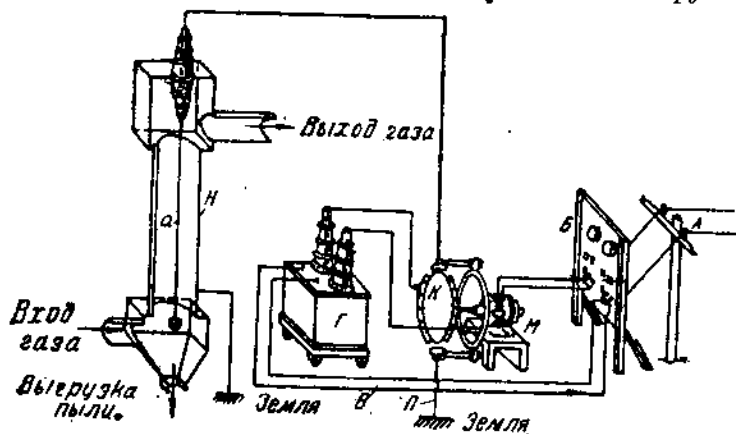


Рис. 125. Схема устройства электрофильтра:

A — провода, *B* — щит, *Г* — трансформатор, *К* — выпрямитель, *М* — мотор, *В* и *П* — провода, *Н* — труба, *а* — электрод.

установленный на щите *B*, откуда по проводам *B* поступает в трансформатор *Г*. Из трансформатора ток высокого напряжения

поступает в выпрямитель *K*, где переменный ток преобразуется в постоянный. Выпрямитель приводится в движение от мотора *M*. Из выпрямителя постоянный ток высокого напряжения поступает в пылеочиститель, схематически представленный в виде трубы *H*, в центре которой находится провод *a*, соединенный с отрицательным полюсом выпрямителя. Труба *H* и положительный провод *П*, идущий от выпрямителя, заземлены.

Газ, подлежащий очистке, поступает в боковую трубу, проходит снизу вверх и выходит очищенный вверху из трубы. Пылинки газа в трубе получают такой же заряд, как и центрально расположенный электрод *a*, т. е. отрицательный; они будут притягиваться к заряженной положительно трубе *H* и осаждаться на ее внутренней поверхности.

Пыль, осевшая на трубе при периодическом постукивании по поверхности трубы, сваливается в бункер, находящийся в нижней части трубы, откуда и извлекается.

В зависимости от формы все электрофилтры распределяются на две основные группы: трубчатые и пластинчатые.

Трубчатые электрофилтры представляют собой ряд труб, установленных в общей камере. Коронирующие электроды из тонкой проволоки подвешиваются по оси труб на специальной раме, расположенной в верхней части камеры. Рама опирается на изоляторы, которые во избежание загрязнения и перекрытия помещаются в боковые коробки. Очищаемый газ поступает в низ камеры, проходит по трубам, где очищается от пыли, и выходит в верх камеры.

Применяемый обычно ход газа снизу вверх кажется с первого взгляда нерациональным, так как падающая с электродов пыль снова может быть частично увлечена восходящим потоком газа. Однако при обратном ходе газа, т. е. сверху вниз, изоляторы, на которых подвешены коронирующие провода, находились бы в потоке грязного газа, на них отлагалось бы много пыли и они чаще перекрывались бы электрическими разрядами. Кроме того чистый газ внизу камеры у выхода увлекал бы с собой падающую пыль и вновь загрязнялся бы. Из этих соображений во всех аппаратах с вертикальным ходом газа последний вводят в камеру снизу.

Преимущества трубчатых камер перед пластинчатыми — лучшее электрическое поле и лучшее распределение газа, что позволяет достичь большей степени очистки и увеличить скорость газа, т. е. производительность электрофилтра. Но трубчатые электрофилтры более сложны по изготовлению и монтажу. Кроме того в них значительно труднее осуществить отряхивание электродов и избежать качания коронирующих электродов, так как нижняя направляющая рама висит на тех же электродах. Из этих соображений трубчатые электрофилтры для сухой очистки сернистого газа до последнего времени почти не применялись.

Диаметр осадительных труб 200 — 300 мм и длина

3000—4000 м.м. Материал труб должен проводить электричество, поэтому их делают железными, а в специальных случаях (при разбедании) свинцовыми, графитными и т. д.

Пластинчатые электрофильтры представляют собой камеру, в которой вертикально на равном расстоянии друг от друга установлены металлические пластины, между которыми также на равном расстоянии друг от друга подвешены коронирующие провода.

Осадительные электроды делаются в виде параллельных пластин из листового или волнистого железа или из довольно густой сетки. Пластины подвешены на расстоянии 200—300 м.м друг от друга. При очистке сернистого газа от пыли применяют обычно сетчатые электроды, так как температура газа высокая и можно опасаться коробления железа. Сетка с ячейками в 12—18 м.м из волнистой проволоки туго натягивается и закрепляется между двумя рамами из углового и полосового железа. Между осадительными электродами помещают натянутые коронирующие провода из проволоки диаметром 2 м.м. Проволока делается из хромоникелевой стали; такая проволока при высоких температурах значительно прочнее обычной. В зависимости от прохождения газа в осадительных камерах пластинчатые электрофильтры подразделяются на вертикальные и горизонтальные.

В горизонтальных камерах осадительные электроды могут быть помещены как параллельно потоку газов, так и перпендикулярно. В последнем случае осадительные электроды должны быть сконструированы в виде сетки, натянутой на раме. Сетчатые осадительные электроды довольно часто устанавливают и там, где нет в этом надобности в отношении потока газа; их устанавливают из тех соображений, чтобы избежать коробления железных пластин при высокой температуре.

Пластинчатые камеры по сравнению с трубчатыми имеют менее равномерное электрическое поле, в них кроме того имеются места с ослабленным полем в углах и у стен камеры. Скорость газа по всему поперечному сечению в пластинчатых камерах также неодинакова. Преимущества для пластинчатых камер по сравнению с трубчатыми заключаются: а) в удобстве отряхивания электродов, б) большей простоте монтажа, в) возможности увеличения до известной степени размеров горизонтальной камеры при больших производительностях без увеличения при этом числа камер. В трубчатых электрофильтрах в этом случае получается большое число труб, что выполнить по конструктивным соображениям весьма сложно.

В последнее время тресту «Газоочистка» удалось сконструировать осадительные электроды в виде сот (рис. 126). Эти электроды имеют почти такую же электрическую характеристику, как трубы, но в них большей частью отсутствуют указанные выше недостатки трубчатых электродов. При изготовлении этих электродов листы железа изгибают, как указано на рис. 126, и склепывают или сва-

ривают в пакеты, причем из них образуются шестигранные трубы. Испытание таких электродов, произведенное трестом «Газоочистка», показало значительные их преимущества.

Равномерное распределение газа по всему сечению электрофильтра весьма важно при очистке газа. Размер аппарата и степень очистки газа зависят от скорости движения газа, и если газ неравномерно распределяется по аппарату, то его скорость на отдельных участках больше расчетной и очистка вследствие этого сильно ухудшается.

Для равномерного распределения газа по всему сечению аппарата в последних конструкциях электрофильтров вверху и внизу камеры устанавливают решетки. Это хотя и увеличивает сопротивление электрофильтра, но значительно улучшает степень очистки газа: чем выше это сопротивление, тем равномернее распределяется газ по электрофильтру и тем более улучшается степень его очистки. Довольно часто несколько электрофильтров имеют общий входной газопровод и газ из этого газопровода неравномерно распределяется по отдельным электрофильтрам. Упомянутые выше решетки в этом случае помогают разделить газ поровну между несколькими электрофильтрами.

В первых проектах значение равномерного распределения газа между аппаратами и по сечению каждого аппарата не было достаточно учтено и поэтому очистка газа была недостаточна. Необходимо обратить на это внимание и исправить эти недостатки путем установки решеток и регулирующих дросселей на газопроводах.

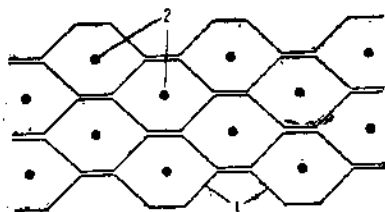


Рис. 126. Сотовые электроды:

1 — осадительные электроды, 2 — коронирующие электроды.

5. Огарковые электрофильтры

Электрофильтр для очистки печного газа от пыли представляет собой камеру, в которой подвешены осадительные и коронирующие электроды. Размер камеры зависит от количества очищаемого газа; время пребывания газа в поле должно быть 5—6 сек., а скорость газа 0,5—0,6 м/сек. Осаждение пыли особых затруднений не представляет, так как пыль заряжается сравнительно хорошо и требуемая степень очистки до 0,2 г в 1 м³ не высока.

Особенности в конструкции огарковых электрофильтров обуславливаются тем, что эти аппараты должны работать в интервале температур между 275 и 500°. Верхний предел связан с тем, что при более высокой температуре происходит коробление железа и уменьшается его механическая стойкость. Уменьшать температуру газа ниже 275° также нельзя, так как иначе начинается конденсация серного ангидрида, который присутствует почти всегда на-

ряду с SO_2 , а это ведет к травлению железных деталей, к перекрытию изоляторов и налипанию влажного огарка на электроды.

Трестом «Газоочистка» в настоящее время строятся стандартные типы электрофильтров ХК-15; ХК-20; ХК-30; ХК-45; ХК-60. Первые 4 типа с вертикальным ходом для газов, последний с горизонтальным. Под типом электрофильтра следует понимать количество сжигаемого 45%-ного колчедана в сутки при условии,

что получаемый газ содержит 7% SO_2 . Так как электрофильтры рассчитываются по действительному объему газа, то поэтому в зависимости от содержания серы в колчедане и получаемой концентрации SO_2 количество сжигаемого колчедана может быть увеличено или уменьшено. Так например 30-тонный электрофильтр может очистить газ, получаемый при сжигании 30 т 45%-ного колчедана при содержании в газе 7% SO_2 , но если колчедан будет содержать 40% S, то тот же электрофильтр очистит газ, получаемый при сжигании $\frac{30 \cdot 45}{40} = 34$ т колчедана, при условии, что получаемый газ содержит 7% SO_2 и серы в огарке остается то же количество, что

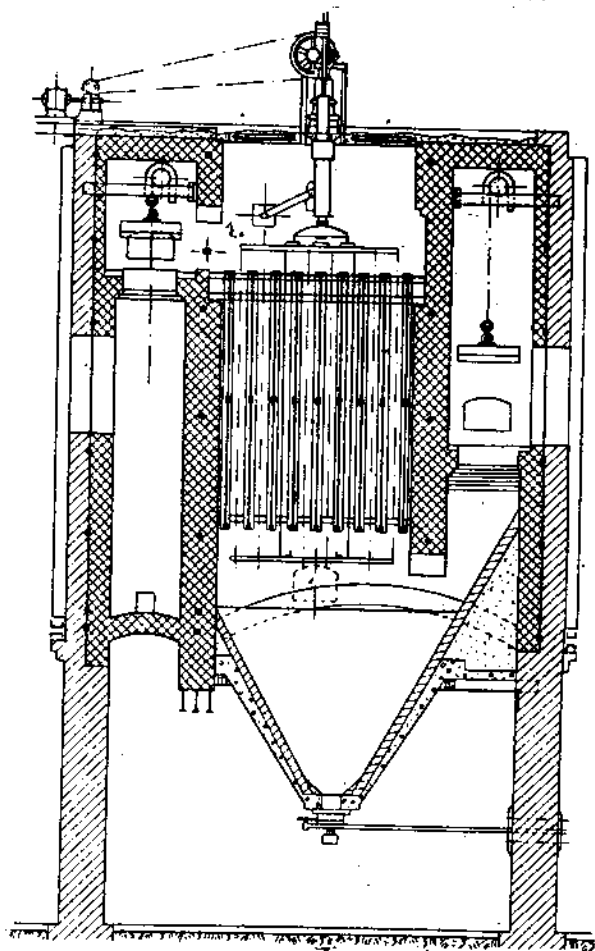


Рис. 127. Электрофильтр (продольный разрез).

в первом случае. Точно так же при получении 10%-ного газа количество сжигаемого колчедана может быть увеличено до 43 т.

Расчетные мощности, с трудом достигавшиеся еще 1½—2 года назад, в настоящее время значительно превзойдены и можно считать, что при сжигании рядового колчедана действительная производительность электрофильтров не ниже расчетной, умноженной

на 1,75, а при шихтованном сырье — не ниже расчетной, умноженной на 1,5. Повидимому и это еще не предел. Но не все заводы достигли этой производительности. На таких заводах необходимо улучшить уход за аппаратами и провести несколько несложных дополнений в их конструкции, о чем и будет сказано ниже.

На рис. 127, 128 и 129 представлена 30-тонная вертикальная камера с автоматическим встряхиванием коронирующих электродов. Камера смонтирована в кирпичной шахте с толщиной стенок в два кирпича и разделена продольной стеной на две половины с самостоятельной подводкой тока. Это необходимо для того, чтобы при надобности можно было поочередно выключать каждую половину, не нарушая работы завода. С этой целью газ через отверстия в стенке камеры первоначально входит в общую небольшую камеру, отделенную от главной шахты вертикальной стеной. Эта камера сверху и снизу перекрыта сводами, причем в нижнем своде имеются два прямоугольных окна, через которые газ, разделяясь на два параллельных потока, поступает в бункеры каждой половины шахты, поворачивает вверх и проходит параллельно обе шахты, где собственно и происходит осаждение пыли. По выходе из шахты газ через такие же окна двумя потоками входит в общую камеру (левая половина рис. 127) и из нее дальше по газодамам в систему. Окна закрываются чугунными прямоугольными колоколами, вертикальные кромки которых при опускании садятся в песочный затвор.

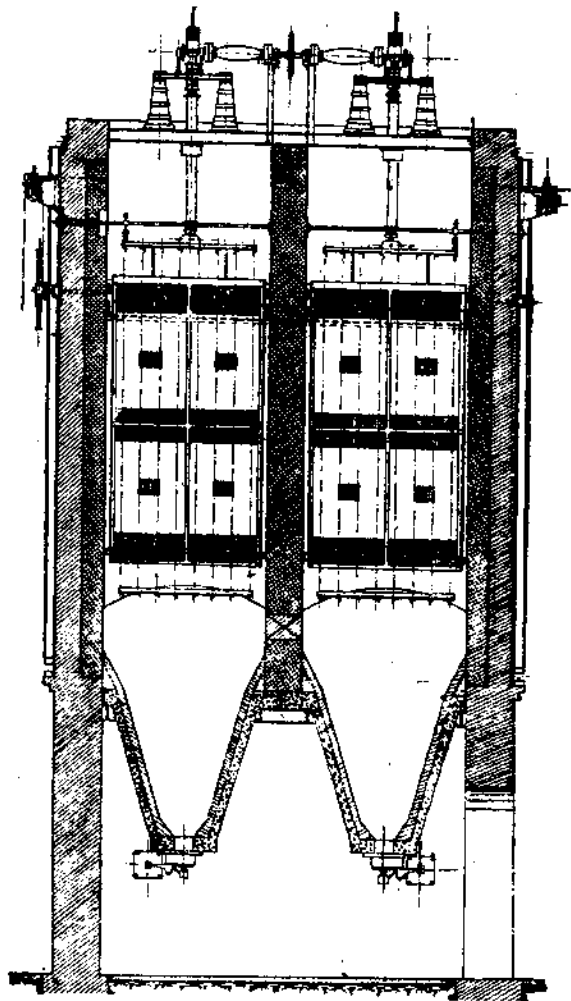


Рис. 128. Электрофильтр (поперечный разрез).

Опусканием выходного колокола производят отключение соответствующей половины шахты при встряхивании электродов. Отключение входными и выходными колоколами производится в том случае, когда необходимо влезть внутрь камеры.

Колокола подвешены на штангах (на рис. 127 устройство другое), которые проходят через верхний свод наружу кладки. Чтобы избежать подсасывания воздуха в камеры или выбивания газа наружу в месте прохода через свод, каждая штанга снабжена двумя песочными затворами. Штанги колоколов оканчиваются перекину-

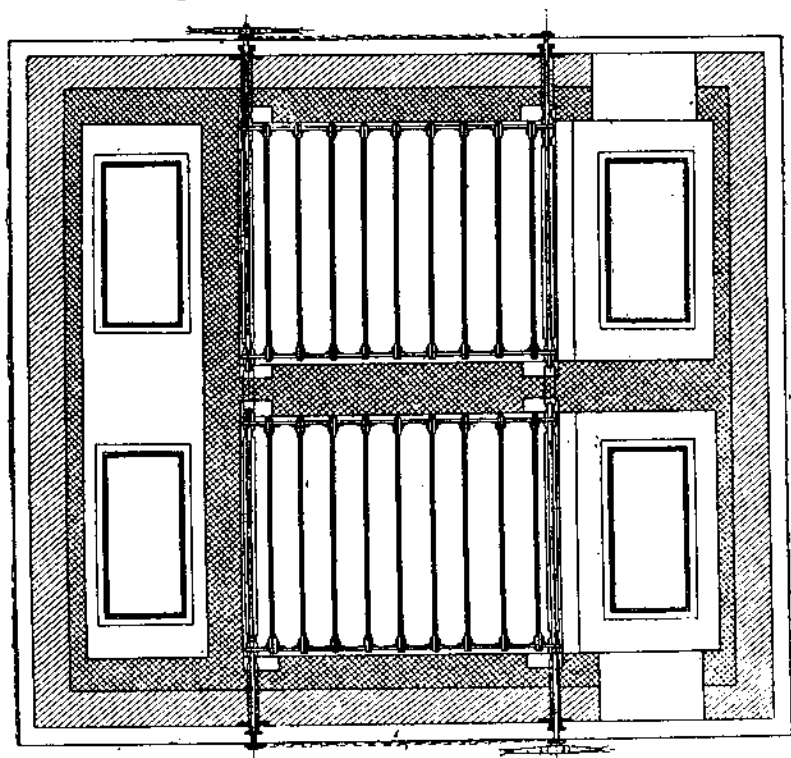


Рис. 129. Электрофильтр (план).

тыми через блок цепями, продолжением которых служит стальной трос, идущий к барабану червячной лебедки, установленной внизу и обслуживаемой с полу. Цепи необходимы, чтобы избежать вращения колоколов вокруг оси при их подъеме и опускании.

Все же иногда при опускании колокол поворачивается и не садится в седло. Для того чтобы этого не было, следует установить вертикально на одной из стен камеры два согнутых под прямым углом угольника. Эти угольники будут служить направляющими при движении колокола. Не рекомендуется делать четыре направляющих, так как в этом случае колокол может заесть.

В конструкции камеры, представленной на рис. 127, барабан

для цепи помещен внутри кладки — этим достигается возможность избежать неплотности в месте выхода наружу штанги колокола. Камера при отряхивании электродов должна выключаться, иначе встряхиваемая пыль будет унесена током газа в систему. В этом случае отключение камеры может быть произведено опусканием лишь одного выходного колокола в той половине камеры, в которой производится встряхивание. Осадительные электроды сделаны в виде сеток из волнообразно изогнутой 3-мм проволоки, натянутой на железную раму. Диаметр проволоки 3 мм, а размер ячейки сетки 18 мм. Применение сеток вместо листового железа вызвано необходимостью избежать коробления листа при высокой температуре. Высота сетки 3 м, ширина 1,67 м. В каждой половине камеры висит по 9 сеток; расстояние между сетками 250 мм, между сетками подвешены коронирующие электроды из 2-мм хромоникелевой проволоки.

В каждой полукамере находится по 8 рядов коронирующих электродов, расстояние между которыми по 200 мм. Общее число электродов в одной полукамере 64 шт. Применение хромоникеля вызвано большей его стойкостью против коррозии при высоких температурах по сравнению с железом. Железные и стальные провода обрываются более часто. Удаление и замена оборванных проводов обычно связаны с остановкой камеры и поэтому железные провода ставятся лишь в крайнем случае. В электрофильтре все металлические части, в том числе ограждения и осадительные электроды (сетки) заземлены. Коронирующие электроды изолированы и находятся под высоким напряжением. Для удаления осевшей пыли те и другие электроды встряхиваются. Для этой цели осадительные сетки подвешены имеющимися у них наверху крючками к двум общим полосам. Каждая из полос, в свою очередь, подвешена на двух болтах, проходящих вверх наружу кладки и оканчивающихся вилками с роликами. Ролики опираются на кулачки эксцентрика (рис. 130).

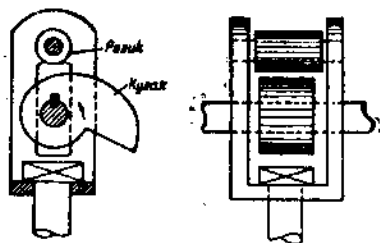


Рис. 130. Встряхивание осадительных электродов.

При вращении валов, на которых насажены кулачки, они поднимают вилку, а вместе с ней и сетки на 25 мм и затем сбрасывают их, причем получается энергичное встряхивание. Вращение вала производится цепью и штурвалом. Конструкция выполнена таким образом, что позволяет одним штурвалом поднимать сетки в обеих камерах при помощи двух валов, соединенных цепью Галля.

В местах прохода болтов, на которых подвешены сетки, возможен подсос воздуха. Поэтому в последующих конструкциях электрофильтров устанавливают внутри камер на валах молотки, удаляющие снизу по полосам подвеса сеток. Для того чтобы сетки

при встряхивании не раскачивались, они снизу камеры укреплены в гребенки, заделанные в кладке камеры.

Все коронирующие электроды подвешены вверх к общей раме из углового железа. Для направления коронирующих проводов, служит нижняя рама из углового железа, подвешенная к верхней раме на четырех болтах. Верхняя рама висит на центральной штанге, проходящей через потолок камеры. Штанга подвешена к двум балкам, опирающимся на два изолятора, установленных на

верху электрофилтра (рис. 128). Так как штанга проходит через потолок камеры и находится под высоким напряжением, то поэтому она должна быть хорошо изолирована. Для этой цели служит устройство, представленное на рис. 131, а, б, в.

Штанга, на которую подвешена рама с коронирующими проводами, заключена в железную $3\frac{1}{2}$ -дюймовую трубу (рис. 131, а), закрепленную двумя гайками на балках. На железной трубе висит кварцевая труба длиной 1350 мм (рис. 131, в), пропущенная через железную воронку, приваренную к крышке электрофилтров. В ту же воронку вставлена короткая кварцевая муфта. Пространство между квар-

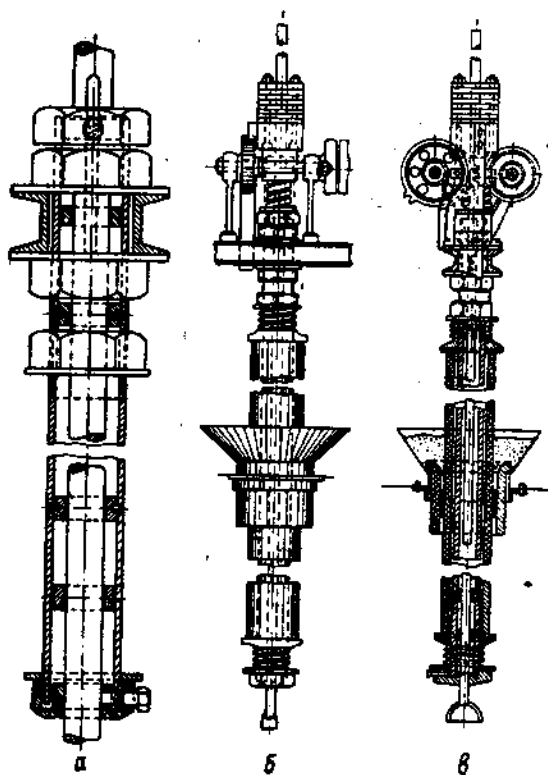


Рис. 131. Подвес коронирующих проводов.

цевыми трубой и муфтой набивают асбестовым шнуром и засыпают сухим песком. Кварцевая труба обладает хорошим и электроизолирующим свойством, весьма малым коэффициентом расширения, высокой термостойкостью и поэтому весьма надежна как проходной изолятор. Недостаток кварца — его хрупкость. Нужно поэтому большая осторожность в обращении с кварцевой трубой: она не должна нести никакой нагрузки, для чего кварцевая труба свободно висит на железной трубе, опираясь на чугунную тарелку и асбестовую прокладку. Чугунная тарелка укреплена на пружине и поэтому при удлинении железной трубы от нагрева та-

релка не отстает от кварцевой трубы, так как пружина, раздвигаясь, прижимает тарелку к трубе. Такая же тарелка и пружина имеются и сверху кварцевой трубы. Обе пружины удерживаются на железной трубе закрепленными на ней гайками.

При опускании кварцевой трубы нужно точно установить ее по центру штанги. Предварительно штанга должна быть подвешена без трубы и должна быть произведена центровка проводов относительно сеток; затем верхняя рама жестко укрепляется на временных подюрках и на штангу надевают кварцевую трубу. Если при этом окажется, что ось трубы не совпадает с осью воронки, то воронку следует перевернуть. Ни в коем случае нельзя центрировать штангу, нажимая на нее кварцевой трубой, так как это неизбежно приведет к излому трубы.

Встряхивание коронирующих электродов производится ручным или автоматическим способом. В первом случае внутри камеры на горизонтальном валу укреплен молоток, который опускается на верхнюю раму и при этом встряхивает раму и электроды. Вал, на котором закреплен молоток, одним концом опирается на гнездо, заделанное в стене, а другим выведен наружу талдаки через песочный сальник. На выведенном наружу конце имеется рычаг с противовесом. Противовес своей тяжестью опускает молоток для удара. К другому концу рычага противовеса прикреплен трос. Трос всегда натянут и ручка на его конце заперта. При отряхивании трос освобождается и молоток ударяет по раме. Молоток должен быть заземлен и перед встряхиванием необходимо отключить подачу тока во встряхиваемую полость камеры.

Опыт показал, что такое встряхивание, во-первых, недостаточно, а во-вторых, с течением времени выводит раму из нормального положения. Поэтому рекомендуется поставить с другой стороны штанги такой же вал с двумя молотками и, сделав общий привод, ударять верхнюю раму одновременно в четырех точках — желательно около болтов, крепящих нижнюю раму к верхней.

Так как для нормальной работы электрофильтра особенно важна чистота коронирующих электродов, то в тех случаях, когда запыленность газа велика, рекомендуется устанавливать автоматические встряхивания электродов без выключения тока.

Автоматическое встряхивание выполняется следующим образом: на камеру устанавливается мотор 0,7 kW с червячным редуктором, от которого цепью Галля вращение передается звездочке, посаженной на валу и помещенной между штангами для подвеса коронирующих рам (рис. 132). По штанге подвеса ходит груз с зубчатой рейкой, имеющей сцепление с шестерней, у которой часть зубов по окружности снята. Подшипники шестерни опираются на траверсу подвеса и находятся под током, поэтому вращение от звездочки передается шестерне через фарфоровый изолятор, являющийся в данном случае валом. При вращении вала шестерни поднимает груз посредством зубчатой рейки до

тех пор, пока не пройдут на шестерне все неснятые зубья, после чего груз с рейкой падает и ударает по кольцу, жестко укрепленному на штанге коронирующих электродов.

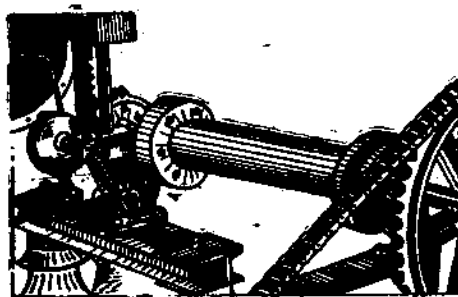


Рис. 132. Автоматическое встряхивание.

Один мотор и одна звездочка устанавливаются для обеих половин камеры. На рис. 132 дан общий вид части звездочки, цепи Галля идущей от мотора, изолятора (вала), шестерни и груза с рейкой на одной тягой подвеса. С течением времени под влиянием ударов нарушается сцепление между рейкой и шестерней, вследствие чего происходит поломка изоляторов. Поэтому в последующих конструкциях подъем груза производится при помощи кулачков, насаженных на вал с двух сторон груза. В груз ввернуты валики, за которые он поднимается и сбрасывается кулачками.

Верхние и нижние концы коронирующих проводов помещают в защитных трубках диаметром 6 мм. Эти трубки закрывают провода, начиная от рам, и концы их заходят на 75 мм между осадительными электродами. Защитные трубки уменьшают вероятность пробоя у верхних и нижних кромок осадительных электродов, где корона легче может перейти в пробой. Опыт показал, что оседающая на проводе пыль, спускаясь при встряхивании, упирается в защитные трубки и задерживается, образуя так называемые «колбасы». Поэтому их теперь перестали ставить.

Конструкция верхней и нижней рам для коронирующих электродов выполнена таким образом, что позволяет снимать оборвавшийся провод и надевать новый, не спускаясь в камеру.

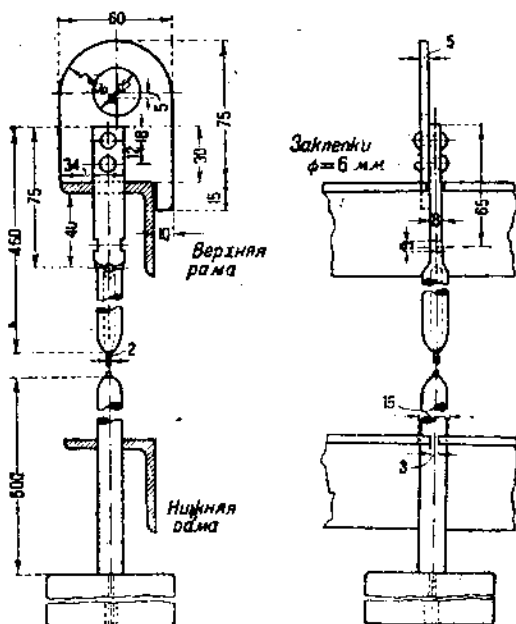


Рис. 133. Соединение коронирующих проводов с верхней и нижней рамами.

На рис. 133 представлена деталь соединения коронирующего провода с верхней и нижней рамами. В угольниках верхней рамы имеются прорезы до половины угольника; в эти прорезы входят верхние защитные трубки, к которым прикрепляются коронирующие провода. Верхний конец защитной трубки приклепывается к пластине с проушиной. В угольниках нижней рамы сделаны отверстия по диаметру защитных трубок; отверстиям соответствуют прорезы в 2,5 мм для провода. Нижняя защитная трубка свободно надета на провод и опирается на груз. Таким образом на верхней пластине висит верхняя защитная трубка с прикрепленным к ней проводом, на котором подвешен груз, с опускающейся на него нижней трубой. Поэтому при обрыве провода нижняя его часть вместе с грузом и нижней трубой падает в бункер камеры, верхняя же трубка с оставшимся проводом остается висящей на пластине.

Для навешивания нового провода снимают крючком пластину и опускают на новом проводе груз с нижней защитной трубкой под нижнюю раму, пока провод не будет заведен через прорез в угольнике рамы. Затем провод поднимают, защитная трубка входит в отверстие нижнего угольника и пластину после этого устанавливается на угольнике верхней рамы.

Замена оборванных проводов, протирка и замена кварцевых трубок и т. д. производятся через люки на верху камеры. Эти люки для уменьшения теплоотдачи делаются из двойных железных листов с прокладкой асбеста. Кроме того верх камеры должен быть засыпан толстым слоем песка, иначе люки и прочие железные листы верхней конструкции будут разведены, так как температура их внутренней поверхности окажется ниже точки росы для кислоты, содержащейся в газах. Для доступа внутрь камеры кроме верхних железных люков имеются также боковые чугунные.

Пыль, спавшая с электродов, собирается в бункерах, сделанных из железобетона и футерованных внутри кислотоупорными кирпичом или плитками на кислотоупорной мастике¹. Бункеры снабжены внутри затворами для выгрузки пыли в вагонетки. Конструкция затворов аналогична описанным выше в главе «Газоходы».

Кирпичная кладка камер делается на цементе и швы изнутри затираются на глубину 1,5—2 см шпатом. Камера снаружи стянута обвязкой из швеллеров и анкерными болтами, заложенными в кладку. Вес железа и чугуна в осадительной камере, включая обвязку, 12,5 т, кирпича идет на кладку ~ 40 тыс. штук.

Подводка тока с подстанции первоначально производилась газовыми трубами на штыревых изоляторах в подземных каналах. Трубы выходили из каналов у самой камеры и шли в треншальтерную коробку. От треншальтера провода поднимаются в верх камеры в двух защитных трубах из листового железа диаметром

¹ Подготовка мастики см. вып. III, «Свинцовая аппаратура» К. А. Поляков.

400 мм. Для поддержки провода внутри защитной трубы имеются опорные изоляторы. Изоляторы помещаются в тройниках, снабженных дверцами для протирки изоляторов. Практика показала, что каналы, в которые прокладываются провода, заливались кислотой или подпочвенной водой. Поэтому подводу тока от подстанции до триньальтерной коробки следует производить бронированным кабелем.

Верхние опорные изоляторы с целью безопасности устанавливают в коробках из листового железа. Если же опорные изоляторы установлены без защитной коробки, то камера должна иметь сверху ограждение и доступ на нее во время работы запрещен.

Основные недостатки конструкции описанной камеры: неравномерное распределение газа по сечению, недостаточно жесткое

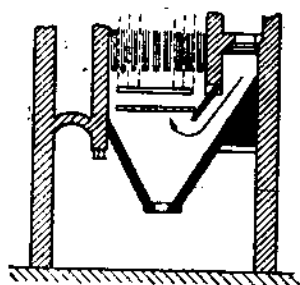


Рис. 134. Распределительная решетка в камере ХК-30.

крепление коронирующей рамы, слабое встряхивание коронирующих проводов.

Все это учтено в камерах нового выпуска. Электроды в них несколько приподняты и под ними на расстоянии 400 мм установлена железная решетка. Диаметр отверстий 45 мм и скорость в них около 5 м в секунду. Решетка увеличивает несколько сопротивление камеры, но улучшает распределение газа. На рис. 134 представлена часть камеры с распределительной решеткой, установленной в камерах ХК-30.

Решетка устанавливается горизонтально и подвешивается на цепочках к крючкам, вделанным в стены. В наружной стене камеры имеется отверстие, через которое пропускается штанга, упирающаяся в решетку. Во время встряхивания электродов нужно ударом о штангу отряхнуть и решетку от насевшей на нее пыли.

Труба для подвески коронирующей рамы прикреплена жестко как к раме, так и к траверсе. Верхняя коронирующая рама приподнята выше и под ней на четырех цепочках подвешена легкая рама, к которой проволокой прикреплены коронирующие провода. Встряхивание электродов производится молотком, ударяющим сбоку по этой раме. Встряхивание осадительных сеток производится ударом молотков сбоку по полюсам подвесов. Боковое встряхивание улучшает очистку электродов.

Чтобы газом не унесло отряхиваемую пыль, нужно перед встряхиванием закрывать выходной колокол. Частое опускание и поднятие тяжелых колоколов отнимает много времени, поэтому в новых аппаратах на выходе газа из камеры сделан поворотный дроссель, который отключает газ при встряхивании. Устройство дросселя показано на рис. 135.

Во время работы дроссель под действием противовесов всегда открыт. Перед встряхиванием его закрывают тягой 4. При полном выключении камер пользуются колоколами.

Для контроля температуры в обоих отделениях камеры должны быть установлены термомары пирометра. При сжигании в сутки 30 т колчедана и выгорании в нем серы 42% от веса колчедана секундное количество получаемого газа (при 0° и 760 мм рт. ст.), если газ содержит 7%, будет равно

$$\frac{0,42 \cdot 30 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 22,4 \cdot 2}{24 \cdot 3600 \cdot 7 \cdot 64} = 1,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Так как живое сечение обеих половин камер равно 7,5 м², то скорость газов между электродами при температуре 500° будет равна

$$\frac{1,5 (1 + \alpha t)}{7,5} = \frac{1,5 (273 + 500)}{273 \cdot 7,5} = 0,57 \text{ м/сек.}$$

Время пребывания газа в камере 5—6 сек. Две 30-тонные камеры могут быть приключены к одному электроагрегату.

30-тонные электрофилтры, установленные при механических печах, при нормальной их эксплуатации оставляют в газе 0,2 г пыли в 1 м³ и даже меньше, но при сжигании колчедана в печах пылевидного обжига, когда начальное содержание пыли в 1 м³ доходит до 60 г и даже выше (считая на нормальный газ), приходится ставить два электрофилтра, работающих последовательно, или же горизонтальные электрофилтры, в которых газ проходит последовательно через три электрических поля.

На рис. 136 представлен горизонтальный электрофилтр для очистки сернистого газа, получаемого при сжигании в сутки 60 т колчедана.

Электрофилтр на 60 т колчедана отличается от описанного тем, что газ в нем проходит горизонтально через три последовательных поля. Каждое электрическое поле имеет свой отдельный подвод тока. Расстояние между осадительными электродами в первом поле по ходу газа 300 мм и в остальных двух — 250 мм. Между отдельными электрическими полями сверху и внизу имеются перегородки, препятствующие газу проходить мимо электродов. Газ входит в каждую половину электрофилтра через два затвора. Всего в камере четыре входных и четыре выходных затвора. Остальные его детали аналогичны деталям вертикальных электрофилтров и поэтому мы не будем на них останавливаться.

В последнее время трестом «Газоочистка» разработан тип электрофилтра, рассчитанный на пропуск газа, получаемого от сжигания 75 т колчедана в сутки (тип СС-2). Аппарат СС-2 (рис. 137) состоит из железного цилиндра, снабженного внизу коническим бункером, сделанным также из котельного железа. Газ поступает

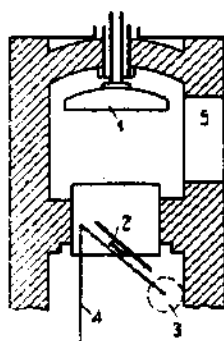


Рис. 135. Дроссель в электрофилтре:

1 — колокол, 2 — дроссель, 3 — противосек, 4 — тяга.

сверху и спускается по центральной трубе в нижний бункер. Из бункера газ по шести секциям электродов поднимается вверх. Осадительные электроды изготовлены в виде сот. Каждый пакет таких электродов подвешен на тросах к крышке аппарата и представляет собой отдельную секцию. Коронирующие провода натянуты по осям сот на двух рамах. Рамы укреплены на кварцевых изоляторах. На выходе газа все секции разделены перегородками, идущими до выходного кольцевого газохода. Каждая секция имеет свой дроссель, отключающий эту секцию от чистого газа, и свой трансальтер.

Управление камеры полностью автоматизировано. Каждая секция автоматически один раз в 16 мин. выключается дросселем из

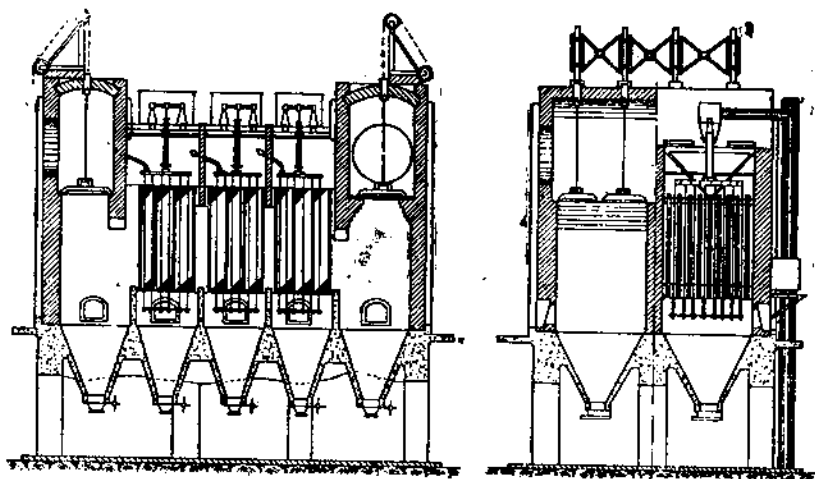


Рис. 136. Горизонтальный электрофильтр типа XK-60.

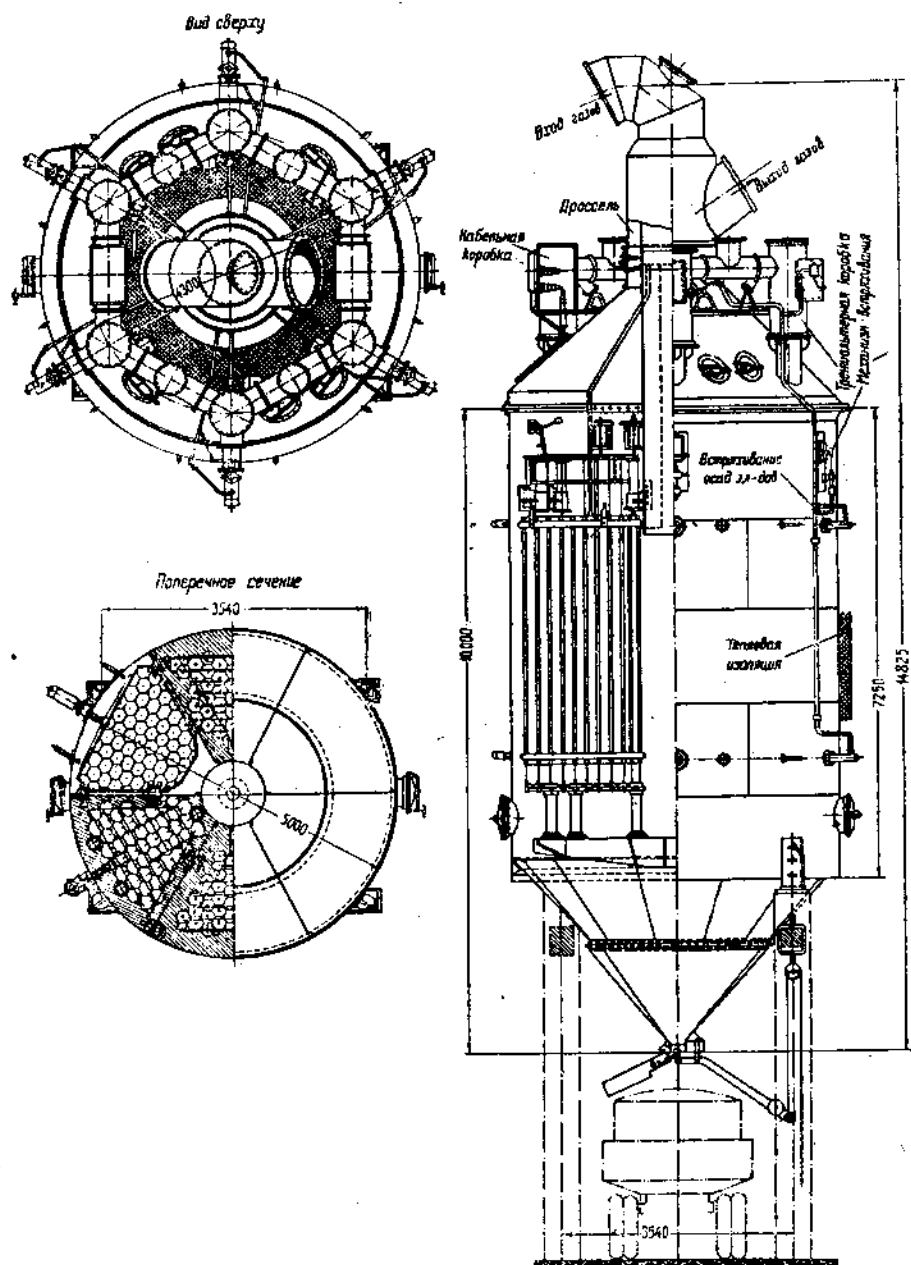
газового потока, выключается подача к ней тока. затем боковыми ударами встряхивается пакет шестигранников и коронирующие электроды. Потом обратно включаются ток и газ. Вся операция очистки электродов продолжается 1 мин.

Весь аппарат покрыт толстым слоем изоляции для предотвращения конденсации паров серной кислоты на внутренней поверхности аппарата.

8. Включение и выключение агрегатов

При пуске и остановке агрегатов необходимо строго руководствоваться следующими правилами:

1. Перед пуском агрегата на его щите должны быть выключены все рубильники, выключатели синхронной лампы и миллиамперметра.
2. Молотки для ручного встряхивания должны быть подняты и заперты на ключ, заперты все дверцы для протирки изоляторов, а также и дверь прохода на щит.



3. Переключатель направления тока должен занимать среднее положение и ручка коммутатора автотрансформатора должна находиться на первом делении.

4. К пускаемому агрегату соответствующие камеры должны быть приключены тренпальтерами (разъединителями).

После проведения указанных работ приступают к пуску агрегата. Прежде всего включают главный рубильник, при этом загорается зеленая лампа, и щит будет находиться под напряжением. Затем включают синхронную лампу и по ее свету устанавливают переключатель тока с тем, чтобы в осадительной камере была отрицательная полярность. Выключают синхронную лампу и включают рубильник трансформатора (автомат). Вращением штурвала коммутатора поднимают напряжение до установленного предела. Ни в коем случае не следует нагружать агрегат током выше допустимого предела для данного трансформатора. Для проверки тока в камере включают миллиамперметр и сейчас же его выключают.

Остановку агрегата следует производить в обратном порядке пуска, за исключением проверок миллиамперметра и синхронной лампы.

При неправильной работе установки, а также и при несчастном случае следует выключать агрегат главным рубильником. Если остановка была произведена главным рубильником или падением автомата, вторичный пуск следует производить только после приведения установки в положение перед пуском.

После остановки не следует сейчас же прикасаться к аппаратуре, бывшей под высоким напряжением. Для отвода могущих быть на ней емкостных зарядов необходимо повернуть от руки крест выпрямителя и соединить тренпальтер с землей.

Включение и выключение тренпальтера можно производить под током и без него. Ни в коем случае не следует останавливать поворотную штангу тренпальтера в среднем положении. Она должна быть всегда или на земляном или же на линейном контакте.

7. Уход за установкой

Все высоковольтные изоляторы должны содержаться в исправном состоянии и регулярно протираться. Опорные изоляторы в подстанции и на камерах, а также и штыревые в каналах должны протираться 1—2 раза в декаду. Подвижные изоляторы в подстанции протираются 1—2 раза в месяц, а кварцевые на камерах по мере надобности. Протирку изолятора следует производить сухой тряпкой или содой. Необходимо ежедневно проверять, не греется ли трансформатор и не выступает ли масло. У мотора-выпрямителя следует следить за тем, чтобы подшипники не нагревались и чтобы они нормально смазывались. Крест выпрямителя требует тщательного ухода и ежедневно должен протираться сухой тряпкой, а 1—2 раза в пятидневку содой.

При отсутствии вентиляции и в холодном помещении нередки

случаи повреждения креста выпрямителя. Если крест перекрыло, то для его ремонта следует соскрести обуглившийся слой и зачищенное место покрасить шеллаком. Башмаки креста для облегчения обычно делают из алюминия, так как под действием центробежной силы крест может быть разорван. Соединение попарно башмаков между собой лучше производить нихромовой проволокой диаметром в 2 мм. Иногда вместо проволоки соединения производят алюминиевыми полосами. При длительной остановке крест или диск выпрямителя следует снять и сохранить их в сухом помещении.

Следует ежедневно проверять нормальное состояние металлических наконечников креста и правильное положение щеток: крест должен иметь очень слабое равномерное касание всех щеток и иметь зазор, не превышающий 2 мм. Максимально нулевой автомат должен проверяться не реже, чем один раз в месяц. Привязывание автоматических выключателей можно допускать лишь в крайнем случае. В течение 4 час. с момента отказа автомата от работы его нужно исправить.

8. Показатели и причины неправильной работы электрофильтров

Для суждения о правильной работе установки служат: вольтметр, миллиамперметр, амперметр, синхронная лампа и состояние отдельных аппаратов.

При пуске и эксплуатации установок следует руководствоваться указанными ниже показателями и по выявлении причин, препятствующих нормальной работе, сейчас же их устранять.

Показатели	Причины, вызывающие неправильную работу электрофильтров
Соединительная камера отключена. Напряжение ниже нормального. Крест выпрямителя сильно искрит	а) Изоляторы на линии загрязнены, б) пробит выпрямитель, в) траверса выпрямителя не отрегулирована, г) втулка, на которую насажен выпрямитель, слабо закреплена на валу мотора и поворачивается при пуске мотора
Синхронная лампа не горит	а) Испорчена лампа, б) сработались щетки
Миллиамперметр не работает	а) Не отрегулирована траверса выпрямителя, б) пробит конденсатор, в) пробит пробивной предохранитель, г) испорчен миллиамперметр, д) в высоковольтной проводке направление тока неправильное, е) положительная проводка заземлена, ж) короткое замыкание в выключателе
Показания синхронной лампы не соответствуют значкам на щите	а) После замены лампы у новой лампы неодинаково со старой выведены концы, б) при ремонте перепутаны концы проводов, подходящие к лампе, в) выпрямительная шайба плохо закреплена на валу и поворачивается

Показатели

При включении трансформатора и при отключенных камерах стрелка амперметра дает значительные отклонения (20—50 А)

При включении мотора и синхронной лампы у последней горят по очереди оба колпачка

При включении мотора и синхронной лампы горят оба колпачка

Мотор греется и работает асинхронно. Искры прерывистые

При включении осадительной камеры на выпрямителе нет искры или еле заметная

Стрелка вольтметра не отклоняется

Вольтметр при первоначальном положении коммутатора показывает половинное напряжение сети

Греется междувитковое сопротивление в самом коммутаторе

Камера не принимает полной нагрузки

Подгорает синхронное кольцо

Выбрасывается автомат

Не включается максимально нулевой автомат

Причины, вызывающие неправильную работу электрофильтров

Короткое замыкание в трансформаторе или питающей линии

Мотор работает асинхронно

а) Выпрямительная шайба проворачивается на валу или поставлена неверно, б) выпрямительное кольцо загрязнено огарковой или угольной пылью

а) Испорчен мотор, б) в сети упало напряжение, в) одна фаза не имеет напряжения

а) Оборвана вторичная обмотка главного трансформатора, б) не включен разъединитель, в) сгорел один из предохранителей, г) переключатель направления тока или коммутатор автотрансформатора не дают контакта

Контакты коммутатора автотрансформатора подгорели и не дают контакта

Одна из фаз после вольтметра имеет заземление

Штурвал коммутатора поставлен в промежуточное положение

Нож переключателя не доведен до полного контакта

Пробита изоляция кольца

а) Пробита основная обмотка автотрансформатора или замкнулись витки регулировочной обмотки автотрансформатора, б) замкнулось на землю защитное сопротивление, в) пробито первичную обмотку трансформатора или обмотку мотора, г) замкнулись спирали сопротивления между собой, д) пробито изолятор ввода первичной обмотки, е) пробито изоляционные втулки моторного или трансформаторного рубильника

а) Оборвалась обмотка или цепь контакта нулевой катушки, б) не отрегулирована собачка автомата, в) сгорела лампа в цепи нулевой катушки или предохранитель этой лампы, г) сгорел предохранитель крайней фазы, д) оборвалась цепь дверного контакта

III. ПУСК И ОБСЛУЖИВАНИЕ КАМЕР

При проектировании заводов, где предполагается установка электрофильтров, все газоходы должны быть рассчитаны таким образом, чтобы температура поступающего газа в электрофильтр была в пределах 275—500°. Точно так же и при эксплуатации этот интервал температур должен строго соблюдаться. При более высокой температуре железо в камере деформируется и в результате может произойти перекашивание металлических конструкций; кроме того возможно размягчение и спекание пыли на электродах. То и другое ведет к пробоям и понижению напряжения. При температурах ниже 275° происходит конденсация кислоты, которая разъедает металлические части. Кроме того на электродах накапливается влажная кислая пыль, что влечет за собой коррозию электродов и ухудшение коронирования. При низких температурах наблюдается также конденсация кислоты на кварцевой трубе, что вызывает по ней пробой и снижение напряжения.

При пуске системы необходимо принять меры к тому, чтобы температура газа, поступающего в электрофильтр, в наикратчайшее время достигала нужного предела. Мерами к этому служат: своевременная изоляция газоходов, если она предусмотрена по проекту, одновременный пуск большого числа печей, просушка и нагревание электрофильтра жаровнями с коксом до пуска газа. Просушку электрофильтров нельзя производить дровами, торфом и т. д., так как в этом случае продукты горения, как содержащие смолы, сильно загрязняют электроды.

При монтаже и ремонте электрофильтров необходимо следить за тем, чтобы все провода и детали, находящиеся под током, приходились строго в центре на равном расстоянии от заземленных частей и чтобы в камере не было острых выступающих углов. Если в камере будет сдвинут один провод, то в этом месте, благодаря близости электродов, произойдет увеличение напряжения и возможен пробой даже при пониженном потенциале. То же самое происходит и при наличии в камере каких-либо острых углов. Эти места легко найти, когда камера вскрыта и в ней еще нет газа, так как при подаче тока они сильно светятся в темноте.

Необходимо строго следить за тщательным уплотнением зазора между кварцевыми трубками с помощью асбестового шнура и засыпки песком. Кварцевые трубки должны опираться на асбестовые прокладки, которые прокладываются между трубкой и чугунной тарелкой. При несоблюдении этого происходит выбивание сернистого газа наружу или подсасывание холодного воздуха и кварцевые трубки покрываются пленкой серной кислоты и перекрываются; загрязняются и перекрываются также и опорные изоляторы.

Температура газа на выходе должна быть одинакова в обеих половинах камеры. Неравенство температуры показывает, что через обе половины камеры идет разное количество газа. Иногда это может случиться по причине неисправности термопар. Для проверки термопар их следует поменять местами. При уменьшении

температуры выходящего газа ниже 275° нужно весь газ пустить через одну половину камеры, а если и это не поможет, то следует выключить ток.

Каждые 4 часа, а при большой запыленности и чаще, необходимо камеры отряхнуть. Встряхивание производится в следующем порядке. Закрывают выходной колокол той половины камеры, которая подлежит очистке; выключают треншальтером ток этой половины и производят встряхивание осадительных и коронирующих проводов. После встряхивания включают ток и поднимают колокол. Нельзя производить отряхивания при открытом колоколе, так как в этом случае отряхнутая пыль будет унесена в систему.

Пыль из бункеров нужно выгружать регулярно, иначе она слеживается и, достигнув уровня электродов, вызывает пробой и прекращение работы камеры.

Все изоляторы на камере и треншальтеры нужно протирать сухой тряпкой от пыли. Иногда изоляторы покрываются пленкой серной кислоты и не держат напряжения. В этих случаях изоляторы обтираются слабым раствором соды и после этого сухой тряпкой.

Если камера при нормальной температуре не держит напряжения, нужно проверить — нет ли утечки по изоляторам всей проводки. Для этого отъединяют провода от балок подвеса электродов и проверяют проводку. Если дефект в камере, то для проверки нужно закрыть оба колокола одной половины, выключить ток, отряхнуть электроды и, открыв верхний люк, подать в камеру ток. Если в камере оборван провод или сместилась рама, то это обнаружится искровым разрядом. Если пробоя не видно, то это происходит или потому, что оборвавшийся провод лег на сетку и вызвал короткое замыкание камеры, или же происходит утечка тока по кварцевому изолятору, которую не всегда легко заметить.

Утечка тока по кварцевому изолятору может произойти по двум причинам: или кварцевая труба покрылась слоем отарка, смоченным серной кислотой, — в этом случае надо тщательно обтереть трубу и дать ток лишь после того, как будет поднята температура в камере и хорошо прогрета труба, или труба пробита — в этом случае надо ее сменить.

Если оборван провод, то нужно вытаскивать оборванные концы и сменить провод. Иногда на проводах появляются наросты — «колбасы», это служит признаком того, что температура или слишком высока или слишком низка. В этом случае нужно установить нормальный режим и очистить электроды, не сбивая их с места.

При производстве серной кислоты контактным методом сернистый газ необходимо очистить не только от пыли, но и от мыпыяка и тумана серной кислоты. Применяемые для этой цели электрофилтры описаны нами в III выпуске¹, а поэтому здесь на них мы и не останавливаемся.

¹ Выпуск III. К. А. Поляков, Свинцовая аппаратура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бертельсман В. и Шустер Ф., Введение в техническую обработку газовых веществ, ОНТИ Украины, 1935.
 2. Мальдау Р., Пыль в производстве и способы ее удаления, Гостехиздат, 1931.
 3. Слухин П. Н. и Коузов П. А., Центробежные пылеотделители — циклоны, ОНТИ, 1935.
 4. Шнеерсон Б. и Егоров Н., Электрическая очистка газов, Госхимтехиздат, 1933.
 5. Баймаков и Вулах, Журн. Русск. металлург. о-ва, 165 (1927).
 6. Вейнер М., Там же 510 (1927).
 7. Баймаков, Вестник металлопромышленности, 2 (1928).
 8. Каданников С. и Предводителей А., Журн. прикл. физики, 7, 127 (1930).
 9. Эвергард Е. и Райс О., Гипромез, 6 (1930).
 10. Егоров Н. и Шнеерсон Б., Химстрой, 4, 5—6, 7—8 (1930), 2, 3—4, 5 и 7 (1931).
 11. Шведер Г., Гипромез, 7—8 (1931).
 12. Егоров Н. и Рыбников Г., Химстрой, 9—10 (1931).
 13. Егоров Н., Химия и соц. хозяйство, 11—12 (1931).
 14. Материалы конференции по газоочистке, созванной Металлоимпортом в апреле 1931 г. в Москве.
 15. Доклад В. Шнеерсона на конференции по газовому хозяйству черной металлургии и кокса в июне 1932 г. в Харькове.
 16. Эйлер В. А., Очистка доменного газа, Госметаллургиздат, 1933.
 17. Шнеерсон В. Л., Электрическая очистка газов в химической промышленности, ОНТИ, 1936.
-

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автомат** максимально нулевой 359
Автотрансформатор 337, 338, 358
Агломерат 195
Агломерация огарка 193 сл.
 — состав смеси 196
Анализ колчедана 236 сл.
 — — — определение влаги 237
 — — — меди 239
 — — — мышьяка 239
 — — — способ Рейха и Мак-Кея 239
 — — — серы 238
 — — — метод Зульковского 238
 — — — проф. Иольсона 239
 — — — Лунге 238
 — — отбор проб 236
 — — печного отделения 240, 241
 — — углестого 240
 — — огарка 186, 187
 — — печного отделения 240, 241
 — — — отбор пробы 241
 — — печного газа 241 сл.
 — — — на содержание O_2 245, 246
 — — — — SO_2 241 сл.
 — — — — метод Рейха 241
 — — — — SO_2 247, 248
 — — — — пыли 247
Ангидрит 33
Аппарат Гриневальда 195, 196
 — Двайт-Ллойда 168, 171, 196
 — Двайт-Ллойда круглый 193 сл.
 — — — ленточный 193, 194
 — Орсэ 245
 — СС-2 355, 357
Аппараты Чанкса 191
Аэросмесь 235
 — регулирование 235
Бадейка 264, 211
Баланс, материальный, колчеданной печи 44 сл.
 — тепловой, печи «Г» 57 сл.
 — — — вращающейся 140
 — серы 205
Барабан для удаления огарка 272
 — наклонный вращающийся 192
Бессемерование 160, 161
Бункер для колчедана 211
 — — — чистка 231
Бугель 146
Вагонетки подвесные опрокидывающиеся для развозки колчедана 264
 Вал 81, 94, 96, 100, 104, 166, 206, 276, 286
 — кропление 83
 — обслуживание 214, 280
 — охлаждение 152, 227
 — скорость вращения 224
 — увеличение числа оборотов 227
 — установка 276, 279
Варник, теория горения колчедана 37
Ватер-жакеты, см. печь ватер-жакетная
Вентиляторы 144, 199, 206, 212, 215, 227, 231, 233, 297
 — обслуживание 214
 — для охлаждения вала и гребков 227
Воздушник 93, 96, 202, 207, 209, 227
 — регулирование 207, 208
Выпрямитель 334, 340
 — крест 334
 — синхронный 334
Газоанализатор МОНО 244
Газовая коробка 253, 255
Газоочистительная масса 34
Газоход 198, 206, 213, 256
 — измерение скорости движения газов в 249 сл.
 — подсос воздуха 213
 — очистка 213, 259
 — печных отделения 253 сл.
 — присоединение печей к 258
 — сборный 262
Газы ватер-жакетные 23
 — движение в печи 69, 110, 163, 170
 — дымовые 11, 35
 — измерение скорости движения в газоходах 249 сл.
 — конверторные 24
 — — состав 24 сл.
 — медеплавильных печей 23 сл.
 — металлургических печей 22
 — обжиговые 159, 183
 — — количество 38 сл.
 — — состав 38 сл., 173
 — — температура 136
 — отвод из печей механических 254, 258
 — — электрическая 318 сл.
 — — — определение процента 308 сл.
 — — электрическая 318 сл.
 — — — теоретические основы 319 сл.

- Газы печные, выделение 209
 — — концентрация 126, 135, 208
 — — очистка от пыли 302 сл.
 — — температура 230
 — — — измерение 248, 249
 — — — по этажам 94
 — — содержание пыли в 138, 139, 230, 232, 253, 262
 — — SO_2 230, 232
 — — состав 139, 158, 174, 225
 — — теплоемкость 48 сл.
 — — цинковых печей 25 сл.
 Гальванометр 249
 Гаусса теорема 320, 322
 Гипс 33 сл., 172
 — — месторождение 34
 — — обжиг 171 сл.
 Гнезда 89, 276, 278, 279, 284
 Градиент напряжения 322, 323, 332
 Гребки 183, 198, 206, 222
 — — охлаждение 227
 — — — водяное 103
 — — — воздушное 89, 112
 — — обслуживание 214
 — — печи Брак-Моритца 105
 — — — Ведже 116, 284
 — — — — водяное охлаждение 106
 — — — — воздушное охлаждение 112
 — — — крепление 116, 117
 — — — сушильного свода 110
 — — с вращающимся подом 165
 — — ВХЗ 87, 89
 — — — воздушное охлаждение 89
 — — — гнезда 89
 — — — крепление 91
 — — «Г» 279
 — — — крепление 278
 — — — установка 278
 — — Герресофа, устройство 86
 — — Гумбольдта 278
 — — — конструкция 72
 — — — крепление 73
 — — Люри 101
 — — Мак-Дугала 63
 — — Никольс-Герресофа 154
 — — — охлаждение 152
 — — — четырехугольной без центрального вала 167
 — — Шерфенберга 164
 Гриневальда аппарат 195, 196
 Гудроны кислые 34, 184
 — — аппараты для разложения 184
 — — утилизация 185
 Двайт-Ллойда аппарат 168, 171, 196
 — — — круглый 193 сл.
 — — — ленточный 193, 194
 Дезинтеграторы 232
 Декомплесер 185, 186
 Диафрагмы 230, 252
 Дорра, сгуститель 189, 273
 Дроссель 118, 206, 209, 213, 339, 345, 355, 356
 — — устройство 354
 Дымовые газы, см. газы дымовые
 Дюзы 134
 — — для воздуха 135
 Заглушки 118
 Закон Стокса 330
 Затвор реечный 263
 Зубья 167, 169, 183, 198, 206
 — — печи Гумбольдта. конструкция 72
 — — — подвеска 73
 Извлечение меди из огарка 189, 189, 191
 — — — сульфатирующим обжигом 189
 — — — хлорирующим обжигом 190
 Инжектор 121, 235, 269, 271
 Инструмент для обслуживания печи 216 сл.
 — — для футеровщиков 287
 Ионизация 324 сл.
 Камера Говарда 304, 306 сл.
 — — ХК-30, распределительная решетка 354
 Камеры, кладка 353
 — — конструкция 348
 — — конструктивные недостатки 354
 — — пуск и обслуживание 361
 — — пылесадительные 302 сл.
 — — пыльные 200
 Камни, кладка 289
 — — монтажные 286
 — — притеска 289
 — — пятые, крепление 289
 — — швы 290
 Каналы, воздушные 163, 164, 170
 — — движение воздуха в 170, 183
 Керамика для механических печей 292, 293
 Кессоны 158, 159
 Кильны 61
 Кладка камер 353
 — — камной 289, 290
 — — печей 291
 — — сводов 287
 — — — опалубка для 287
 — — сводовых колец 290
 — — футеровки 289
 Клапан 261
 — — для газов 261
 — — двухходовый 262
 Клаус, метод получения серы 31
 Клеммы 337, 338
 Клинкер 174, 175
 Кожух, установка 277, 286
 Коксик 34, 185
 Коллектор, сборный 259

- Колчедан, влажность 231
 — время пребывания в печи 228
 — движение в печи 69, 110, 164
 — загрузка печи 167, 228
 — медистый 19, 22, 25
 — подача к печам 211, 263 сл.
 — — — регулирование 211
 — серпый 14 сл.
 — — запасы 15
 — — месторождение 16
 — — теория горения 35 сл.
 — сжигание 203 сл.
 — слеживание 233
 — спекание 210, 229
 — температура горения 51 сл.
 — — — практическая 54 сл.
 — — — теоретическая 51 сл.
 — теплоотворная способность 46, 47
 — углистый 21, 22
 — — выделение тепла 226
 — — сжигание 225 сл.
 — — содержание органических примесей 240
 — — состав обжиговых газов 38
 — уральский, анализ 16
 — учет 265
 — флотационный 19, 20
 — — сжигание 222 сл.
 — — спекание 223
 — — сушка 231
 Колыда Рашига 190
 — синхронные 335
 Коммутатор 337, 358
 — схема 337
 Конвертор 23, 161, 162
 — Бессемера 191
 — вертикальный Грат-Фолле 161
 — горизонтальный Пирса и Смит 161
 Конвейер огарковый 121, 140, 145 сл.
 — — разгрузка ковшей 147
 — — устройство 147
 Конденсатор 327, 339
 — плоский 324
 — — ток насыщения в 325
 — цилиндрический 326
 — — поле в 325
 — — ток насыщения в 325
 Контроль работы печного отделения 236 сл.
 Концентрат 25, 27
 — медный 24
 — обжиг 25, 27
 — пиритный 121
 Концентрация печных газов 126, 135, 208
 — SO_2 в печных газах 94, 126, 135, 158, 171, 177, 224, 227, 229, 230; 232
 — SO_3 в печных газах 135
 Корона 326, 327, 329, 331
 Коронный разряд 324 сл.
 Котел для расплавления серы 180
 Коттрели 200
 Кривули 253
 Кружала 287, 289, 291
 Лекадь 6, 159, 289
 Лопатки 89, 91, 92, 155, 222
 Лудло, задвижки 230
 Манометры дифференциальные 230
 Марказит 15
 Медь, извлечение из огарка 187 сл.
 — получение из серпистых руд 149 сл.
 — черновая, получение 160
 Механическая очистка газов 302 сл.
 — — — определение процента 308 сл.
 Мешалки печи Геррестгофа 66
 — — — устройство 67
 Монтаж печей 273 сл.
 — — Ведже 279 сл.
 — — «Г» 275 сл.
 — — Гумбольдта 274 сл.
 — — механических, потребность в рабочей силе 284, 285
 Моторгенераторная группа 340, 341
 Напряжение электрического поля 319 сл.
 — топочного пространства 297
 Напыльник 162
 Насосы Вортингтона 179
 Обжиг гипса 171 сл.
 — колчедана, кривая 136, 137
 — медных руд 150 сл.
 — на штейн 156 сл.
 — цинковых руд 167 сл.
 — — — totrest 168, 171
 — — — vorrest 168, 171
 Огарок, агломерация 192 сл.
 — анализ 186, 187
 — выгрузка 134, 267
 — извлечение меди 188, 189, 191
 — количество при горении колчедана 43, 44, 228
 — оборотный 140, 143, 147, 148
 — отбор пробы 241
 — охлаждение 144
 — содержание меди в 187, 189
 — — серы в 94, 121, 127, 130, 136, 139, 190, 209, 210, 230 сл.
 — спекание 123, 130, 195, 226, 227
 — сульфатирующий обжиг 190
 — температура 137, 269
 — удаление 167, 213, 265 сл.
 — — гидравлическое 271 сл.
 — — механизированное 267
 — утилизация 186 сл.
 — химический состав 186, 189
 Огарок, хлорирующий обжиг 190

Опалубка для кладки сводов 198, 287
 Орсэ аппарат 245
 Остановка печей механических, ра-
 ботающих 201, 202
 — пылевидного обжига 202, 203
 Очистка газов, механическая 302 сл.
 — — определение процента 308
 сл.
 — — электрическая 318 сл.
 — — — выбор рода тока 328, 329
 — — — процент 328, 333
 — — — теоретические основы 319
 сл.

Передаточные механизмы, обслу-
 живание 214

Переключатель тока 334
 — высоковольтный 340

Печь 60 сл.

— вращающиеся 130 сл., 185
 — — питание 133
 — — питатель 133
 — — тепловой баланс 140
 — — устройство верхнего конца
 132

— — и работа 131 сл.
 — — «Бемико» 140 сл.
 — — — питание 143
 — — — питательный бункер печ-
 ного отделения 144
 — — — схема печного отделения
 140

— — механические 176
 — — для обжига гипса 171 сл.
 — — — сжигания серы 177
 — — для сжигания серы, напряже-
 ние 183

— — футеровка 134
 — — загрузка 167, 228
 — — интенсификация 297
 — — критическая оценка различных
 типов 294 сл.

— — механические 62 сл., 294
 — — для обжига цинковых руд
 167 сл.

— — обслуживания 219 сл.
 — — отвод газа 254, 258
 — — производительность 297
 — — регулирование 224
 — — режим работы 203 сл.
 — — ремонт 219 сл.
 — — стандартный тип 298

— для обжига медных руд 149 сл.
 — — цинковых руд 167 сл.
 — — отражательные 25, 157, 158
 — — питание колчеданом 206, 210 сл.
 — — подача воздуха в 206 сл., 224
 — — — регулирование 229
 — — прямоугольные 123
 — — пылевидного обжига 129
 — — — конструктивные недостатки
 129, 296

— — — производительность 231

— — — регулирование 229

— — — сжигание влажных флота-
 ционных хвостов в 232 сл.

— — — разрежение 208, 212

— — — ранних конструкций 162 сл.

— — — с винтообразным подом 166

— — — с водяным охлаждением
 вала и гребком 162

— — — с вращающимся подом 165

— — — с несколькими вертикаль-
 ными валами 164

— — — четырехугольные без цен-
 трального вала 166

— — — — — загрузка 167

— — — регулирование 211, 224

— — — ручные 61, 62

— — — Дельбласа 168

— — — для сжигания газоочистительной
 массы 183 сл.

— — — пылевидного колчедана
 120 сл.

— — — — — подача колчедана 127

— — — — — серы 176 сл.

— — — — — конструкция 176

— — — — — котел 178, 179

— — — — — питание котлов 179

— — — — — производительность 176

— — — — — топка 177, 178

— — — технологические показатели 295

— — — футеровка 286 сл.

— — — цилиндрические 125

Печь Бакема 163

— Брак-Дорана 166

— Брак-Моритца 163 сл., 228

— — — конструктивные недостатки
 107

— — — питатель 106, 107

— — — ватер-жакетная 23, 29, 157 сл.

— — — конструкция 158

— — — Велже 108 сл., 151

— — — конструктивные недостатки
 111, 119

— — — питатель 284

— — — производительность 112

— — — ВХЗ 80 сл.

— — — опорный механизм 82

— — — питатель 86

— — — производительность 93

— — — «Г» 74 сл.

— — — конструктивные недостатки
 79

— — — питатель 77

— — — производительность 74

— — — тепловой баланс 57

— — — Газенклепера 168

— — — Гарриса 164

— — — «Геркулес» 162

— — — Геррестрфа 64 сл., 211

— — — движение колчедана и газа
 в 69

- Печь Геррессгофа питание 67
 — — питатель 70
 — — производительность 64
 — Гипроазотмаша 299
 — Гумбольдта 171, 205, 297
 — — с железным валом 94 сл.
 — — 10-тонная 71 сл.
 — — — питатель 72
 — — 15-тонная 211, 228, 254, 255, 278, 294, 296
 — — установка питателя 278
 — Гунтингтона-Геберлейна 165
 — Дельпласа 168
 — Догета 167
 — Интеллсма 171
 — Льюри 98 сл.
 — — передача 100
 — — питатель 98
 — — производительность 101
 — Мак-Дугала 63, 151
 — Малетра 61
 — Никольс-Геррессгофа 151 сл., 196
 — — питатель, пластинчатый 155
 — Поллануса 195
 — Ромена 190
 — Стенса 167
 — Сирпле 168 сл.
 — — производительность 170
 — Фримана 121
 — — питатель 121
 — Шаффнера 61, 168
 — Шейффенберга 163
 — Эйхорна 168
 Пирит 15, 238
 Пирометры стационарные 249
 — термоэлектрические 248
 Питатель 232
 — печи вращающейся 133
 — — «Г» 77, 278
 — — Геррессгофа 70
 — — 10-тонной Гумбольдта 72
 — — 15-тонной Гумбольдта, установка 278
 — — Льюри 98
 — — Фримана 121
 — — пластинчатый 155
 — — регулирование 212
 — — шнековый 128, 145, 229, 231
 — — производительность 229
 — — привод 128
 — — — фрикционный 128
 Плавка восстановительная 158
 — — окислительная 158, 159
 — — полуокислительная 158
 Подпитание 100
 Подстанция повысительно-выпрямительная, схема 338 сл.
 Портланд-цементы 131, 174, 175
 Предохранитель пробойный 336
 Прибор для определения пыли в газе 247
 Привод печи 279
 Пробой 324
 Провода коронирующие 356
 — — — подвес 350
 — — — соединение с верхней и нижней рамами 352
 Пуск печей, механических работающих 201, 202
 — — — смонтированных 198 сл.
 — — — — просушка 199
 — — — пылевидного обжига 202, 203
 Пылеосадительные камеры 302 сл.
 Пылеочистка) определение коэффициента 317
 — эффект 314
 Пыль, вычисление процента очистки 310, 311
 — движение в электрическом поле 330 сл.
 — заряджение 329
 — скорость осаждения 316, 317, 330 сл.
 Раскалка печи 199
 Редуктор 84
 Рессивер 180
 Режим работы механических печей 203 сл.
 Рейха метод 241
 Своды 206
 — температура 170, 205, 223, 224
 Сепаратор 235
 Сера 27 сл.
 — баланс 205
 — выгорание 112, 210, 224
 — количество выгорающей 136, 223
 — — в колчедане 230, 231
 — — в огарке 94, 121, 127, 130, 138, 139, 190, 209, 210, 230 сл.
 — — получение из колчедана возгонкой 33
 — — метод восстановления генераторным газом 31
 — — — Клауса 31
 — — — норвежский 29
 — — — Фраша 30
 — — — Шаффнера-Гельбшта 32
 — — методы химические 28 сл.
 — — мокрый способ 32
 — — при очистке коксового газа 31
 — — способ «Тайлокс» 32
 — — сухой способ 31
 — — потери 205
 — — самородная 27 сл.
 — — — месторождение 28
 Сернистый газ, источники получения 13 сл.
 — — — получение из гипса 171 сл.

Сернистый газ на металлургических
печей 22 сл.
Серный колчедан см. колчедан
серный
Силковые линии 320
Скрепер 268
Стокса закон 330
Сульфат железа 35, 36
Сульфатирующий обжиг огарка 190
Сушилка для флотационного кол-
чедана 231, 233
Сушка флотационного колчедана
231
Сырье для получения серной кис-
лоты 13
— — — — — соотношение отдель-
ных видов 14

Тамбачное оборудование 274
Температура, влияние на работу
печи 56
— воздуха по выходе из вала 94,
106, 214
— газов по выходе из печи 122,
127, 173, 175, 230
— — — — — вращающейся 136
— — обжиговых 136
— — печных, измерение 248, 249
— — в электрофильтре 333
— — по этажам 106, 112, 167, 170,
205, 223, 224, 225, 331
— колчедана по этажам 225, 226
— обжига цинковых руд 167
— огарка по выходе из печи 137
— регулирование в печи 223
Термопара 248, 255, 361
Течки 119, 266
— конструкция 266
Транспортеры 267
— ленточные 265
— секционные 265
— скребковые 146, 265
Трансформатор 334, 336, 339, 340
Треншальтер 353, 358, 362
Труба Вентури 121
Тыта 206
— регулирование 206
Тягомер 249, 250
— Кредли 250
— Пито 250

Фильтрация 303
Флотационные хвосты, получение
20
— — размол влажных 233
— — сжигание влажных 232 сл.
— — сушка 231
Фероушка 118, 121, 124 сл., 179 сл.,
229, 231, 235
— производительность 179

Фосфогипс 34
Фраш, метод получения серы 30
Фундамент 274
Фундаментные плиты, установка
275, 276
Фурмы 122, 157, 159, 161, 162, 230,
234
Футеровка 292
— печей 286 сл.
— — «Г» 286
— — стандарт на 292

Хлорирующий обжиг огарка 190

Цементаторы 189, 191
Цера аппарат 270
Циклон 148, 303, 312 сл.

Чанкса аппарат 191

Шамот огнеупорный 292
Шамотная масса 287, 290
Шаффер-Гельбиг, метод получения
серы 32
Шиббер 126, 179, 198, 202, 207, 209,
235, 258, 260, 261, 268
— подвеска 257
— регулирование 207
Шпурсы 157, 159
Штейн медный 23, 156, 160
— — получение 156

Щетки 334, 335, 338

Эксплуатация печей 198 сл.
— — — механических 203 сл.
— — — режим работы 203 сл.
— — — — отклонение от нор-
мального 204
— — пылевидного обжига 229 сл.
Элеватор огарковый 146
Электрическая аппаратура 334 сл.
— — стандартная 342
— — очистка газов 318 сл.
— — — выбор рода тока 328, 329.
— — — процент 328, 333
— — — теоретические основы 319 сл.
Электровагонетки 285
Электроды коронирующие 332, 345,
349
— — — встряхивание ручное 351
— — — автоматическое 347, 351,
352
— — осадительные 332, 344, 345
— — — встряхивание 349
— — сетчатые 344
— — сотовые 344, 346
— — отряхивание 343
— — форма 319 сл.
Электрофильтры 303, 335, 342 сл.,
365

Электрофильтры включение и вы-
ключение 356, 358
— отгарковые 345 сл.
— — конструкция 345
— обслуживание 361, 362
— пластинчатые 344
— показатели неправильной рабо-
ты 359, 360

Электрофильтры принцип работы
342
— производительность 346
— пуск 361, 362
— трубчатые 343
— устройство 342
— характеристика работы 335

**Список опечаток в книге Полякова „Печи и аппараты для получения
и очистки сернистого газа“**

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Следует читать</i>
20	18 сверху	ствует всплыванию пирита и цинковой обманки. Это даст возмож-	является известь. Известь, будучи введена в пульпу, препят-
82	20 снизу	Na 3— _n	Na ₃ — „
118	16 „	четвертый	шестой
154	1 „	рис. 57	рис. 60
309	2 „	a	a ₂
321	4 сверху	$\frac{2 \pi Q}{EF}$	$\frac{2 \pi Q}{EF}$
333	1 „	стр. 319	стр. 330

Всего 7 опечаток, из них по вине: автора — 2, редактора — 3, типо-
графии — 2.