

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**  
по учебной дисциплине вариативной части  
профессионального цикла

**“ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ”**

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**  
по учебной дисциплине вариативной части  
профессионального цикла

**“ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ”**

направление подготовки - 05.03.06 «Экология и природопользование»  
профиль - «Экологическая безопасность»

**Составитель:**

Рассмотрен  
на заседании кафедры  
«Прикладная экология и охрана  
окружающей среды »  
Протокол № 2 от 20.09.2016

Утвержден на заседании  
Учебно-издательского совета ДонНТУ  
Протокол № от

Донецк – 2016

УДК 57.087.1 (076.5)

Конспект лекций по дисциплине «Основы технологических расчетов» (для студентов направления подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование», профиль «Экологическая безопасность» дневной и заочной форм обучения) / Составитель: - Донецк: ДонНТУ 2016. – 66 с.

В конспекте представлены основные понятия «Основы технологических расчетов», методы расчета показателей различных производств.

Составитель:

Рецензент:

Дедовец И.Г., к.т.н., доцент

## Содержание

Содержание .....	4
<b>1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....</b>	<b>6</b>
1.1 Получение азотной кислоты .....	6
1.1.1 Технология получения азотной кислоты в современных производствах .....	7
1.1.2 Описание технологической схемы работы агрегата АК-72 .....	8
1.1.3 Методы очистки отходящих газов .....	11
1.1.4 Основные аппараты технологической схемы .....	13
Рисунок 1.2- Контактный аппарат:.....	14
<b>2 ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....</b>	<b>15</b>
2.1 Структура современного КХЗ .....	15
2.1.1. Короткое описание технологии производства .....	15
2.1.2. Основное сырье, которое используется на коксохимических заводах и перечень продукции, которая выпускается.....	18
2.1.3. Вклад основных технологических процессов в валовые выбросы.....	20
2.2.2. Обязательные требования для технологического оборудования с целью уменьшения выбросов загрязняющих веществ для коксохимических предприятий.....	22
2.3 Переработка сероводородных газов в серную кислоту методом мокрого катализа .....	23
2.3.1 Основные направления совершенствования процесса мокрого катализа .....	32
<b>3 ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ И ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ .....</b>	<b>34</b>
3.1 Виды изделий .....	34
3.2 Сырьевые материалы .....	35
3.3 Подготовка сырья.....	36
3.3.1 Подготовка пластичных материалов.....	36
3.3.2 Подготовка отошающих материалов и плавней .....	36
3.3.3 Измельчение сырьевых материалов .....	36
3.3.4 Рассев порошков и гранулометрический состав .....	37
3.4 Приготовление керамических и огнеупорных масс .....	37
3.4.1 Приготовление массы из сухих порошков .....	38
3.4.2 Приготовление пластичных масс .....	38
3.4.3 Приготовление шликерных масс.....	39
3.5 Формование изделий .....	39
3.5.1 Полусухое прессование .....	39
3.5.2 Пластическое формование .....	39
3.5.3 Шликерный способ формования (способ литья) .....	40
3.6 Сушка изделий .....	41
3.7 Обжиг изделий .....	42
3.8 Глазурование и декорирование изделий.....	43

3.9 Влияние производств керамических и огнеупорных изделий на атмосферный воздух .....	45
3.10 Влияние огнеупорных и керамических производств на состояние водных ресурсов.....	48
<b>4 ГАЗООЧИСТНЫЕ УСТАНОВКИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ .....</b>	<b>51</b>
4.1 Очистка газов от пыли при производстве агломерата .....	51
4.2 Очистка газов в доменном производстве .....	54
4.2.1 Вредные выбросы доменного производства и их очистка .....	56
4.3 Охлаждение и очистка конвертерных газов.....	58
4.4 Электросталеплавильные печи .....	60
4.5 Вредные выбросы в прокатном производстве и борьба с ними .....	62

# 1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

## 1.1 Получение азотной кислоты

Азотная кислота является одним из исходных продуктов для получения большинства азотсодержащих веществ. До 70—80% ее количества расходуется на получение минеральных удобрений. Одновременно азотная кислота применяется при получении взрывчатых веществ почти всех видов, нитратов и ряда других технических солей; в промышленности органического синтеза; в ракетной технике, как окислитель в различных процессах и во многих других отраслях народного хозяйства.

Промышленностью вырабатывается неконцентрированная (до 60—62%  $\text{HNO}_3$ ) и концентрированная (98—99%  $\text{HNO}_3$ ) кислота. В небольших объемах выпускается реактивная кислота и азотная кислота особой чистоты.

Исходя из структуры потребления, основная доля производимой азотной кислоты приходится на неконцентрированную  $\text{HNO}_3$ .

Она кислота должна удовлетворять требованиям ОСТ-113-03-270-90:

Внешний вид	Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт
	Бесцветная или слегка желтоватая прозрачная жидкость без механических примесей		
Содержание, %			
азотной кислоты, не менее	57,0	56,0	46,0
оксидов азота в пересчете на $\text{N}_2\text{O}_4$ , не более . . . .	0,07	0,1	0,2
прокаленного остатка, не более	0,004	0,02	0,05

### Физико-химические свойства азотной кислоты (для концентрации 56,0 % вес.)

Азотная кислота неограниченно растворяется в воде с выделением тепла. При разбавлении может образовываться тригидрат  $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (53,8%  $\text{HNO}_3$ ), имеющий температуру кристаллизации 255 К (-18° С) и гидрат  $\text{HNO}_3 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$  (77,8%  $\text{HNO}_3$ ), температура кристаллизации которого -38° С.

Температура замерзания 56% азотной кислоты -18,5°С, температура кипения -119° С при атмосферном давлении.

При температуре 20°С плотность 56% азотной кислоты составляет 1,345 г/см<sup>3</sup>, теплоемкость 0,57 ккал/кг·°С.

Азотная кислота неконцентрированная является энергичным окислителем. На воздухе и на свету разлагается с выделением окислов азота, образующих слабый туман. Разрушает животные и растительные ткани.

Все металлы кроме платины, родия, иридия, титана, тантала и золота растворяются в азотной кислоте. Некоторые нержавеющие стали (12X18H10T, 08X22H10T) устойчивы в среде азотной кислоты концентрацией до 70 %.

Азотная кислота при контакте со многими горючими материалами вызывает их самовозгорание. Токсична.

### 1.1.1 Технология получения азотной кислоты в современных производствах

С 1965 года прошли испытания и внедрены в производство, крупнотоннажные агрегаты производства азотной кислоты под давлением 0,716 атм.

При создании агрегата под давлением 0,716 МПа (АК-72) предполагалось снижение себестоимости вырабатываемой азотной кислоты на 9% по сравнению со стоимостью  $\text{HNO}_3$ , вырабатываемой на агрегатах, работающих по комбинированной схеме: при атмосферном давлении на стадии конверсии аммиака и 0,343 МПа ( $3,5 \text{ кгс/см}^2$ ) на стадии абсорбции оксидов азота. Реально достигнутые показатели в сопоставимых ценах превысили расчетные данные.

Ниже приведены также расчеты энергоемкости переработки аммиака в азотную кислоту с учетом всех энергозатрат (в тоннах условного топлива), включая общезаводские затраты на перекачивание оборотной воды и др. Для сопоставляемости схем перерасход аммиака по сравнению с минимальным, для предприятия, производящего кислоту при атмосферном давлении, относили на энергозатраты с коэффициентом расхода условного топлива 1,83 на 1 т аммиака (табл. 1).

Таблица 1 - Энергоемкость переработки аммиака в  $\text{HNO}_3$

Схема	Производительность		
	макс.	мин.	сред.
Работающие при атмосферном давлении (без каталитической очистки)	0,1563	0,0223	0,0873
Работающие под единым давлением 0,49-0,88 МПа	0,2651	0,2017	0,2214
Работающие при давлении на стадии конверсии 0,098 МПа и на стадии абсорбции 0,343 МПа	0,2791	0,0856	0,1404
Агрегаты, работающие под единым давлением 0,716 МПа	—	0,0026	0,0843

Необходимо отметить, что и после ввода агрегата АК-72 фактическая себестоимость и энергоемкость азотной кислоты, вырабатываемой на агрегатах единого давления 0,716 МПа, оставались самой низкой в СССР.

## 1.1.2 Описание технологической схемы работы агрегата АК-72

### Очистка и сжатие воздуха

Технологическая схема производства неконцентрированной азотной кислоты под давлением 0,716 МПа представлена на рис. 1.1.

По проекту головного агрегата атмосферный воздух должен проходить трехступенчатую очистку. Первые две ступени — сухая — на суконном фильтре и мокрая — на тарельчатом промывателе — конструктивно были совмещены в одном аппарате 1 и располагались перед входом воздуха в компрессор. Из-за опасения намокания суконного фильтра водная промывка воздуха не была апробирована. В настоящее время серийные агрегаты строятся без нее.

Очищенный атмосферный воздух поступает в компрессорную группу ГТУ типа ГТТ-3. Повышение давления воздуха до 0,716 МПа выполнено в две ступени. Первая ступень повышения давления до 0,343 МПа ( $3,5 \text{ кгс/см}^2$ ) — происходит в осевом компрессоре *a*, конструктивно выполненном на одном валу и в одном корпусе с газовой турбиной *b*. Нагретый до 174 °С за счет адиабатического сжатия воздух охлаждается в промежуточном поверхностном холодильнике *e* до 42 °С и поступает в центробежный компрессор (нагнетатель) *б*, где давление воздуха повышается до 0,716 МПа (7,3 атм).

Расчетная температура воздуха на выходе из центробежного нагнетателя равна 135°С.

Из нагнетателя *б* поток воздуха направляется на производство азотной кислоты, на каталитическую очистку и на собственные нужды ГТУ. Поток воздуха, поступающий на производство азотной кислоты, также делится на несколько потоков. Основной поток после подогрева его теплом нитрозных газов в подогревателе 5 направляется в смеситель 16, где воздух смешивается с очищенным газообразным аммиаком. Количество газовой смеси автоматически регулируется в зависимости от заданной выработки азотной кислоты.

Второй поток воздуха поступает в трубопровод нитрозных газов перед абсорбционной колонной 10; назначение его — обеспечить полноту переработки оксидов азота в азотную кислоту. Расход этого потока также регулируется автоматически по заданной температуре газов за реактором каталитической очистки 3.

Третий поток направляется в продувочную колонну 11 для отдувки оксидов азота из полученной азотной кислоты. Поток воздуха на каталитическую очистку направляется в камеру подготовки газов (в камеру сгорания реактора) 4 для сжигания горючего газа. Количественно этот поток автоматически регулируется по заданной температуре газов за камерой 4. Температура газов задается со щита управления в зависимости от активности катализатора очистки хвостовых газов от оксидов азота. Поток воздуха на собственные нужды ГТТ-3 также разветвляется на несколько потоков.



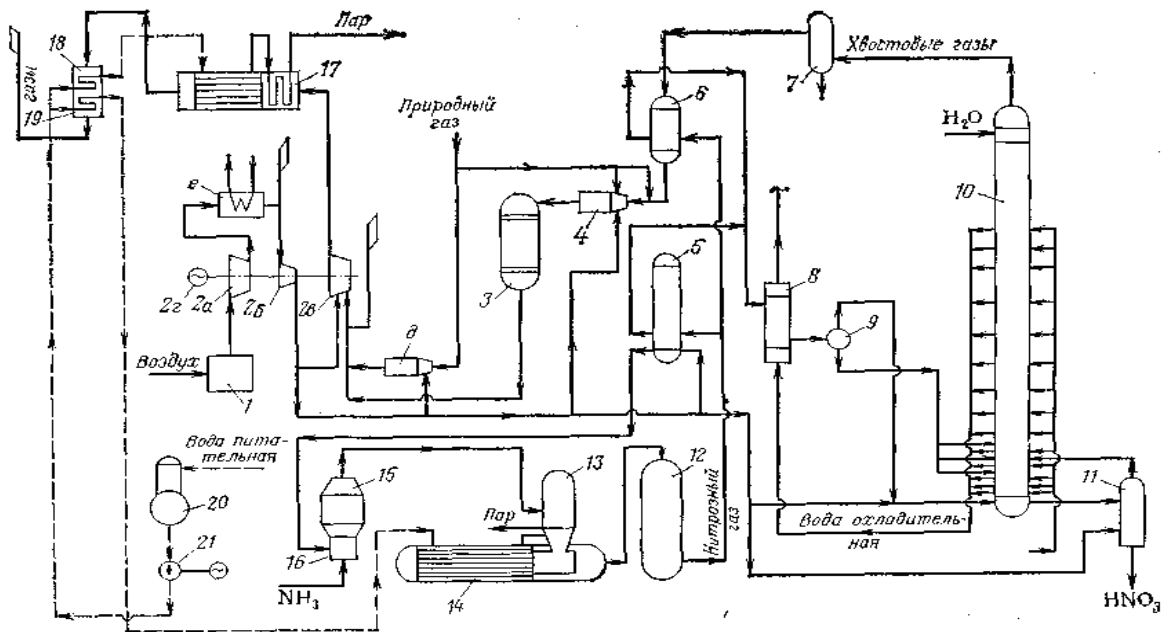


Рисунок 1.1 – Технологическая схема получения азотной кислоты под давлением 0,716 МПа.

Один из них, предназначенный для поддержания дежурного факела в пусковой камере горения  $d$  на номинальном режиме, проходит через пусковую камеру сгорания турбины. При переменном режиме это позволяет регулировать расход воздуха, в химико-технологических процессах, в любых пределах — от нуля до номинального. Другие потоки воздуха на собственные нужды ГТУ направляются на охлаждение и думисс турбины. Количественно они зависят от состояния лабиринтных уплотнений турбины.

#### Окисление аммиака до оксидов азота

Смешение аммиака с воздухом происходит в смесителе 16. Соотношение количеств аммиака и воздуха, подаваемых в смеситель, регулируется автоматически регулятором соотношения. Из смесителя аммиачно-воздушная смесь поступает в фильтр 15, где происходит окончательная очистка смеси. Смеситель и фильтр совмещены в одном аппарате. Из фильтра 15 аммиачно-воздушная смесь поступает на катализаторные сетки контактного аппарата 13, где при температуре 900 °С происходит окисление аммиака с образованием оксида азота II, паров воды и азота. Образующиеся при окислении аммиака горячие нитрозные газы поступают в котле-утилизатор 14, на котором установлен контактный аппарат. Конструктивно котел выполнен таким образом, чтобы обеспечивать максимально возможное окисление нитрозных газов в объеме. В котле-утилизаторе вырабатывается водяной пар с давлением 1,67 МПа и с температурой 250 °С.

Из котла нитрозные газы поступают в окислитель 12, представляющий собой полый сосуд, в котором продолжается реакция окисления оксида азота II в тетроксид с соответствующим повышением температуры нитрозных газов. Расчетная степень окисления нитрозных газов за окислителем — 80%. В верхней части окислителя установлен фильтр для улавливания платиноидов.

Из окислителя 12 нитрозные газы поступают в подогреватели воздуха 5 и хвостовых газов 6. Охлажденные нитрозные газы далее направляются в скоростные холодильники 8, где охлаждаются оборотной водой до 45—55 °С. В холодильниках 8 происходит конденсация водяных паров, окисление NO в NO<sub>2</sub> и образование кислоты. Из холодильников смесь газа и кислоты направляется в сепаратор 9, где отделяется около 75% от количества образовавшейся кислоты.

#### Отделение абсорбции оксидов азота

Из сепаратора 42—47%-ная кислота поступает в абсорбционную колонну 10 на тарелки с соответствующей концентрацией кислоты. Нитрозные газы, содержащие диспергированную кислоту, также подаются в абсорбционную колонну 10. Температура абсорбции составляет 20–30 °С. Для поддержания этой температуры тарелки абсорбционной колонны снабжены змеевиками, которые охлаждаются оборотной технической водой. Орошение колонны производится специально подготовленной водой, обессоленной, дистиллированной либо паровым конденсатом. Полученная здесь азотная кислота самотеком направляется в продувочную колонну 11, где из кислоты выдуваются растворенные оксиды азота.

Отбеленная кислота из продувочной колонны 11 далее попадает на склад азотной кислоты.

Нитрозные газы после продувочной колонны 11 возвращаются в абсорбционную колонну 10.

#### Отделение нейтрализации оксидов азота

Выходящие из абсорбционной колонны газы содержат не поглощенные оксиды азота. Они направляются в сепаратор для улавливания капель кислоты, далее подогреваются в подогревателе 6 и поступают в камеру подготовки газов 4, где нагреваются до 400—550 °С топочными газами, полученными при сжигании природного газа. Температура газов задается по активности катализатора в реакторе каталитической очистки 3. Режим сжигания — восстановительный поэтому в газах за камерой 4 содержится большое количество водорода, оксида углерода и радикалов способствующих интенсификации процесса на катализаторе в реакторе 3.

В трубопровод до или после камеры сгорания 4 вводится газ-восстановитель для каталитической очистки хвостовых газов от оксидов азота в реакторе 3. Нагретые до 705—730 °С хвостовые газы, смешиваясь с относительно холодным потоком продуктов сгорания топлива и воздуха из пусковой камеры д, охлаждаются до 700 °С и направляются на расширение в газовую турбину в. Нижний предел температуры — 705 °С — определен из условий безопасной эксплуатации пусковой камеры сгорания д, верхний

предел — 730 °С — по условиям безопасной эксплуатации реактора 3 и длительности пробега катализатора. Отработанные в турбине газы под давлением 0,104 МПа и при температуре около 400 °С поступают в котел-утилизатор 17, где вырабатывается пар с теми же параметрами, что и в котле-утилизаторе тепла нитрозных газов 14. Дальнейшее охлаждение хвостовых газов до 120—130 °С происходит в экономайзерах 18 и 19, конструктивно совмещенных с котлом 17.

Агрегат компактен, все аппараты транспортабельны. Энергетический цикл агрегата автономен и при отключении химического производства, остается в работе до отключения его со щита управления. Это позволяет при случайных отключениях химического процесса быстро вводить агрегат в работу. Управление агрегатом в рабочем режиме автоматизировано.

### 1.1.3 Методы очистки отходящих газов

Оксиды азота относят к умеренно опасным газам (третий класс опасности). В рабочих зонах ПДК оксидов азота в пересчете на  $\text{NO}_2$  равна 2 мг/м<sup>3</sup>, а в приземном слое среднесуточная ПДК составляет 0,085 мг/м<sup>3</sup>.

Содержание оксидов азота на выходе из абсорбционных колонн значительно превышает санитарные нормы. Поэтому в промышленной практике применяются методы каталитического восстановления оксидов азота природным газом или аммиаком до молекулярного азота и воды. Условно по температурам восстановления процессы делят на высокотемпературные (более 500°С) и низкотемпературные (менее 500°С).

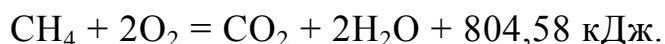
#### *Высокотемпературная каталитическая очистка*

В качестве восстановителей могут применяться: водород, азотоводородная смесь, оксид углерода (II), природный, нефтяной, коксовый газы, пары керосина, мазута и др. Практическое применение в промышленности нашел природный газ, содержание серы в котором не должно превышать 20 мг/м<sup>3</sup>.

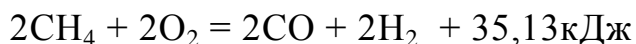
В качестве катализаторов применяют металлы Pt, Pd, Rh, Ru, Ni, Cu, Cr, Fe и сплавы Ni—Cr, Cu—Cr, Zn—Cr и др., нанесенные на оксиды алюминия, цинка, силикагель, керамику и природные материалы. В агрегатах УКЛ-7,3 и АК-72 применяют палладиевый катализатор АПК-2 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  с 2% Pd). Процесс восстановления  $\text{NO}_x$  протекает при 720—770 °С, объемной и линейной скоростях газа соответственно 15000—25000 м<sup>3</sup>/ч и 1,0—1,5 м/с. Для достижения остаточной концентрации оксидов азота в пределах 0,002—0,008% (об.) поддерживают 10%-ный избыток природного газа от стехиометрического.

В качестве второго каталитического слоя используется таблетированный  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Срок службы катализатора 3 года, потери Pd составляют 3—5% в год (от массы нанесенного). За период эксплуатации активность катализатора снижается, и концентрация оксидов азота повышается от 0,002—0,003 до 0,008—0,01% при содержании  $\text{NO}_x$  на входе >0,1% (об.).

Первой стадией процесса является горение и конверсия метана кислородом



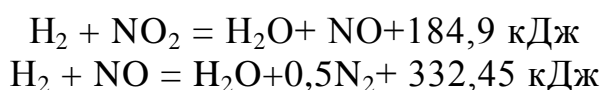
При неполном сгорании метана образуются водород и монооксид углерода:



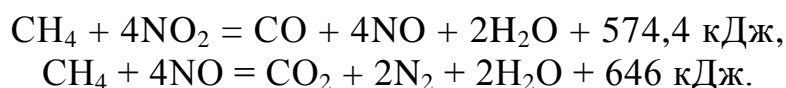
Последние могут окисляться кислородом до диоксида углерода и воды.

Выделяемое по реакциям тепло приводит к значительному повышению температуры газа. Адиабатический разогрев парогазовой смеси при вступлении в реакцию 1% кислорода составляет 160 °С. Поэтому, во избежание перегрева катализатора и одновременного обеспечения температуры его зажигания (450—550 °С), содержание кислорода в отходящем газе поддерживают в пределах до 3,2%. При восстановлении водородом содержание кислорода составляет 4,4% O<sub>2</sub>, так как в этом случае адиабатический разогрев равен 130—140 °С.

Таким образом, в восстановлении оксидов азота участвуют все три восстановителя: H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>. Но с большей вероятностью с оксидами азота реагирует на катализаторе водород. Причем, на первой стадии, диоксид азота восстанавливается до оксида азота NO, а затем последний до N<sub>2</sub>



Аналогично взаимодействует NO<sub>x</sub> с монооксидом углерода. Суммарные реакции природного газа с оксидами азота можно представить в виде:



По условиям эксплуатации катализатора АПК-2 оптимальным является соотношение [CH<sub>4</sub>]:[O<sub>2</sub>]=0,55—0,56. Дефициция оксидов азота в восстановительной среде (избыток CH<sub>4</sub> над O<sub>2</sub>) приводит к появлению в выхлопном газе наряду с CO [до 0,15% (об.)] аммиака и водорода.

Активность катализаторов восстановления оксидов азота водородом на основе благородных металлов убывает в последовательности: Ru>Os>Rh> >Ir>Pt>Pd.

Восстановление оксидов азота монооксидом углерода в присутствии кислорода затрудняется и может прекратиться полностью при превышении стехиометрического содержания кислорода над оксидом углерода. При восстановлении смеси оксидом углерода он взаимодействует только с NO<sub>2</sub>. По активности испытанные катализаторы этой реакции располагают в следующий ряд.



Высокотемпературный процесс каталитической очистки напрямую связан с технологией получения азотной кислоты. При его осуществлении можно не только организовать замкнутый энерготехнологический цикл, но и выдать значительное количество пара на сторону (Гкал/т 100%-ной  $\text{HNO}_3$ ): АК-72 – 1,14, АК-72М – 1,24.

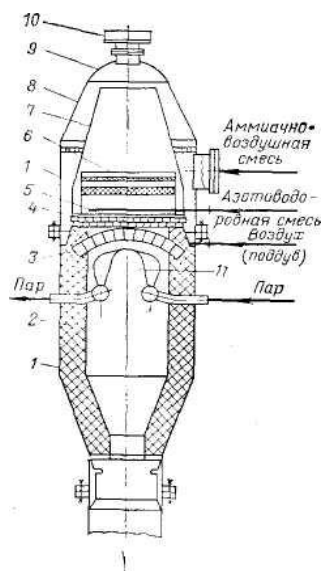
Таблица 1.2 - Удельные нормы расхода сырья, энергоресурсов и материалов на 1 т продукта

Статьи расходов	Расход на 1 т
Сырье и материалы	
Аммиак, т	0,293
Безвозвратные потери платиноидов, г	0,155
Энергетические затраты	
Химически очищенная вода, т	0,62
Конденсат водяного пара, т	2,51
Оборотная охлаждающая вода, т	159
Электроэнергия, ГДж	0,0792
Природный газ, м <sup>3</sup>	120
Пар (продукция), ГДж	5,32

#### 1.1.4 Основные аппараты технологической схемы

Контактный аппарат (рис. 1.2). Диаметр верхней наружной цилиндрической части аппарата 2200 мм. Внутри этой части установлен конус, переходящий внизу в цилиндр диаметром 1850 мм, ниже которого установлена кассета с 12 платиноидными сетками. В месте перехода внутреннего конуса в цилиндр расположены газораспределительные сетки.

Платиноидные сетки опираются на колосники, уложенные на кирпичные своды. Полный диаметр платиновых сеток 1700 мм, рабочий диаметр — 1650 мм. В нижней цилиндрической части расположен пароперегреватель. Общая высота аппарата 7810 мм.

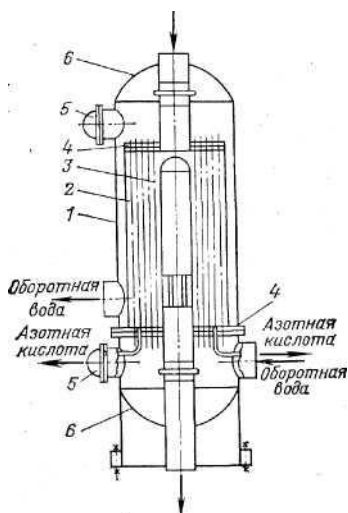


1 — обечайка; 2 — футеровка; 3 — свод; 4 — поддерживающее устройство; 5 — платиновые сетки; 6 — распределительные устройства; 7 — внутренний конус; 8 — внешний конус; 9 — днище; 10 — взрывная пластина; 11 — пароперегреватель

Рисунок 1.2- Контактный аппарат:

Холодильники-конденсаторы (рисунок 1.3) представляют собой вертикальные одноходовые кожухотрубчатые теплообменники с водяной рубашкой. Нитрозные газы проходят в межтрубном пространстве, обратная вода — в трубах. Число теплообменников в одном агрегате — 2, поверхность теплообмена каждого  $495 \text{ м}^2$ . Диаметр охлаждающих трубок  $25 \times 2,5 \text{ мм}$ ; диаметр аппарата  $2000 \text{ мм}$ , длина трубного пучка  $3,0 \text{ м}$ .

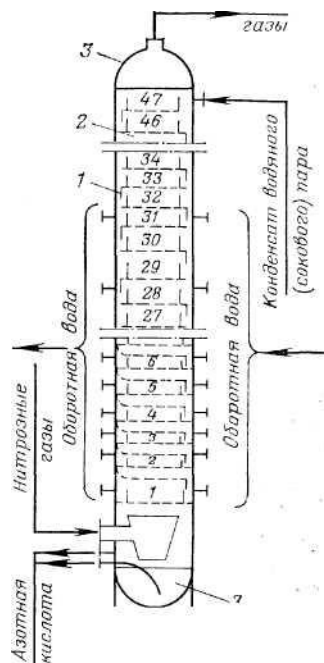
Современные агрегаты оснащены холодильниками-конденсаторами кожухотрубчатого типа с поверхностью теплообмена каждого аппарата  $475 \text{ м}^2$ . Диаметр трубок  $25 \times 2,5 \text{ мм}$ , диаметр аппарата  $1600 \text{ мм}$ , длина трубного пучка  $4,0 \text{ м}$ .



1,2—обечайки; 3 — теплообменные трубки; 4 — трубные решетки; 5 — люк; 6 — днище

Рисунок 1.3 - Холодильник-конденсатор

Абсорбционная колонна (рис. 1.4) представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат диаметром 3200 мм и высотой 46400 мм с 47 ситчатыми тарелками. Нижние 31 тарелка снабжены змеевиками общей поверхностью 713 м<sup>2</sup>. Орошение тарелок конденсатом или обессоленной водой.



1 — обечайка; 2 — ситчатая тарелка; 3 — днище

Рисунок 1.4 - Абсорбционная колонна:

## 2 ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОКСОХИМИЧЕСКИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### 2.1 Структура современного КХЗ

Производство кокса осуществляется коксохимических заводах и связано с достаточно большим количеством источников выбросов, которые носят как организованный характер (дымовые трубы, воздушники и др.), так и неорганизован характер (процессы загрузки шихты, выдачи, гашения, нагрузки кокса).

Коксохимический завод, состоящий из 4-х коксовых батарей, имеет более чем 150 источников выбросов и около 15 наименований загрязняющих веществ. Основные загрязняющие вещества - это оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, вещества в виде суспендированных твердых частиц (пыль угольных концентратов, пыль коксовая) сажи, аммиак, сероводород, цианистый водород, фенол, бензолные углеводороды, нафталин и бенз/а/пирен.

#### 2.1.1. Короткое описание технологии производства

Для производства кокса разные марки угольных концентратов измельчаются, смешиваются в определенном соотношении, потом угольная шихта транспортируется в угольные башни, откуда загружается в коксовые печи.

Производство кокса осуществляется при нагревании угольной шихты определенного состава в коксовых печах (камерах коксования) при температуре 1000 - 1050 °С без доступа воздуха.

Нагревание угольной шихты осуществляется через обогревательные каналы вдоль камер коксования продуктами сгорания коксового газа, который образуется при производстве кокса и после соответствующей очистки. Продукты горения коксового газа выбрасываются в атмосферный воздух через дымовые трубы коксовых батарей.

Готовый кокс выдается из камер коксования в коксовые вагоны, потом охлаждается на гасильной башне очищенной сточной водой предприятия.

Дальше охлажденный кокс сортируется по размеру кусков и отправляется потребителю.

Коксовый газ, который получается одновременно с коксом, содержит смолистые вещества, аммиак, сероводород, бензолные углеводороды, цианистый водород, фенол, нафталин. Из камер коксования через газосборник коксовый газ поступает на охлаждение и очистку от перечисленных выше химических веществ.

Обратный коксовый газ возвращается в коксовые батареи для сжигания, часть его используется в других установках, которые используют топливо (трубчатые печи, котлоагрегаты и др.).

Общее количество выбросов загрязняющих веществ на коксохимических заводах составляет: ~ 90 тыс. т/год, из них ~ 70 тыс. т/год составляют выбросы диоксида серы, оксидов азота, оксида углерода и около 15 тыс. тонн веществ в виде суспендированных твердых частиц, то есть 90 % выбросов загрязняющих веществ составляют 4 вышеуказанных компонента.

Технология производства кокса на всех заводах идентична.

Коксохимические заводы отличаются по составу цехов, количеством коксовых батарей и объемом производства.

Важными отличными признаками, которые влияют на выбросы загрязняющих веществ, является срок службы коксовых батарей, состояние кладки, герметичность обогревательной системы, конструктивные особенности коксовых печей, наличие природоохранных мероприятий, а также состав сжигаемого газа, который поступает на обогрев коксовых батарей (основной показатель - содержание сероводорода в коксовом газе).

На рисунке 2.1 приведена технологическая схема коксохимического производства.



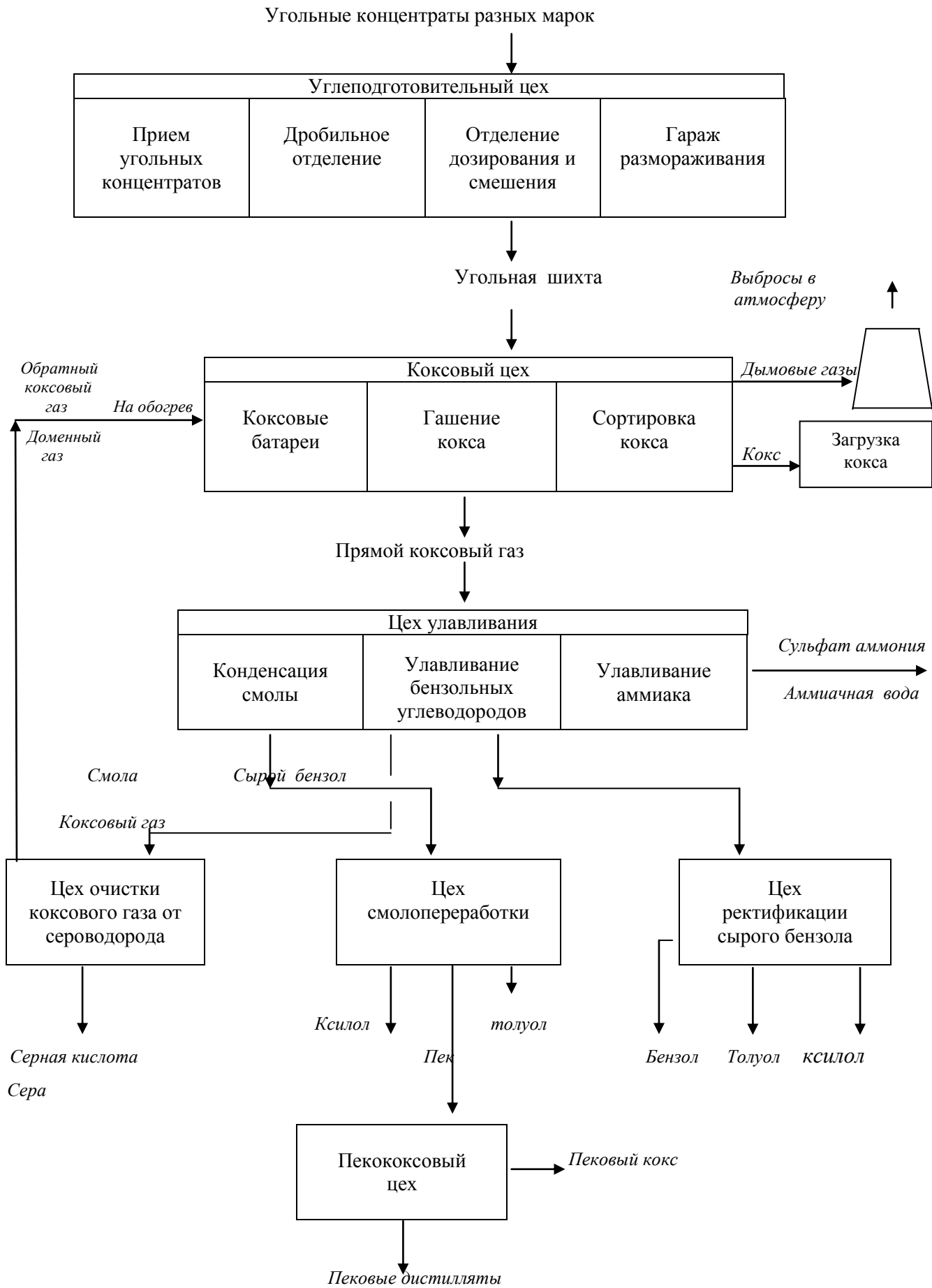


Рисунок 2. 1 - Технологическая схема коксохимического производства

На большинстве коксохимических заводов в качестве отапливаемого газа используется очищенный коксовый газ. На ОАО "Маркохим" часть коксовых батарей отапливается смесью коксового и доменного газов.

На ОАО "Днепродзержинский КХЗ", ЗАО "Макеевкокс", ЗАО "Енакиевский коксохимпром" и АОЗТ "Харьковский коксовый завод" отсутствуют установки по очистке коксового газа от сероводорода, потому отопление коксовых батарей осуществляется коксовым газом с повышенным содержанием сероводорода.

Структура химических цехов, зависит от технологии охлаждения коксового газа и улавливания химических веществ и дальнейшей переработки.

На одних заводах проводится только улавливание химических компонентов коксового газа и отсутствует их переработка, на других заводах есть технологические процессы по переработке каменноугольной смолы и бензольных углеводородов.

Кроме того, работают два самостоятельных смолперерабатывающих заводов - Горловский и Стахановский.

Цеха по переработке бензола работают на таких заводах: ОАО "Макеевкокс", ОАО "Ясиновский КХЗ". Очистка сырого бензола от серных соединений на ОАО „Ясиновский КХЗ” выполняется на установке „гидроочистки” (водородом под высоким давлением).

На коксохимических заводах есть котельные установки или ТЭЦ, которые производят пар и электрическую энергию для собственных нужд. Отапливаются они в основном коксовым газом, или смесью коксового с доменным.

#### 2.1.2. Основное сырье, которое используется на коксохимических заводах и перечень продукции, которая выпускается

Основным сырьем коксохимических заводов являются угольные концентраты специальных марок, которые пригодны для коксования.

Наиболее распространен марочный состав шихты следующий: газовый (Г), 30-45 %; жирный (Ж), 20-40 %, коксовый (К), 10-30 %; спекающийся (СС), 5-6 %; тощий (П), 0,02-0,09 %.

По ТУ В 322-00190443-130-97 угольная шихта характеризуется следующими показателями:

влага - не больше 11,0 %;

зольность - не больше 9,0 %

выход летучих веществ - не больше 31,0 %;

содержание серы общей - не больше 2,3 %.

В табл. 2.1 преден перечень основной продукции.

Таблица 2.1 - Перечень основной продукции, которая выпускается коксохимическими предприятиями

Наименование продукции	ТУ, ДСТ, другие нормативные документы на продукцию, которая выпускается	Состав по основной веществу %
1	2	3
Кокс доменный	ТУ В 322-00190443-114-96	С 96,5 - 97,5
Газ коксовый очищен	ТУ В 322-00190443-101-99	Н <sub>2</sub> 53,0 - 60,0 СН <sub>4</sub> 20,0 - 25,0
Смола каменноугольная	ТУ В 322-00190443-100-97	Влага. 2,5 - 4,0 Свободный углерод 3,0 - 7,0 Нафталин 7,0-10,0 Фенол 1,7-3,0
Бензол сырой каменноугольный	ТУ В 24.1-00190443-003-2003	Бензол 65,0 - 75,0 Толуол 12,0-15,0
Сульфат аммония	ГОСТ 9097-82 ТУ В 322-00190443-067-97	Азот (в пересчете на сухое вещество) 20,0-21,0
Масло каменноугольное впитывающее	ТУ В 322-00190443-117-97	Вода 0,5 Фенол 1,0 Нафталин 1,3
Масло антраценовое	ТУ В 322-00190443-063-97	Нафталин 1,0-4,0 Фенантрен, антрацен 6,0-23,0 Карбазол 1,0 - 5,0 Флуорантен 5,0-8,0
Масло фенольное каменноугольное	ТУ В 322-00190443-127-96	Фенол 30,0 Вода 2,5 Нафталин 30,0
Масло каменноугольное нафталиновое	ТУ В 322-00190443-134-99	Нафталин 50,0 - 68,0
Пек каменноугольный электродный	ГОСТ 10200-83	Метиленхризены, фенилантрацены, бензофлуорантены- 7,2 Антрацен, фенантрен -4,5
Кислота серная техническая	ГОСТ 2184-77	Серная кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) не меньше 65,0 - 75,0
Сера техническая газовая коксохимического производства	ТУ В 322-00190443-006-2001	Сера 96,0 - 99,6
Сера коллоидная - паста	ТУ В 322-00190443-092-2000	Сера 92,0 - 95,0

### 2.1.3. Вклад основных технологических процессов в валовые выбросы

Основными технологическими процессами, которые дают наибольший вклад в выбросы на коксохимических заводах, является: отопление коксовых батарей (выбросы из дымовых труб), гашение кокса (выбросы из тушильной башни) и конечное охлаждение коксового газа (градирня КГО). Выбросы от этих три источника составляют ~ 80-85 % всех выбросов коксохимических заводов.

Основными загрязняющими веществами на коксохимических заводах является диоксид серы ( $SO_2$ ), оксид углерода (CO), оксиды азота ( $NO_x$ ), вещества в виде суспендированных твердых частиц (пыль угольных концентратов, пыль кокса), сажи. Их количество ~ 90 % от всех выбросов.

Неметановые летучие органические соединения (НМЛОС) (бензол, толуол, ксилол, нафталин, фенол) составляют ~ 4,5 %. Выбросы аммиака, цианистого водорода и сероводорода составляют ~ 4,5 %.

Таблица 2.2 - Вклад основных технологических процессов и технологического оборудования в валовые выбросы

Наименование технологического процесса	Процент от общих выбросов %	Загрязняющие вещества
1	2	3
Основное производство. 1.Транспортировка угольных концентратов, их хранение, дробление, дозирование и подача на коксовые печи.	1,5 - 2,0	Вещества в виде суспендированных твердых частиц
2. Процесс производства кокса. 2.1. Неорганизованы выбросы от процессов загрузки коксовых печей шихтой, выдачи кокса, его гашения, сортировки, нагрузки, газировки коксовых дверей, люков и стояков.	15-20	Вещества в виде суспендированных твердых частиц, оксиды азота (в пересчете на диоксид азота), диоксид серы, оксид углерода, аммиак, сероводород, цианистый водород, фенол, бензол, нафталин, бенз/а/пирен
2.2. Организованы выбросы из дымовых труб коксовых батарей.	60-65	Оксид углерода, оксиды азота (в перечислении на диоксид азота), диоксид серы, сажи, бенз/а/пирен
3. Обработка коксового газа, который отходит от коксовых печей, его охлаждения, выделения смолы, улавливания аммиака, бензольных углеводородов, сероводорода, переработка каменноугольной смолы	15-18	Аммиак, сероводород, сероуглерод, цианистый водород, фенол, пиридин, бензол, нафталин, бенз/а/пирен

Таблица 2.3 - Перечень основных загрязняющих веществ, которые выделяются в атмосферу и их вклад в суммарные выбросы

Код вещества	Наименование вещества	Процент от общих выбросов (средний по всем заводам) %	ПДК <sub>г.г.</sub> , (ОБРВ), мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
	<u>Наиболее распространены загрязняющие вещества</u>			
04001	Диоксид азота	9,5	0,085	2
07001	Углерода оксид	25,0*)	5,0	4
05001	Серы диоксид	40,0	0,5	3
03000	Вещества, в виде суспендированных твердых частиц (пыль угольных концентратов, пыль кокса) и сажи	15	0,5	3
	<u>Опасные загрязняющие вещества</u>			
	Аммиак			
04003	Бензол	2,0	0,2	4
11008	Нафталин	2,2	1,5	2
11034	Водорода цианид	1,4	0,003	4
17001	Сероводород	1,1	0,2	2
05002	Фенол	1,5	0,008	2
11048	<u>Сероуглерод</u>	0,6	0,01	2
05003	<i>Всего</i>	<u>0,02</u>	0,03	2
		98,32		
	<u>Другие загрязняющие вещества, в т.ч.:</u>			
	Пиридин	1,68		
11035	Кислота серная		0,08	2
05004			0,3	2
	Тяжелые металлы, которые входят в состав пыли кокса и угольных концентратов :			
01001	Мышьяк и его соединения (в пересчете на мышьяк)		0,00000	2
01004	Кадмий и его соединения (в пересчете на кадмий)		0,00000	1
01005	Медь и ее соединения (в пересчете на медь)		-	2
01006	Никель и его соединения (в пересчете на никель)		0,00000	1
01007	Ртуть и ее соединения (в пересчете на ртуть)		0,00000	1
01009	Свинец и его соединения (в пересчете на свинец)		0,001	1
01010	Хром и его соединения (в пересчете на триоксид хрома)		-	1
01011	Цинк и его соединения (в пересчете на цинк)		0,00000	2
	<b>Всего</b>	<b>100</b>		

\*) СО имеет более высокий % от общих выбросов, а SO<sub>2</sub> более низкий, для заводов, которые используют доменный газ для обогрева коксовых батарей, или других установок, которые используют топливо.

2.2 Основные природоохранные мероприятия и обязательные требования уменьшения выбросов в атмосферу для коксохимических предприятий

2.2.1 Мероприятия, которые рекомендуются с целью уменьшения выбросов в атмосферу

*Для углеподготовительного цеха:*

1. Изоляция ротора вагоноопрокидывателя с аспирацией и очисткой запыленного воздуха.
2. Аспирация запыленного воздуха в местах дробления угля и транспортировки со следующей его очисткой.

*Для коксового цеха:*

1. Бездымная загрузка шихты.
2. Бездпылевая выдача кокса.
3. Установка крышек стояков с гидрозатворами.
4. Применение газоплотных дверей.
5. Герметизация крышек загрузочных люков.
6. Гашение кокса очищенной сточной водой.
7. Оптимизация режима отопления коксовых батарей.
8. Укрытие мест сортировки и погрузки кокса с подключением укрытий к аспирационным системам.
9. Установление каплеотбойников на башнях гашения кокса.

*Для цехов улавливания и переработки коксового газа:*

1. Установление гидравлических клапанов на воздушках емкостей и хранилищ, или объединения их в коллекторную систему с передачей в газопровод прямого коксового газа.
2. Закрытие цикла конечного охлаждения коксового газа.
3. Аспирация выбросов со следующей очисткой при сушке и погрузке сульфата аммония.
4. Модернизация цехов сероочистки с целью увеличения степени улавливания сероводорода из коксового газа.

*Для установки биохимочистки сточных вод:*

1. Обеспечение 100 % передачи сточных вод на БХУ.
2. Строительство установок по нитро- и денитрификации.

2.2.2. Обязательные требования для технологического оборудования с целью уменьшения выбросов загрязняющих веществ для коксохимических предприятий

1. Бездымная загрузка угольной шихты с аспирацией газов загрузки в газосборник с помощью гидроинжекции или пароинжекции, что обеспечивает степень эффективности не меньше 90 %.

2. Герметизации крышек загрузочных люков путем их заливки раствором глины. Допускается газование не больше 10 %.

3. Уплотнение дверей коксовых батарей и регулярная очистка мест уплотнения. Допускается газование дверей не больше 10 % от их общего количества в батарее.

4. Уплотнение крышек стояков с применением водяного затвора. Допускается газование не больше 10 %.

5. Наличие установки для аспирации и улавливания пыли при выдаче кокса (УБВК).

6. Гашение кокса очищенной сточной водой в башнях гашения конфузorno-дифузornoго типа или установление в обычных башнях каплеотбойников. Содержание фенолов в воде на гашение не больше 5 мг/л.

7. Ограничено содержание сероводорода в обратном коксовом газе не больше 1 г/м<sup>3</sup> с 2010 г., или использования сырьевой угольной базы с низким содержанием серы.

8. Установка клапанов на емкостях и хранилищах или установка коллекторной системы сбора выбросов из воздушных со следующей подачей их в газопровод коксового газа или на очистку. Эти мероприятия обеспечивают снижение выбросов загрязняющих веществ на 90 %.

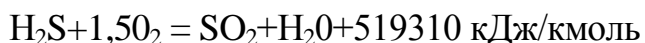
### 2.3 Переработка сероводородных газов в серную кислоту методом мокрого катализа

При абсорбционно-десорбционных методах очистки газов от сероводорода в результате регенерации поглотительных растворов получают сероводородные газы, содержащие 40-90% (об.) сероводорода который еще не является товарным продуктом. На основе этих газов можно получить сульфиды аммония, натрия, бария и другие продукты, однако основное количество их перерабатывается в серу процессом Клауса или жидкостными окислительными процессами в серную кислоту методом мокрого катализа. Сущность этого метода заключается в окислении сероводорода до диоксида серы и воды путем сжигания в печах при температуре 1100-1300°C с последующими окислением сернистого ангидрида в серный на катализаторе при 450-600°C и конденсацией серной кислоты при охлаждении контактных газов до 60-80°C. Этот метод отличается от каталитического окисления сернистого газа, получаемого сжиганием серы или серного колчедана, только наличием паров воды в реакционных газах. В обоих случаях процесс осуществляется на катализаторах одинакового состава и по одной и той же реакции, однако пары воды оказывают значительное влияние на равновесие и скорость процесса как инертный газ. Повышенное содержание водяных паров в газах усложняет процесс также из-за опасности конденсации серной кислоты на катализаторе и стенках аппаратов и повышенного уноса ее из конденсатора в виде тумана.

Процесс получения серной кислоты из сероводородного газа по методу мокрого катализа протекает в три стадии:

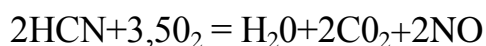
- сжигание сероводорода в печах;
- контактное окисление сернистого ангидрида в серный;
- конденсация серной кислоты при охлаждении контактных газов.

Первая стадия заключается в окислении сероводорода кислородом воздуха по реакции

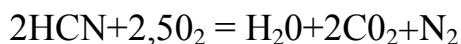


На первых установках мокрого катализа сжигание сероводорода проводилось со значительным избытком воздуха, при котором продукты горения содержат 6-7%  $\text{SO}_2$ , и 9-11 %  $\text{O}_2$ . Такой состав газов является оптимальным для протекания реакции окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  в контактном аппарате. При таком избытке воздуха температура газов в печи составляет 850-950°C. Так как для эффективной работы контактных аппаратов требуется температура поступающих газов 440-450°C, то после выхода из печи они охлаждаются в котле-утилизаторе.

Недостатком такого режима сжигания сероводорода при большом избытке воздуха является образование оксидов азота в результате окисления цианистого водорода по реакции:



В контактном аппарате оксид азота окисляется до диоксида, который растворяется в получаемой серной кислоте и резко повышает ее коррозионную активность. Во избежание этого сжигание сероводородного газа необходимо проводить в условиях, при которых цианистый водород окисляется до азота по реакции



Исследования, проведенные на Макеевском коксохимическом заводе, показали, что количество образующихся в печи оксидов азота уменьшается при снижении избытка воздуха и одновременном повышении температуры горения. При температуре в зоне горения 1650 °С, соответствующей стехиометрическому расходу воздуха, содержание оксидов азота в серной кислоте не превышает 5-10<sup>-5</sup> %. Практически полное отсутствие оксидов азота в серной кислоте достигается уже при температуре в печи 1200-1250 °С, соответствующей термостойкости огнеупорных материалов, применяемых для футеровки печи.

Для снижения температуры газа в зоне горения при теоретическом расходе воздуха предложено разместить в печи трубы радиационного экрана, по которым циркулирует горячая вода под давлением, с такой поверхностью, чтобы на выходе из печи температура газов поддерживалась на уровне 780-800 °С.

Отклонение соотношения между расходами воздуха и сероводородного газа от стехиометрического в любую сторону ведет к увеличению количества цианистого водорода, окисляемого до NO: при избытке воздуха образование NO происходит в печи, а при заметном недостатке не окисленная часть

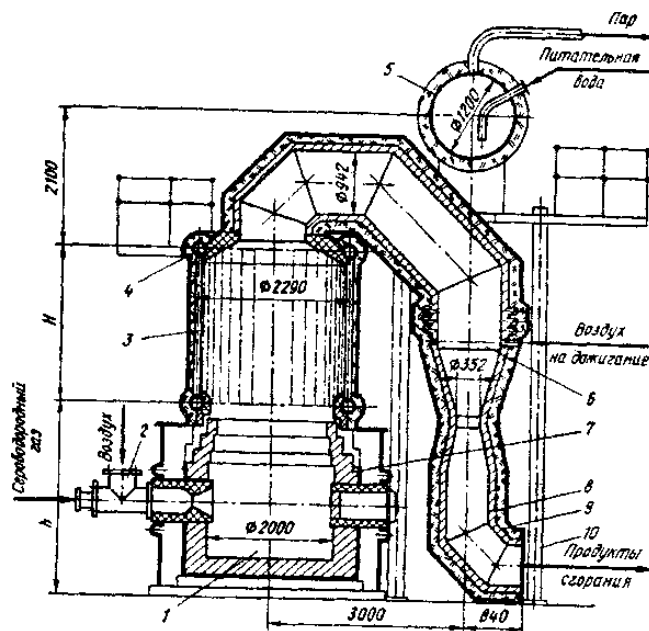


цианистого водорода поступает из печи в смеситель, где окисляется при более низкой температуре и большом избытке воздуха в NO.

В настоящее время на всех установках мокрого катализа процесс сжигания сероводородных газов ведут при небольшом недостатке воздуха (97-99% от стехиометрического расхода). Несгоревшая часть сероводорода и образовавшаяся сера (около 2% от ее содержания в исходном газе) поступают с газами из печи в специальную камеру дожигания, где окисляется до SO<sub>2</sub> за счет подаваемого в камеру небольшого количества воздуха, вследствие чего температура газов несколько повышается. Такой режим окисления сероводородного газа в печи и камере дожигания позволяет осуществлять контроль и автоматическое регулирование расхода воздуха в печи при незначительных колебаниях расхода или состава сероводородного газа.

Печь-котел является технологическим аппаратом, обеспечивающим заданный режим сжигания горючих компонентов сероводородного газа при минимальном количестве образующихся оксидов азота. Наряду с этим он выполняет также функцию утилизатора значительной части теплоты горения сероводородного газа для получения пара.

В конструкции энерготехнологических котлов типа ПКС, разработанной ПКБ «Укрэнергочермет» и Белгородским заводом энергетического машиностроения учтен опыт эксплуатации печей-котлов в коксохимической промышленности. Общий вид печи-котла ПКС приведен на рис. 2.2. Радиационный экран выполнен из труб диаметром 38 мм, соединенных с нижним и верхним коллекторами. Обмуровка камеры горения выполнена из шамотного кирпича, а камеры дожига из шамотобетона или шамотного кирпича. Высота камеры горения в печи-котле ПКС 4/14 равна 4800 мм, а в печи-котле ПКС 1,6/7 - 3000 мм. Высота испарительного блока (экрана) равна 6000 и 2400 мм соответственно.

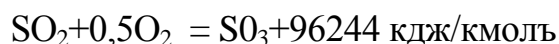


1 - камера горения; 2 - горелка; 3 - экран трубчатый; 4 - коллекторы; 5 - барабан; 6 - камера дожигания; 7 - обмуровка камеры горения; 8 - обмуровка камеры дожигания; 9 - тепловая изоляция; 10 - каркас.

Рисунок 2.2 – Печь - котел

Недостатком печей-котлов ПКС и других типов, применяемых на коксохимических заводах, является невозможность поддержания заданной температуры газов на выходе (750-800°C) при значительных колебаниях расхода и состава сероводородного газа без изменения поверхности радиационного экрана.

Окисление сернистого ангидрида в серный (вторая стадия) протекает на поверхности катализатора по реакции



Эта реакция протекает с выделением тепла и уменьшением объема газов, поэтому равновесие ее смещается вправо при повышении давления и понижении температуры. Зависимость равновесной степени окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  для газовой смеси, содержащей 7%  $\text{SO}_2$ , 11%  $\text{O}_2$ , и 82%  $\text{N}_2$  при атмосферном давлении характеризуется следующими данными:

Температура, °С	400	450	500	550	600	650
Степень превращения, %	99,2	97,5	93,5	85,6	73,7	58,5

Применение повышенного давления значительно расширяет в сторону высоких температур интервал, в котором может быть достигнута высокая степень превращения.

Как видно из этих данных, степень превращения более 99% может быть достигнута лишь при температурах менее 400 °С. Однако при этом скорость реакции недостаточна даже в присутствии различных катализаторов, поэтому в промышленных реакторах процесс проводят при постепенном снижении температуры реакционной смеси от 600 до 440°C по мере превращения  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$ . Это достигается либо путем непрерывного отвода тепла реакции (в трубчатых контактных аппаратах) с помощью различных теплоносителей, либо путем ступенчатого охлаждения газов в теплообменниках между отдельными слоями катализатора (в полочных аппаратах), либо разбавлением контактных газов между слоями катализатора холодным воздухом.

В качестве катализаторов окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  на коксохимических заводах применяют бариево-алюминиево-ванадиевую контактную массу (БАВ) или сульфо-ванадиевую массу на диатомите (СВД). Состав катализатора БАВ соответствует формуле:  $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot 12\text{SiO}_2 \cdot 0,5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{BaO} \cdot 2\text{KCl}$ .

Катализатор БАВ изготавливают в виде гранул размером 5-6 мм и в виде кольцеобразных таблеток высотой 12-15 мм, диаметром кольца 10x3 мм. Он обладает высокой активностью - температура зажигания 423-425°C. Недостатком катализатора БАВ является невысокая термостойкость: при температуре 630°C он спекается и теряет активность. Насыпная масса катализатора до насыщения 500-550 кг/м<sup>3</sup>, а после насыщения реакционным газом 600-700 кг/м<sup>3</sup>. Удельная поверхность до насыщения 30 м<sup>2</sup>/г; а после насыщения 8 м<sup>2</sup>/г.

Катализатор СВД имеет состав, %: 6—7  $V_2O_5$ ; 9—10  $K_2O$ ; 56—62  $SiO_2$ ; 2—3  $CaO$  не более 5( $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ); 18—19 % — сульфаты (в пересчете на  $SO_3$ ). Активность его несколько ниже, чем катализатора БАВ (температура зажигания  $440^\circ C$ ), а термостойкость больше (допускается перегрев его до  $630^\circ C$  без потери активности). Насыпная масса катализатора СВД составляет  $670 \text{ кг/м}^3$ . Количество этого катализатора, загружаемого в аппарат, на 15% больше, чем катализатора БАВ.

Активным комплексом в ванадиевых катализаторах является соединение оксида ванадия с оксидом калия  $V_2O_5-3K_2O$ , которое при температуре выше  $380^\circ C$  находится в виде расплава на поверхности пористого носителя. Растворенные в расплаве сернистый ангидрид и кислород вступают во взаимодействие с оксидом ванадия, в результате которого образуется серный ангидрид. Водяные пары не оказывают вредного действия на ванадиевые катализаторы при температуре выше температуры конденсации серной кислоты. Однако при низких температурах вследствие конденсации серной кислоты, образующейся в присутствии водяных паров, ванадиевые катализаторы теряют каталитическую активность и механическую прочность. Находившиеся в работе катализаторы содержат значительное количество серного ангидрида и при соприкосновении с влажным воздухом быстро разрушаются по указанной выше причине. Поэтому перед длительными остановками контактные аппараты необходимо продувать горячим воздухом для удаления поглощенного серного ангидрида, а во время остановки не допускать проникновения в них наружного воздуха. Диоксид углерода не снижает каталитической активности ванадиевых катализаторов даже при значительном содержании в газовой смеси. Углеводороды при малых концентрациях также безвредны.

Наиболее вредным загрязнением для ванадиевых катализаторов является сульфат железа. В производственных условиях часто наблюдается образование твердой корки на поверхности первого слоя контактной массы, которая состоит из отдельных гранул катализатора, склеенных розоватым веществом - смесью сульфата железа и оксида ванадия. Спекание катализатора обусловлено конденсацией серной кислоты при временных охлаждениях контактного аппарата, которая вызывает коррозию стенок аппарата с образованием сульфата железа и выщелачивание оксида ванадия из катализатора. При последующем повышении температуры избыток серной кислоты улетучивается, а твердый остаток склеивает отдельные зерна катализатора, образуя твердую корку.

Почти исключительное применение на коксохимических заводах получили контактные аппараты с несколькими слоями катализатора, размещенными на отдельных полках. Они различаются количеством слоев катализатора (трех-, четырех- и пятислойные) и способом снижения температуры газов между слоями (путем разбавления газов холодным воздухом или при помощи встроенных и выносных теплообменников).

Оптимальными считают контактные аппараты с четырьмя слоями катализатора. Как показывает практика, при загрузке в них свежей контактной массы обеспечивается почти равновесный выход  $SO_3$  около 98%. Пятый слой

можно рассматривать как контрольный, который вступает в действие при снижении активности предыдущих слоев.

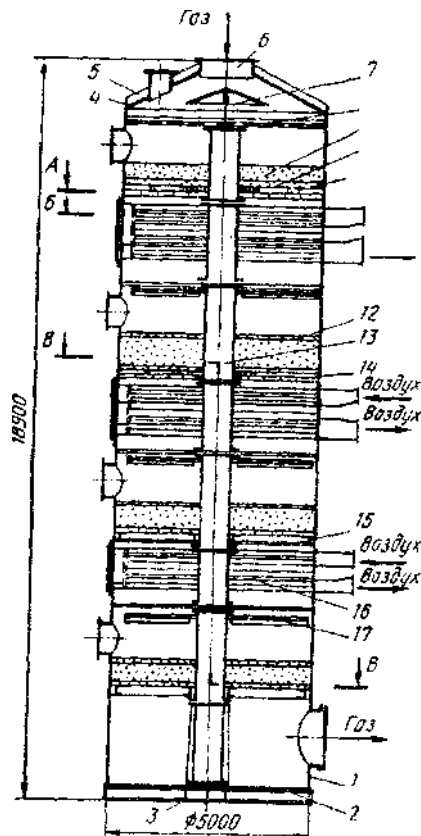
На рис. 2.3 представлен контактный аппарат конструкции Гипрококса. Он состоит из цилиндрического стального корпуса 1, днища 2, конической крышки 4 и центральной чугунной колонны 13 со смонтированными на ней опорными решетками для катализатора и распределительными устройствами для газов.

Каждый слой контактной массы насыпан по подслою кварцевой щебенки размером 12-15 мм высотой 50 мм на сетке 11 из коррозионностойкой стали. Поверх каждого слоя катализатора (за исключением первого) насыпан защитный слой высотой 50 мм с крупного кварца размером 25-40 мм.

Опорные конструкции под два первых слоя катализатора представляют собой систему съемных колосниковых решеток 14, уложенных на радиально расположенные балки, а под два последних слоя - систему секторных решеток 15, сваренных из полосовой стали и окантованных швеллерами.

Для отвода тепла в пространстве между слоями катализатора установлены теплообменные элементы 16, представляющие пучок горизонтальных труб диаметром 76x4 мм, развальцованных в трубных решетках. Под каждым теплообменником установлены две распределительные решетки 17 на расстоянии 150 мм одна от другой. Нижняя решетка представляет собой перегородку с отверстиями диаметром 450 мм, расположенными в шахматном порядке с шагом 75 мм, а в верхней вварены по окружности 12 тангенциально направленных патрубков.

Снаружи контактный аппарат покрыт слоем теплоизоляционного материала, рассчитанного на поддержание температуры стенки на уровне не ниже 280°C для предупреждения конденсации серной кислоты и вызываемой ею коррозии.



1 - корпус; 2 - днище; 3 - балки опорные; 4 - крышка; 5 - ребра жесткости; 6 - вход газов; 7 - конус распределительный; 8 - решетка распределительная; 9 - масса контактная; 10 - щебенка кварцевая; 11 - сетка; 12 - защитный слой кварца; 13 - колонна чугунная; 14 - решетки колосниковые; 15 - решетки из полосовой стали; 16 - теплообменники с плавающей золовкой; 17 - решетки распределительные.

Рисунок 2.3 - Контактный аппарат:

После каждого слоя контактной массы газы охлаждаются в межтрубном пространстве теплообменников 16, в трубы которых подается воздух. Недостатком контактного аппарата Гипрококса является сложность конструкции и большая металлоемкость из-за наличия центральной опорной колонны.

Процесс совместной конденсации серного ангидрида и паров воды представляет наибольшие трудности при освоении технологии получения серной кислоты методом мокрого катализа.

В обычных контактных системах образовавшийся серный ангидрид поглощается олеумом или моногидратом (98,3%  $H_2SO_4$ ). Перед абсорбцией контактные газы охлаждаются в теплообменниках. Однако при наличии в газах паров воды охлаждение обычным способом приводит к образованию сернокислотного тумана, плохо улавливаемого в абсорбционной аппаратуре. Поэтому процесс охлаждения контактных газов проводят таким образом, чтобы концентрированная серная кислота конденсировалась, минуя стадию образования сернокислотного тумана.

В интервале температур от 338 до 280-270°C происходит образование молекулярных агрегатов серной кислоты (зона агломерации), и чем медленнее и равномернее происходит снижение температуры, тем меньше образуется центров конденсации, тем больше их размеры и тем легче они образуют жидкую фазу. Поэтому температура газов на входе в зону агломерации должна быть выше точки росы (338°C), а время пребывания их в интервале температур 330-290°C должно быть достаточным для полного завершения образования серной кислоты и начала ее осаждения.

Интервал температур от 280-275 до 225-200°C соответствует процессу конденсации серной кислоты. Время пребывания газов в конденсаторе определяется скоростью седиментации молекулярных агрегатов серной кислоты, которая может быть принята равной 0,03 мм/с.

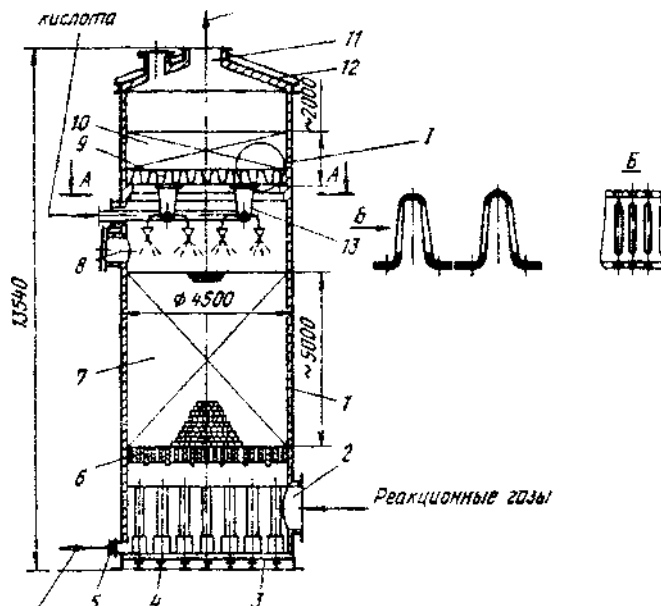
В соответствии с теорией процесса совместной конденсации серного ангидрида с парами воды образование тумана серной кислоты происходит в результате конденсации пересыщенных паров в объеме газовой смеси, что имеет место при степени пересыщения паров, превышающих некоторое критическое значение.

Степень пересыщения паров серной кислоты зависит в значительной мере от способа охлаждения газов, то есть от типа применяемых конденсаторов.

Наибольшее распространение на коксохимических заводах получили конденсаторы башенного типа (рис. 2.4), представляющие собой вертикальную цилиндрическую башню с плоским дном и конической крышкой, футерованную кислотоупорным кирпичом на диабазовой замазке. Аппарат заполнен керамическими кольцами различных размеров от 60 до 150 мм, образующими два слоя насадки рабочий высотой более 5 м и осушающий высотой около 2 м. В рабочей насадке кольца уложены рядами с постепенным уменьшением размеров снизу вверх. Опорой рабочей насадки служит решетка из андезитовых камней. В осушающей насадке кольца насыпаются навалом на перфорированную опорную плиту волнообразного профиля. Оросительное устройство состоит из кольцевого коллектора, на котором смонтированы струйно-вихревые форсунки.

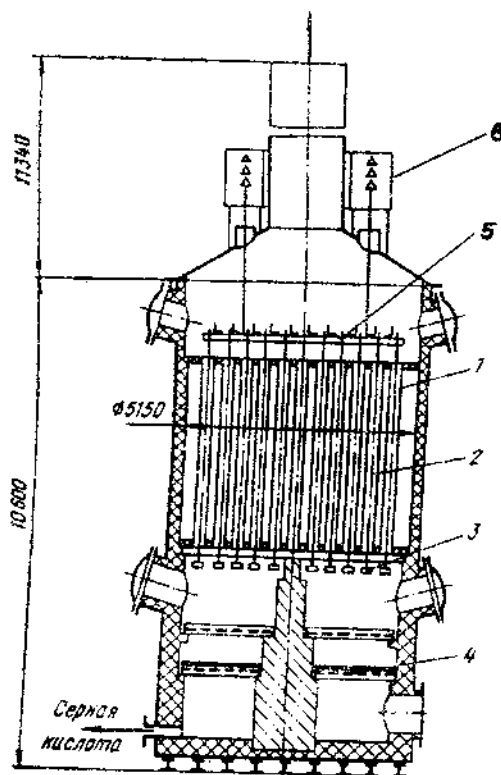
Скорость газа в свободном сечении аппарата, приведенная к нормальным условиям, принимается равной 0,3 м/с. Поверхность рабочей насадки составляет 7300 м<sup>2</sup>, а осушающей-2100 м<sup>2</sup>.

По практическим данным количество кислоты, уносимой газами из конденсационной башни, составляет 30-35% от ее выработки. Для ее улавливания устанавливаются электрофилтры, устройство которых показано на рис. 2.5. Активный элемент электрофилтра состоит из анода - осадительной трубы диаметром 250 мм и катода-провода диаметром 2,8-3,0 мм, к которым подведен постоянный ток напряжением 45-50 кВ.



1 - корпус; 2 - вход газов; 3 - днище; 4 - балки опорные; 5 - выход кислоты; 6 - решетка из андезитовых камней; 7 - насадка рабочая; 8 - лаз; 9 - плита перфорированная; 10 - насадка осушающая; 11 - выход газов; 12 - крышка; 13 - подвески чугунные; 14 - коллектор; 15 - отводы; 16 - форсунки.

Рисунок 2.4 - Насадочный конденсатор серной кислоты



1- трубы осадительные; 2 - катоды из проволоки; 3 — грузы; 4 - решетки газораспределительные; 5 - рама подвесная; 6 - коробки изоляторные.

Рисунок 2.5 - Электрофильтр для улавливания тумана серной кислоты

### 2.3.1 Основные направления совершенствования процесса мокрого катализа

Рассмотренная технология переработки сероводородного газа в серную кислоту методом мокрого катализа имеет ряд недостатков:

- значительные выбросы в атмосферу с хвостовыми газами сернистого ангидрида из-за недостаточной степени конверсии (около 98%) и туманообразной кислоты при нарушении работы электрофильтров;
- низкая степень утилизации вторичного тепла, так как тепло химических реакций, выделяющееся в контактном аппарате и в коллекторе, отводится в атмосферу с охлаждающим воздухом.

В связи с этим совершенствование установок мокрого катализа на коксохимических заводах является актуальной задачей.

Эффективными методами повышения степени конверсии  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  являются двойной катализ и окисление  $\text{SO}_2$  под давлением. Особенностью этой схемы является то, что после трех слоев контактной массы проводят абсорбцию  $\text{SO}_3$  в абсорбере первой ступени и после брызгоотбойников и теплообменников подогретый газ пропускают еще раз через один слой контактной массы и повторно абсорбируют образовавшийся серный ангидрид во втором абсорбере.

Применение схемы двойного катализа с двойной абсорбцией (ДКДА) позволяет довести степень конверсии  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  до 99,6% и получать серную кислоту концентрацией около 96%. Недостатками этой схемы являются интенсивная коррозия промывателя газов, десорбера и циркуляционной воздуходувки, образование кислых сточных вод, необходимость применения электрофильтров для устранения выбросов тумана серной кислоты, а также увеличение капитальных затрат (до 40-45%).

Разработанная технологическая схема датской фирмы «Халдор Топсое». переработки сероводородных газов в концентрированную серную кислоту (рис. 2.6) обеспечивает высокую степень окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  и практически полную утилизацию тепла химических реакций для производства пара.

Для окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  в этой установке применяется вертикальный трубчатый аппарат, трубы которого заполнены фирменным катализатором на основе  $\text{V}_2\text{O}_5$ . В межтрубном пространстве циркулирует расплав соли, с помощью которого выделяющееся тепло химической реакции отводится в парогенератор. Соль представляет собой эвтектическую смесь  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{NaNO}_2$ , обладающую хорошими теплотехническими свойствами и высокой текучестью. Выходящий из реактора газ имеет относительно низкую температуру (около  $420^\circ\text{C}$ ), что гарантирует высокую степень конверсии  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  (до 99%).

Конденсация серной кислоты производится в трубчатом аппарате с вертикально ниспадающей пленкой. Трубы конденсатора, выполненные из специального кислото- и термостойкого стекла, охлаждаются наружным воздухом, температура которого на выходе повышается до  $200-220^\circ\text{C}$ , и он может быть использован для сжигания сероводорода в печи-котле или сброшен в



атмосферу. Серная кислота, конденсирующаяся на внутренней поверхности труб, стекает в нижнюю часть конденсатора, откуда отводится в смеси с холодной кислотой через холодильник на склад. Получаемая кислота прозрачна и имеет концентрацию около 98%.

Особенность конденсатора фирмы Топсое заключается в том, что при охлаждении в нем паров серной кислоты не образуется туман, и поэтому отпадает необходимость установки после него электрофилтра. Хвостовые газы выходят из конденсатора при температуре около 100°C и поступают непосредственно в дымовую трубу.

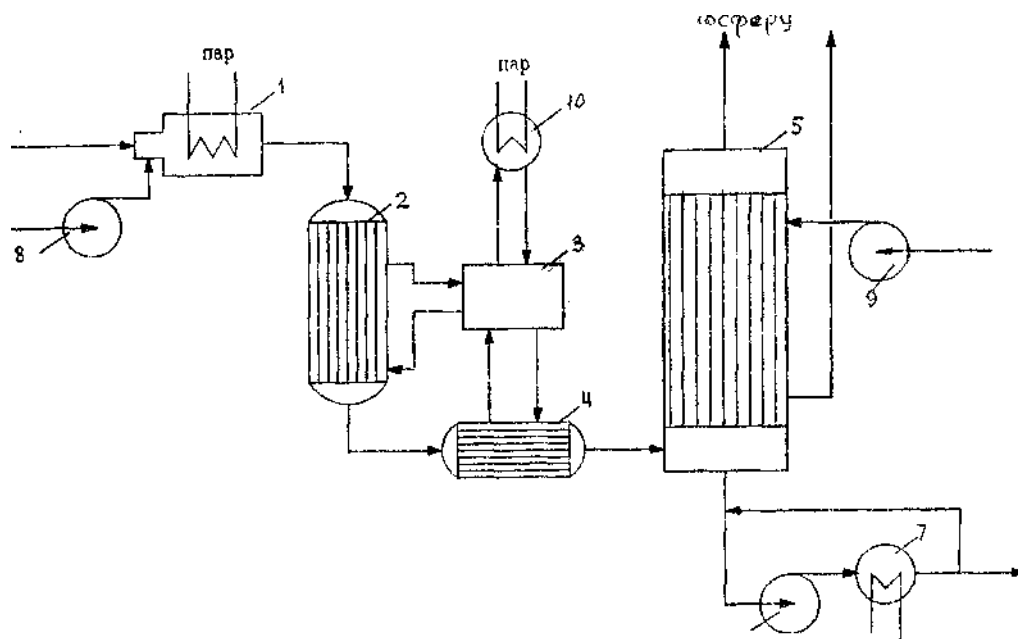
Для снижения тепловой нагрузки на конденсатор и повышения его эффективности поступающие из контактного аппарата газы предварительно охлаждаются до 300°C, то есть до температуры, несколько превышающей точку росы серной кислоты, в трубчатом холодильнике. Выделяющееся в результате образования парообразной кислоты тепло отводится солевым расплавом в парогенератор.

Для переработки бедных сероводородных газов (менее 25%  $H_2S$ ) фирмой Топсое предложена схема, отличающаяся от рассмотренной выше отсутствием печи-котла для сжигания сероводорода. Исходный бедный сероводородный газ (например, получаемый с помощью этаноламиновых абсорбентов) смешивается с горячим воздухом и поступает в контактный аппарат, охлаждаемый солевым расплавом. Верхняя часть реактора заполнена катализатором СК, ускоряющим реакцию окисления  $H_2S$  в  $SO_2$ , а нижняя часть - ванадиевым катализатором, ускоряющим образование  $SO_3$ .

Все ныне действующие установки сероочистки газов процессом Топсое превзошли проектные показатели работы. Благодаря использованию солевого расплава, обладающего большой тепловой емкостью, установки не чувствительны к изменениям нагрузки по сероводороду, то есть при уменьшении количества генерируемого тепла температура в реакторе не снижается ниже точки росы серной кислоты. Соль является некоррозионно-активной и поэтому для изготовления оборудования и трубопроводов в установках Топсое используют углеродистую сталь или сплав на основе молибдена.

За исключением охлаждающей воды и стоков котла-утилизатора в процессе Топсое не образуется жидких или твердых отходов.

Важным преимуществом процесса Топсое является то, что концентрация получаемой кислоты превышает 97,5% независимо от первоначального содержания влаги в сероводородном газе.



1 - котел-утилизатор; 2 - реактор  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$ ; 3 - система циркуляции солевого расплава; 4 - газовый холодильник; 5 - конденсатор; 6 - кислотный насос; 7 - кислотный холодильник; 8 - воздуходувка подачи воздуха для окисления  $\text{H}_2\text{S}$ ; 9 - воздуходувка холодного воздуха; 10 - парогенератор.

Рисунок 2.6 - Схема установки мокрого катализа "Халдор Топсое":

### 3 ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ И ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

#### 3.1 Виды изделий

К строительной керамике относятся керамические материалы и изделия, применяемые в строительстве зданий, канализационных и дренажных сетей, дорог и других сооружений. Эту керамику обычно классифицируют по характеру ее применения на стеновую (кирпич – обыкновенный глиняный, глиняный пустотелый, легковесный строительный и др., керамические камни и панели из них), кровельную (черепица), канализационные и дренажные трубы, заполнители для бетонов (керамзит, перлит, аглопорит). К строительной керамике относятся также облицовочные и декоративные изделия: лицевой, облицовочный и профильный кирпич и камни, плиты фасадные и лицевые, скульптуры, рельефы, архитектурные детали. По признаку применения к строительной керамике часто относят санитарно-технические изделия из фаянса и фарфора (умывальные столы, ванны, унитазы), а также фаянсовые облицовочные плитки различных типов и составов, каменно-керамические изделия (клинкерный кирпич, плитки для полов), кислотоупорные керамические изделия (кирпичи и плитки для футеровки реакционных аппаратов, котлов, хранилищ и др., насосы, вентиляторы, реакторы, мешалки, краны, сосуды, насадочные изделия).

К тонкой керамике относятся плотные спекшиеся или мелкопористые изделия с однородной структурой и, как правило, покрытые тонким стеклообразным слоем – глазурью. Это широко применяемые в быту и в

разных областях промышленности и техники, а также при изготовлении приборов и аппаратов изделия из фарфора, полуфарфора, фаянса, майолики (в том числе фаянсовая хозяйственная посуда, санитарно-технические и декоративные фаянсовые изделия, фаянсовые облицовочные плитки, фарфор хозяйственный и художественный, электротехнический фарфор, мягкий фарфор).

Техническая керамика объединяет большое количество самых разнообразных материалов и изделий, отличающихся особыми специфическими свойствами. Это, как правило, изделия, созданные на основе искусственных химически чистых материалов (корундовые, магнезиальные, титановые, циркониевые, ферриты, карбиды, нитриды и др.).

Огнеупорными называют материалы, применяемые для выкладки различных промышленных печей, топков, аппаратов, работающих в условиях высокотемпературного нагрева. К огнеупорным материалам и изделиям относятся: динасы, алюмосиликатные изделия (в т.ч. шамотные, полукислые, высокоглиноземистые), магнезиальные (периклазовые, форстеритовые, периклазохромитовые, доломитовые), углеродсодержащие, огнеупоры на основе чистых оксидов (алюминия, магния, кальция, бериллия, церия, циркония, тория, урана и др.). Огнеупоры выпускают в виде изделий и порошков.

### 3.2 Сырьевые материалы

В производстве керамических изделий используются различные сырьевые материалы, которые можно разделить на три основные группы: пластические материалы, отошающие материалы и плавни. В отдельную группу можно выделить добавки: минерализаторы, клеящие вещества, модифицирующие и др.

К пластичным материалам относятся глины и каолины – породы осадочного происхождения, образующие с водой пластичное тесто, сохраняющее при высыхании приданную ему форму, приобретающее после обжига твердость камня. Пластическую основу глин составляют такие минералы, как каолинит, монтмориллонит, монотермит и др., представляющие собой гидроалюмосиликаты.

В качестве отошающих материалов используются, главным образом, кварцевый песок, шамот и шлаки, бой и брак изделий. Их роль заключается в следующем. Значительная усадка пластичных материалов в сушке и обжиге приводит к большим деформациям изделий. Чтобы уменьшить усадку при тепловой обработке, в пластичную глиняную массу вводят отошители, обладающие небольшой усадкой и способные взаимодействовать с глиной.

Когда необходимо снизить температуру спекания и огнеупорность керамической массы, в нее вводят плавни, которые в смеси с глинистым веществом образуют легкоплавкие соединения, увеличивающие плотность, прочность обожженных изделий и снижающие пористость, термостойкость и деформацию под нагрузкой при высокой температуре. Особенно широко

плавни используются в фарфоро-фаянсовом производстве. В качестве плавней используют полевые шпаты и пегматиты.

В качестве сырья для производства массовых огнеупоров используются огнеупорные глины, каолины, кварциты, магнезиты, хромиты, доломиты, форстериты, технический глинозем, карбид кремния и др.

### 3.3 Подготовка сырья

#### 3.3.1 Подготовка пластичных материалов

Глину перерабатывают, разрушая природную структуру, доводят до требуемой влажности, усредняют. Вначале глину дробят на куски размером 40-50 мм на глиностругальных машинах (стругачах). Сушку осуществляют в сушильном барабане, в котором глина и сушильный агент движутся в одном направлении. Барабан представляет собой металлический цилиндр диаметром от 1,0 до 2,2 м и длиной от 4 до 14 м, расположенный с наклоном до 6°, вращающийся со скоростью 4-6 об/мин. Продолжительность пребывания материала – 20-30 минут. Сушильный агент - топочные газы, иногда – горячий воздух, его температура на входе в барабан 600-800 °С, на выходе 120 °С. Температура материала в начале и середине сушки – до 110 °С, на выходе из барабана – 40-45 °С. Остаточная влажность глины после сушки составляет в среднем 8 %.

#### 3.3.2 Подготовка отошающих материалов и плавней

Естественные отошители и плавни содержат иногда значительное количество примесей и включений. Чтобы обеспечить лучшую сортировку с последующей переработкой материалов, их предварительно обжигают, а затем резко охлаждают. Материал становится хрупким и легко рассыпается, создавая условия для сортировки и помола. К искусственным отошителям относится шамот, получаемый обжигом глины. Для обжига используют вращающиеся или шахтные печи. Глину обжигают в виде кусков или брикетов при температуре 1300-1400 °С. Обжиг глины во вращающихся печах позволяет получить более качественный, равномерно обожженный шамот. Они имеют более высокую производительность. Существенным недостатком вращающихся печей является высокий пылеунос, достигающий 10-15 %.

#### 3.3.3 Измельчение сырьевых материалов

Исходное сырье, применяемое в производстве керамических и огнеупорных материалов, поступает на переработку в виде кусков разных размеров. В соответствии с требованиями технологических процессов исходное сырье подвергается механической обработке до получения необходимого гранулометрического состава. Дробление и помол осуществляют в машинах грубого и среднего дробления и тонкого помола.

Для грубого дробления материала применяют щековые и конусные дробилки. В щековых дробилках материал дробится периодическим

раздавливанием между подвижной и неподвижной массивными щеками. В конусных дробилках материал раздавливается между двумя усеченными конусами, из которых внутренний вращается эксцентрично по отношению к внешнему.

Для среднего дробления используют дробильные валки, бегуны и ударно-центробежные мельницы. Дробильные валки с гладкими катками применяют для измельчения твердых материалов, а зубчатые валки используют для дробления пластических материалов. В бегунах материал одновременно раздавливается и истирается между вращающимися катками и чашей. Вязкие и хрупкие материалы измельчают в ударно-центробежных (молотковых) и ударно-дисковых (дезинтеграторах) мельницах.

Тонкое измельчение ведут в шаровых, трубных центробежных (кольцевых) и вибрационных мельницах.

### 3.3.4 Рассев порошков и гранулометрический состав

Гранулометрический состав отощающих материалов влияет на физико-химические, механические и термические свойства керамических и огнеупорных изделий, особенно в случае, когда их изготавливают из непластичных масс. Измельченные материалы после дробления и помола подвергают рассеву. Рассев проводят на механических ситах, грохотах и в воздушных сепараторах.

Механические грохоты различают подвижные (плоские – качающиеся или вибрирующие), вращающиеся (барабанные и призматические) и неподвижные – плоские (наклонные). Рабочим элементом механических грохотов являются плоские, цилиндрические или конические сита с определенным размером ячеек или отверстий. Рассеиваемый материал благодаря наклону сит или их движению перемещается по ситам, разделяясь на фракции, прошедшие через сито (нижний продукт или просев), и фракции, не прошедшие через сито (верхний продукт – отсев).

Для разделения порошков применяют центробежно-воздушные, воздушно-проходные и вращающиеся сепараторы.

Полученные в результате помола и отсева порошки транспортными устройствами направляются в бункеры для накопления и хранения. Для предупреждения расфракционирования порошки разных фракций хранят в бункерах раздельно. Пластические материалы с влажностью выше 15 % практически хранить в бункерах нельзя из-за слеживаемости.

### 3.4 Приготовление керамических и огнеупорных масс

Способ приготовления массы определяется способом формования изделий. Существует три основных способа формования изделий (полусухое прессование из порошков с влажностью формуемой массы 4-11 %, пластическое формование из тестообразной массы с влажностью 16-25 %, отливка из шликера с влажностью литейной массы 25-40 %) и соответственно три способа подготовки массы, изложенных ниже.

### 3.4.1 Приготовление массы из сухих порошков

При этом способе приготовления массы перерабатываемые материалы находятся в сухом виде с влажностью не более 7-8 %. Для смешения порошков используются лопастные мешалки непрерывного действия с увлажнением и без увлажнения. В смесителях с увлажнением параллельно шнековым валам устанавливаются трубки с форсунками, обеспечивающими разбрызгивание воды или подачу пара. Смесительные бегуны имеют облегченные катки, сплошное дно из броневых плит, скребки и ножи-лемеха для разгрузки. При смешении в бегунах масса уплотняется, но вместе с тем происходит частичный домол материала. Мешалки бегункового типа снабжены легкими катками и системой скребков, обеспечивающих интенсивное перемешивание массы и ее движение от периферии к центру. В них масса хорошо уплотняется и пластифицируется, но измельчения при этом не происходит. Наиболее полно происходит смешение при совместном помоле пластичных и отошающих материалов.

### 3.4.2 Приготовление пластичных масс

Керамические и огнеупорные массы готовят по пластичному способу из сухих порошков или предварительным смешением с увлажнением в процессе переработки или из жидких суспензий с последующим смешением и обезвоживанием.

Для смешения используют двувальные смесители, в которых одновременно протекают процессы смешения и увлажнения материалов паром или водой, при этом глины набухают и хорошо смешиваются с отошителями. Далее масса подвергается перетиранию и дальнейшему смешению в бегунах мокрого помола или дырчатых вальцах. Для удаления воздуха из массы с целью улучшения ее качества (увеличения связности массы, плотности) возможно вакуумирование массы.

Если масса состоит из большого количества компонентов в тонкодисперсном состоянии и требуется их тщательная дозировка, масса готовится смешением суспензий с частичным обезвоживанием до пластичного состояния и последующей обработкой ее на массомялках до образования однородной структуры. Такой способ приготовления массы применяется в фарфоро-фаянсовом производстве.

Распускание глины в воде достигается интенсивным перемешиванием в горизонтальных рамных или вертикальных винтовых мешалках.

Тонкий домол отошающих материалов ведут в шаровых мельницах периодического действия. Для получения жидкой, свободно сливающейся суспензии за 2-3 часа до окончания помола в мельницу добавляют глину, каолин и, если требуется, электролиты.

Возможен совместный помол глинистых и отошающих материалов.

Глинистые суспензии и суспензии, полученные в результате мокрого помола отошающих материалов, самотеком поступают на смешение в винтовые мешалки. Перемешанную массу процеживают на вибрационных

ситах и подвергают электромагнитной сепарации (для очистки от крупных примесей и железа). Затем мембранными насосами подают на фильтр-пресс для частичного обезвоживания. В основном применяют рамные и автоматические фильтр-прессы. Возможно также использование вакуум-фильтров. Осадок, полученный при фильтрации, неоднороден по составу и влажности, поэтому его дополнительно перерабатывают в вакуумных винтовых комбайнах.

### 3.4.3 Приготовление шликерных масс

Шликерная масса применяется для отливки изделий в гипсовых формах в фарфоро-фаянсовом производстве. Приготовление шликерных масс аналогично приготовлению пластичных масс из суспензий с той разницей, что шликер не обезвоживают, а вакуумируют. Для удаления воздуха из керамических масс и шликеров их обрабатывают в специальных вакуумвинтовых прессах при перемешивании. Это позволяет получать массы, обладающие высокими пластичными свойствами, что повышает механическую прочность сырца, уменьшает пористость, снижает брак в производстве.

## 3.5 Формование изделий

### 3.5.1 Полусухое прессование

Используется преимущественно в производстве глиняного строительного кирпича, огнеупорных изделий, некоторых видов тонкой керамики (облицовочной плитки, электротехнического фарфора и др.). При прессовании глиняного кирпича влажность прессуемой порошкообразной массы составляет 8-12 %, огнеупорных изделий – 4-11 %, электротехнического установочного фарфора – 12-14 %. Режим прессования должен обеспечить наиболее полное удаление воздуха из массы и наилучшую упаковку зерен без их разрушения. Оптимальное давление прессования зависит от многих факторов и подбирается опытным путем. Большое значение имеет зерновой состав порошков. Для прессования изделий применяют прессы ударного типа, рычажные, фрикционные, гидравлические. Наибольшее распространение получили рычажные прессы, особенно для изделий простой формы. Фрикционные (винтовые) прессы применяют для прессовки и допрессовки мелких и крупных изделий. Гидравлические прессы используют для прессования изделий сложной формы.

### 3.5.2 Пластическое формование

Наиболее распространено в фарфоро-фаянсовом производстве, производстве строительной керамики, в огнеупорной промышленности. Изделия формируют из однородной по составу высокопластичной массы с влажностью от 16 до 25 %. Этот способ позволяет изготавливать изделия

крупных размеров сложной формы, с большой пустотелостью. Однако сырец при этом получается с высокой влажностью и низкой прочностью. Изделия формуют в гипсовых или металлических формах при помощи вращающихся металлических штемпелей или шаблонов, а также на шнековых или поршневых прессах выдавливанием через профильные мундштуки. Например, для формования полого изделия, имеющего форму тела вращения, в гипсовую форму одношпиндельного станка помещают предварительно хорошо промятую пластичную массу в виде кома и приводят ее во вращение. Шаблон медленно опускается и погружается во вращающуюся массу. Центробежной силой и давлением шаблона масса равномерно распределяется по внутренней поверхности формы, заполняя пространство между стенками формы и поверхностью, образованной вращением шаблона. Избыток массы выдавливается на край формы и срезается специальным ножом.

Для изготовления изделий строительной керамики (канализационных труб, черепицы, кирпича) и некоторых видов шамотных огнеупоров применяют главным образом горизонтальные (шнековые) ленточные прессы без вакуумирования и с вакуумированием массы. Эти прессы представляют собой устройства, состоящие из глиномялки и прессы. Вакуум-прессы имеют еще вакуум-камеру. Масса под усилием лопастей глиномялки подается вдоль прессы и продавливается через перфорированную решетку или конус в вакуум-камеру. На решетке или конусе масса срезается ножами и в виде глиняных прутиков или стружек свободно падает на приемные витки винтового прессы, где деаэрируется, а затем при помощи винтовых лопастей прессы, перемешиваясь и уплотняясь при движении, поступает в коническую головку, в которой в соответствии с профилем мундштука приобретает требуемую форму. Пустотелые цилиндрические тела больших размеров формуют на вертикальных прессах.

### 3.5.3 Шликерный способ формования (способ литья)

Используется главным образом в фарфоро-фаянсовой промышленности и в некоторых случаях – в огнеупорной, где требуется получение тонкостенных полых изделий сложной формы с толщиной стенки 5-10 мм. Шликер должен обладать определенными литейными свойствами: хорошей текучестью при минимальной влажности, низкой загустеваемостью и др. При формовании изделий по этому способу определенный объем шликера заливают в гипсовую форму. Гипс впитывает воду, частично его обезвоживая. На внутренней поверхности формы образуется слой твердой массы, который при дальнейшем обезвоживании уменьшается в объеме и свободно отделяется от формы. Отливку изделий ведут сливным и наливным способом. При сливном способе после образования требуемой толщины набранного слоя избыток шликера сливают. Этим способом обычно отливают скульптуры, чайники, кувшины и т.д. (тонкостенные полые изделия). При наливном способе полость между двумя гипсовыми формами, образующими форму изделия, заполняют шликером. Этот способ обычно используют для отливки массивных изделий. При отливке особо сложных изделий



применяют отливку из горячего парафинового шликера (8-15 % парафина) под давлением в стальных формах. При охлаждении парафин затвердевает, фиксируя форму изделия. Сырец извлекают из формы, а парафин выжигают в засыпке из корунда или другого порошка, не спекающегося с изделием.

### 3.6 Сушка изделий

Сформованный керамический полуфабрикат содержит влагу в количестве, которое не позволяет совместить ее удаление и окончательный обжиг изделия в одной технологической операции. Процесс сушки позволяет: придать сырцу прочность, необходимую для «садки» его в обжигательную печь; завершить объемные изменения материала, связанные с удалением влаги («усадочные явления»); предотвратить возможные дефекты, возникающие из-за интенсивного удаления влаги при ее испарении в теле обжигаемого изделия.

Для сушки используют горячий воздух, отбираемый из зоны охлаждения печей, или дымовые газы, полученные от сжигания топлива в специальных топках и разбавленные воздухом до требуемой температуры. Процесс удаления влаги из керамических и огнеупорных материалов сопровождается усадкой, величина которой зависит от степени отошения массы, ее влажности, способа формования. Скорость и продолжительность сушки зависят от количества отошающих добавок, их дисперсности, способа переработки массы, способа формования, от пластичности глин, от формы изделий.

Для сушки керамических материалов используются также радиационные и электрические методы сушки (сушка ИК-лучами, токами высокой частоты и др.).

Сушильные устройства, применяемые для сушки сырца, по режиму работы делятся на сушила периодического действия и непрерывного. В периодических сушилах все действия, связанные с процессом сушки, повторяются периодически в определенные промежутки времени, а тепловой режим сушки меняется по заданной программе. В сушилах непрерывного действия устанавливаются стационарные условия сушки в каждой зоне, а высушиваемый сырец проходит через все зоны. Направление движения теплоносителя может быть противоточным или прямоточным.

К сушилам периодического действия относятся камерные сушилки, используемые для сушки кирпича, больших керамических и огнеупорных изделий сложной формы. К сушилам непрерывного действия относятся туннельные и конвейерные. Туннельные сушила являются наиболее совершенными устройствами и представляют собой туннель прямоугольного сечения длиной 30-37 м, высотой 1,7 м, шириной 1,1 м, вдоль которого расположен рельсовый путь. Туннели могут соединяться в блоки по 10-18 каналов. Блоки снабжены общими подводными и отводящими каналами. Вагонетки с сырцом движутся вдоль туннеля с заданной скоростью. Навстречу вагонеткам движется теплоноситель. Температура теплоносителя на выходе должна быть не ниже 40-50 °С, чтобы не происходила конденсация

влаги на поверхности сырца, поскольку теплоноситель здесь уже насыщен парами влаги. На другом конце сушилки контактирование уже высушенных изделий со свежим горячим теплоносителем практически не опасно. Возможно также использование сушилок с прямоточным движением сушильного агента и материала, но они менее распространены.

Конвейерные сушилки применяют главным образом для сушки тонкостенных изделий, когда сушка должна происходить в короткие сроки. Сушилка представляет собой две параллельно перемещающиеся бесконечные цепи с шарнирно подвешенными люльками, несущими изделия. Сушилка разделена перегородками на зоны. Преимуществом их является возможность полной механизации и автоматизации всех работ на данном технологическом переделе.

### 3.7 Обжиг изделий

Основные физико-механические свойства керамические и огнеупорные материалы приобретают в завершающей стадии технологического процесса – обжиге. Сырец, поступающий на обжиг, представляет собой полиминеральную и полидисперсную массу с определенной влажностью. При нагревании в ней происходят сложные процессы тепло- и массообмена, физико-химического превращения, испарения влаги, разложения и выгорания органических примесей, разрушения кристаллических решеток, кристаллизации, перекристаллизации и появления жидкой фазы, модификационных превращений, образования кристаллических сростков и т.д.

Температура и режим обжига зависят от качества применяемого сырья, от способа подготовки массы и ее состава, способа формования сырца, требований, предъявляемых к готовым изделиям. Скорость подъема температуры определяется процессами, протекающими в данном температурном интервале, размерами изделия, условиями обжига. Продолжительность обжига зависит также от типа печи, способа садки изделий. Несоблюдение режима обжига может вызвать деформацию изделий, посечки, растрескивание и др. Условно весь период обжига делят на подогрев сырца, обжиг, охлаждение. Важную роль при обжиге играет газовая среда.

Для обжига керамических и огнеупорных изделий применяют печи периодического и непрерывного действия. В периодических печах в каждый момент времени во всем рабочем пространстве проходит одна какая-нибудь операция процесса обжига (загрузка, нагрев и т.п.). В печах непрерывного действия в разных участках рабочего пространства проходят различные стадии обжига. В них перемещается или зона обжига, а материал неподвижен, или перемещается обжигаемый материал, а зона обжига неподвижна.

К печам периодического действия относятся камерные и муфельные печи. Они неэкономичны из-за периодичности теплового режима и не использования тепла отходящих газов. Для них характерна ручная загрузка и выгрузка изделий. Преимуществом является возможность создания

практически любого индивидуального режима обжига. Используются в основном для обжига сложных фасонных изделий, канализационных труб.

К печам непрерывного действия относятся многокамерные, кольцевые, туннельные печи. Многокамерные представляют собой замкнутый блок однокамерных печей периодического действия, соединенных системой подовых каналов в сплошное кольцо и позволяющих при помощи шиберных устройств переводить газовый поток из одной камеры в другую (в каждой камере процесс периодический, а в целом по печи непрерывный). Кольцевые печи представляют собой сплошной кольцевой обжиговой канал с полуциркульным сводом. В своде вделано большое количество топливных трубок для засыпки топлива и каналов для отвода воздуха. В стенах печи размещена сеть каналов для отвода дымовых газов и клапанная система регулирования газовых потоков. С наружной стороны печи имеются ходки для загрузки и выгрузки изделий, которые по окончании садки заделываются временными стенками. Туннельные печи представляют собой длинный канал прямоугольного сечения с рельсовыми путями и системой газоходов в стенах. Они относятся к наиболее совершенным обжиговым устройствам и широко распространены. Обжигаемая продукция на специальных печных вагонетках перемещается вдоль канала по рельсам, проходя последовательно все стадии обжига. Длина туннеля может быть от 60 м до 243 м (самая большая длина для обжига динаса). Печи работают по принципу противотока. В зону охлаждения в конец туннеля подается холодный воздух, который омывает обожженные изделия, нагревается сам и затем поступает в зону обжига. Продукты горения перемещаются из зоны обжига в зону подогрева навстречу движущимся вагонеткам с сырцом, отдавая им свое тепло. Во всех зонах предусмотрена система распределения воздуха и продуктов горения, что обеспечивает выравнивание температур по сечению канала. Для отопления печей используют мазут, газ, каменный уголь, но преимущественно газовое топливо, сжигаемое в специальных устройствах - горелках (камерных или инжекционных), расположенных с обеих сторон печи. Для туннельных печей характерно более высокое качество обжига, малая затрата рабочей силы, возможность автоматизации процесса. Недостатки: высокая стоимость постройки и оборудования, трудность изменения режима обжига. Применяются при массовом производстве однотипных изделий.

### 3.8 Глазурование и декорирование изделий

Многие изделия тонкой керамики покрывают специальной легкоплавкой суспензией (сырой глазурью), которая после обжига образует на их поверхности стекловидное покрытие толщиной 0,1-0,3 мм, называемое глазурью. Нанесение глазури повышает механическую прочность изделий, химическую стойкость, придает изделиям определенные технические и декоративные свойства.

Сырьем для глазурей служат кварц, полевой шпат, мрамор, доломит, соединения бора, свинца. Сплавление глазурей с красящими оксидами дает цветные глазури.

При нагревании глазурь размягчается, приобретает определенную вязкость и растекается ровным слоем по поверхности. Состав глазури должен быть таким, чтобы коэффициент термического расширения ее был равен коэффициенту расширения массы изделия, а температура плавления глазури должна равняться температуре обжига изделий. Глазурь с большим коэффициентом расширения подвержена деформации, склонна к образованию цека (тонкие трещинки на ее поверхности в виде паутинки). Глазурь с меньшим, чем у массы изделия, коэффициентом расширения при охлаждении склонна отскакивать от изделия.

Сырьевые материалы предварительно подвергают помолу по мокрому способу в шаровых мельницах. Подготовленную шихту сплавляют, фриттуют при 1200-1300 °С в специальных печах. Расплавленную фритту тонкой струей сливают в бассейн с холодной водой, где она гранулируется. Затем ее вместе с другими компонентами глазури тонко измельчают и доводят до требуемой плотности и вязкости. Глазури применяют в виде мелкодисперсной водной суспензии с плотностью 1,4-1,8 г/см<sup>3</sup>. Изделия, покрываемые глазурью, предварительно обжигают или тщательно высушивают. Поверхность изделия обдувают воздухом, очищая от пыли. Те части изделия, которые не должны покрываться глазурью, покрывают раствором парафина в керосине или после покрытия глазурью очищают от нее резиновым губчатым полотном.

Нанесение глазурного покрова на изделия осуществляют различными способами, наиболее распространены способы окунания, полива и пульверизации. При нанесении глазури способом окунания изделие погружают в глазурную суспензию. При этом влага впитывается стенками изделия, на поверхности изделия откладывается уплотненный слой влажной глазури. Нанесение глазури способом полива осуществляется на непрерывно движущемся конвейере для глазурования облицовочных фаянсовых плиток. Глазурь из специальной воронки вытекает тонкой, но широкой струей, обливая непрерывно движущиеся на конвейере изделия. При нанесении глазури пульверизацией глазурь сжатым воздухом при помощи специальных форсунок разбрызгивается до туманообразного состояния и направляется на поверхность глазуруемого изделия. При этом она оседает на изделии в виде мелких капель и отдает воду, образуя ровный, прочно удерживающийся слой. Для нанесения глазурей на изделия применяют глазуровальные машины различных конструкций. Разноцветные глазури наносят кистью, добавляя к глазури клеящие вещества (декстрин, глицерин и др.).

Керамические краски представляют собой оксиды металлов, которые в обжиге взаимодействуют с компонентами массы и глазури, образуя окрашенные соединения в виде силикатов, алюминатов и других тугоплавких соединений. Их наносят на изделия под глазурь или на глазурь. Надглазурные краски закрепляют дополнительным обжигом при 600-800 °С в специальных муфельных печах на этажерках. Подглазурные краски более стойки и обладают более красивыми оттенками.

Декорирование изделий – это их украшение, выполненное одноцветными или многоцветными красками, а также люстрами (глазуриями с металлическим отливом). Для декорирования применяют различные способы нанесения краски: украшение декалькоманией (нанесение рисунка, отпечатанного керамическими красками литографическим способом на бумаге), печатью (нанесение рисунка методом гравюры на медные валки или пластины, каналы которых заполняют краской, с последующим перенесением рисунка на папиросную бумагу, которую затем наклеивают на поверхность изделия и с помощью войлочного валика переносят рисунок с бумаги на изделие), пульверизацией (по трафарету, изготовленному из тонких листов бронзы, станиоли), штампом (рельефно вырезанным рисунком на резиновой пластинке, на который роликом наносится краска), ручной раскраской кистью.

### 3.9 Влияние производств керамических и огнеупорных изделий на атмосферный воздух

Производства строительных и огнеупорных материалов и изделий, как правило, представляют собой сложные технологические процессы, связанные с превращением сырья в разные состояния и с различными физико-механическими свойствами, а также с использованием разнообразной степени сложности технологического оборудования и вспомогательных механизмов. Во многих случаях эти процессы сопровождаются выделением больших количеств полидисперсной пыли, вредных газов и других загрязнений.

К технологическим процессам, связанным с повышенным выделением пыли и вредных газов, относятся погрузка, перегрузка и разгрузка сыпучих материалов, их сортировка, дробление, помол, рассев, транспортировка, смешивание, формование, обжиг. Например, при производстве керамики и глиняного кирпича наибольшее пылевыведение превышает ПДК: на складах глины – в 1,5...2,5 раза, песка – в 5...7 раз, в смесеприготовительном цехе – 12...15 раз, в отделении помола шамота – 30...32 раза, на участке погрузки и разгрузки – 2...3 раза. В цехах сушки и обжига выделяются: оксид углерода – до 1,5...2 и 3...4 ПДК соответственно, серный и сернистый ангидриды – 1,5 и 2...3 ПДК. Производство цемента, извести, доломита, инертных материалов сопровождается на отдельных участках пылевыведением, превышающим ПДК в 5...10 раз. Кроме описанных вредностей, производству керамических и огнеупорных материалов на отдельных участках свойственно повышенное выделение пара и теплоты.

Физико-химические и механические свойства пыли зависят от природы материала и технологического процесса, при котором она выделяется. Для пыли изверженных пород (гранит, диорит и др.) характерен средний диаметр частиц 20-30 мкм, площадь удельной поверхности 2500-4500 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>; пыль не слипается; имеет среднее удельное сопротивление 10<sup>5</sup>-10<sup>8</sup> Ом·м. То есть она наиболее эффективно может улавливаться электрофильтрами. Пыль осадочных пород (песка, глины, каолина, доломита, известняка и др.)

характеризуется широким диапазоном площади удельной поверхности – от 3000 до 5000  $\text{см}^2/\text{см}^3$ , средним диаметром частиц 14-40 мкм. Наиболее мелкодисперсной является пыль глины и каолина, образующаяся при помоле и сушке, в которой частицы размером до 10 мкм составляют по массе 32-53 %. Пыль осадочных пород хорошо смачивается, вяжущие свойства отсутствуют. Слипаемость зависит от влажности и колеблется в пределах  $(0,39-3,9) \cdot 10^2$  Па, за исключением песчаной, имеющей низкую слипаемость. Удельное электрическое сопротивление составляет  $4,7 \cdot 10^5 - 1,3 \cdot 10^8$  Ом·м. Для пыли метаморфических пород (гнейсы, кварциты, полевые шпаты, талькомагнезиты и др.) характерны средний размер частиц 20-30 мкм и площадь удельной поверхности – от 2500 до 4000  $\text{см}^2/\text{см}^3$ . По слипаемости она бывает слабослипающаяся или неслипающаяся. Среднее удельное электрическое сопротивление  $10^5 - 10^8$  Ом·м. Пыль керамических изделий (кирпича, керамзита, облицовочных изделий) содержит большое количество свободного диоксида кремния: при обжиге глиняного кирпича – более 7 %, при обжиге керамзита – до 32 %.

Устройства для улавливания пылей строительных и огнеупорных материалов по степени очистки делятся на аппараты грубой очистки и аппараты тонкого обеспыливания, а по способу пылеулавливания – на сухие и мокрые. Взвешенные частицы в сухих пылеуловителях, задерживаемые под действием внешних сил и при фильтрации, не меняют своих физических свойств и могут быть направлены для дальнейшего использования. Поэтому сухие пылеуловители применяют для отделения полезных видов пыли. В мокрых пылеуловителях взвешенные частицы выделяются из воздуха путем промывки его жидкостью. Смачиваясь, они оседают или прилипают к поверхности, изменяя при этом свои физические свойства. Несмотря на то, что мокрые пылеуловители более эффективны, на предприятиях строительных материалов они получили ограниченное применение. При их эксплуатации требуется большое количество воды, водопроводы, водоочистные устройства, круглосуточное отопление производственных помещений, то есть более дорогостоящее оборудование, необходимо больше обслуживающего персонала, в связи с чем возрастают эксплуатационные расходы. Поэтому большее распространение получили сухие пылеуловители.

Сухие пылеуловители грубой очистки делятся на пылеуловительные (пылеосадочные) камеры, циклоны, жалюзийные, инерционные и вихревые пылеуловители, центробежные вентиляторы-пылеуловители. К мокрым пылеуловителям грубой очистки относятся срубберы (полые, насадочные, центробежные), барботажные аппараты. К аппаратам тонкого обеспыливания по сухому способу относятся электрические и механические фильтры, которые соответственно делятся на коронно-разрядные (вертикальные однопольные, однозонные, двухзонные, горизонтальные многопольные), электростатические, волокнистые, пористые, зернистые. К аппаратам по мокрому способу улавливания пыли относятся волокнистые и масляные фильтры, пенные аппараты, ударно-инерционные, ротоклоны, скоростные

турбулентные скрубберы Вентури, ротационные пылеуловители-вентиляторы, коагуляционные центробежные пылеуловители.

Пылеунос является одним из основных показателей при проектировании и эксплуатации систем и аппаратов пылеулавливания. Этот параметр является определяющим при выборе мощности пылеулавливающего и транспортирующего пыль оборудования (бункеров, насосов, воздушных компрессоров и т.п.). Удельный пылеунос и запыленность дымовых газов сушильных барабанов при использовании различного сырья характеризуются следующими данными:

Материал	Пылеунос, % сырья	Запыленность газа, г/м <sup>3</sup>
Известняк	2-5	30-50
Глина	2-7	3-6
Хромитовая руда	1,5-4	2-7

Во всех случаях действует правило: чем выше требуемая степень очистки и чем меньше частицы пыли, подлежащие улавливанию, тем большими оказываются капитальные затраты на сооружение пылеулавливающих установок и расходы на их эксплуатацию. Например, электрофильтры являются высокоэффективными аппаратами и работают в той области значений полного коэффициента очистки, где повышение эффективности на 2-3 % или даже на десятые доли процента может привести к значительному увеличению капитальных затрат.

При компоновке пылеулавливающего оборудования следует руководствоваться следующими положениями. Пылеуловители обычно устанавливаются на всасывающей стороне дымососа. Установка пылеуловителей на напорной стороне принимается в исключительных случаях, так как в этом случае тягодутьевые машины подвергаются ускоренному абразивному износу. Для обеспечения гибкости управления технологическими агрегатами, удобства эксплуатации и ремонта оборудования, как правило, за каждым агрегатом устанавливается индивидуальный пылеуловитель. При необходимости установки одного пылеуловителя на нескольких агрегатах следует предусмотреть надежную систему газоотсекающих устройств.

Большое распространение на огнеупорных заводах получили циклонные установки. Они являются основными аппаратами для интенсивного пылеулавливания, поэтому от эффективности их работы во многом зависит остаточная запыленность воздуха. При улавливании пылей огнеупорного производства (глины, магнезита и др.), содержащих до 25 % фракций диаметром 10 мкм, степень очистки газа в циклонах типа ЦН может достигать 85 % и более, если ликвидировать подсос воздуха. Подсос воздуха – одна из основных причин неудовлетворительной работы циклонов. Величина среднего подсоса в установке, расположенной за вращающейся печью для обжига доломита, для различных мест измерения характеризуется следующими данными (% общего количества газов):

	Измеренная	Проектная
Пылевая камера	59	30
Циклоны	21	10
Электрофильтр	23	10
Газовые тракты	54	10

В огнеупорной промышленности часто применяют электрофильтры, которые, несмотря на увеличение капитальных затрат, при правильном выборе и нормальной эксплуатации аппарата гарантируют более высокую степень очистки, чем у циклонной установки. Для снижения запыленности газа перед подачей в электрофильтр устанавливают циклоны, которые обеспечивают начальную запыленность до 7-9 г/м<sup>3</sup>. Небольшие вращающиеся и шахтные печи ввиду малых концентраций пыли (5-10 г/м<sup>3</sup>) целесообразно оборудовать только электрофильтрами

### 3.10 Влияние огнеупорных и керамических производств на состояние водных ресурсов

Сточные воды огнеупорных и керамических заводов могут быть подразделены на: 1) производственные, образующиеся при использовании воды в технологических процессах; 2) бытовые – от санитарных устройств, установленных в производственных, общественных, коммунальных зданиях; 3) атмосферные, образующиеся при выпадении дождя и таянии снега (дождевые и талые).

Для всех производств требуется вода. На складе сырья вода необходима для увлажнения глины, шамота, кварцита, хромита и других материалов. Наибольшее количество воды требуется на этапе подготовки шихты. Кроме того, вода расходуется на охлаждение оборудования и промывку трубопроводов и оборудования. Вода, израсходованная для увлажнения шихты и для приготовления массы или шликера, испаряется при сушке и обжиге сырца. После охлаждения и промывки оборудования и трубопроводов образуются сточные воды. Сточные воды после охлаждения технологических агрегатов и аппаратуры (подшипников вращающихся печей и холодильников, компрессоров, воздуходувок, дробилок, трубомельниц, контрольно-измерительных приборов и др.) практически не загрязнены, но имеют повышенную температуру. Эти сточные воды после охлаждения могут быть повторно использованы в производстве, для чего требуется устройство систем оборотного водоснабжения. Остальные стоки (например, образующиеся после промывки оборудования и трубопроводов) имеют одинаковые загрязнения, в основном взвешенные вещества исходного материала в различных концентрациях.

Со сточными водами в канализацию сбрасывается большое количество перерабатываемых в технологическом процессе материалов. Сточные воды от мокрой очистки воздуха аспирационных систем являются наиболее загрязненными.



Состав сточных вод весьма разнообразен и не постоянен для одного и того же вида производства; даже на одном и том же предприятии он колеблется в широких пределах. Это обусловлено спецификой работы цехов заводов, неравномерным поступлением материала, периодичностью работы производственных агрегатов, залповыми сбросами в канализацию сточных вод при мойке оборудования и помещений.

Активная реакция сточных вод (рН) изменяется от 2,5 до 10,5 в зависимости от вида материала загрязнения сточных вод. Окисляемость сточных вод колеблется от 8,0 до 13,3 мг/л  $O_2$ . Общая жесткость и величина сухого остатка зависят от природного солевого состава и степени обжига исходных материалов. При большом содержании оксидов кальция и магния увеличиваются рН и жесткость воды, особенно от  $CaO$ , так как растворимость оксида кальция в 15-20 раз больше растворимости оксида магния. Диапазон колебаний жесткости значителен для различных видов сырья и составляет 0,6-31,5 мг-экв/л. Сточные воды загрязнены нерастворимыми примесями, находящимися в воде в виде крупной взвеси, суспензии, эмульсии и пены, а также коллоидов. Примеси представлены взвешенными веществами перерабатываемых в технологическом процессе материалов и растворенными примесями в виде истинных растворов минеральных солей. По своей природе загрязнения носят минеральный характер. Цвет и запах сточных вод в течение суток не меняются. Температура сточных вод колеблется в зависимости от времени суток и года от 6-8 до 24-26 °С. Концентрация взвешенных веществ в сточных водах колеблется в широких пределах: 3000-60000 мг/л.

Состав бытовых сточных вод огнеупорных и керамических заводов аналогичен составу бытовых сточных вод населенных мест и может быть принят по строительным нормам и правилам. Атмосферные сточные воды в результате соприкосновения с поверхностями дорог, производственных площадей, крыш загрязняются органическими и минеральными веществами. Концентрация примесей в дождевых стоках характеризуется большим разнообразием и зависит не только от специфики производства, но и от интенсивности и продолжительности осадков, состояния поверхности и др.

Нормой водоотведения или удельным расходом на промышленных предприятиях называется количество сточных вод, образующихся при выпуске единицы продукции. Удельные расходы сточных вод для огнеупорных производств составляют 0,5-5,0 м<sup>3</sup>, а для производства плавящихся изделий 5,0-10,0 м<sup>3</sup> на 1 т перерабатываемого материала.

На керамических предприятиях внедрение научно обоснованных комплексных мероприятий по охране водных ресурсов от загрязнения и их рациональному использованию должно решаться следующим образом. Целесообразно воду разделить на хозяйственно-питьевую и технологическую. Эффективным является использование оборотной технологической воды. Возможно использование безводных технологических процессов (полусухих и сухих способов помола, формования), воздухоочистительных устройств, работающих по сухому способу очистки загрязненного воздуха. В технологическом процессе целесообразно

использовать менее качественную воду шахт, водоемов, морскую воду, которая применима для производства керамики, глиняного кирпича, термоизоляционных изделий и др. Необходимо сокращать расходы воды на основе герметизации автоклавов, емкостей разного назначения и т.д. Сокращение водоемкости возможно также за счет использования воздушного охлаждения технологических процессов и аппаратов. При этом уменьшается коррозия оборудования, что позволяет применять менее качественный материал, примерно на 20 % снижаются капиталовложения на водоснабжение, потребление свежей воды, затраты на очистку стоков, потери продуктов. Внедрение оборотного водоснабжения, многократное использование одной и той же воды, очищаемой перед каждым циклом употребления, намного снижает водопотребление и уменьшает объем сточных вод на единицу продукции.

## 4 ГАЗООЧИСТНЫЕ УСТАНОВКИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Пылегазовые выделения современных предприятий черной металлургии очень значительны. В районах расположения крупных металлургических предприятий загрязнение атмосферы на 50—60 % и более обусловлено выбросами этих предприятий. Ниже дано распределение основных выбросов по видам производств, % к итогу:

	Пыль	SO <sub>2</sub>	CO	NO
Агломерационное	31,1	61	77,8	26,0
Коксохимическое	2,0	1	7,8	9,1
Доменное	17,3	0,3	3,5	3,0
Сталеплавильное	19,7	0,02	5,4	6,5
Прокатное	1,2	0,2	—	10,5
Ремонтное	1,0	0,02	4,9	1,5
Огнеупорно и известковое	18,4	0,4	0,4	5,4
Энергетическое	7,4	36,7	—	36,6
Прочие	1,9	0,36	0,2	1,4

Наибольшее количество выбросов приходится на долю агломерационной фабрики и ТЭЦ (при работе на доменном газе и твердом топливе). Значительные количества трудно-улавливаемой мелкодисперсной пыли выделяют конвертерные и мартеновские цехи (при продувке ванны кислородом). При сжигании сернистого топлива большие количества сернистого газа выделяют энергетические установки. Валовые показатели суточных выбросов (до очистки) на 1 млн. т стали составляют: 350 т пыли, 200 т SO<sub>2</sub> и 400 т CO. Удельный выход доменного газа ~2000 м<sup>3</sup>/т чугуна, коксового газа ~420 м<sup>3</sup>/т кокса.

### 4.1 Очистка газов от пыли при производстве агломерата

Агломерационные фабрики загрязняют атмосферу главным образом пылью и оксидом углерода, а при агломерации сернистых руд — сернистым ангидридом. Источником пылегазовых выделений является технологическое оборудование: агломерационные машины, охладители агломерата и возврата, обжиговые печи, а также многочисленные аспирационные системы от дробилок измельчения, грохотов, транспортеров, бункеров и т. п. Кроме того, пылегазовыделения поступают в окружающую среду из внешних источников, к которым относятся погрузочно-разгрузочные устройства исходных материалов и др.

Удельный выход газов от агломерационной машины зависит от газопроницаемости шихты, содержания в ней топлива, величины подсосов воздуха и может составлять 2500—4800 м<sup>3</sup> на 1 т агломерата, или 3000—4000 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> активной площади аглоленты.

В настоящее время серийно изготавливаются агломашины с площадью спекания, м<sup>2</sup>: 50 (К-50); 62,5 (К-62,5 реконструированная); 75 (К-75); 85 с площадью охлаждения 75 м<sup>2</sup> (АКМ 85/160); 100 (АКМ 100); 200 (К-200); 316 (АКМ-316). Запроектирована агломашина с площадью спекания 600 м<sup>2</sup> (МАК-600). Средняя температура агломерационных газов в коллекторе зон спекания 150 °С, в коллекторе зон охлаждения 250—300 °С.

Выбросы пыли с агломерационными газами зависят от количества мелких фракций в шихте, ее влажности и степени подготовки и могут колебаться в пределах 5—20 кг/т агломерата. Запыленность газов обычно составляет 2—6 г/м<sup>3</sup>. Содержание газообразных компонентов зависит от состава руды и может колебаться в широких пределах: 4—10% CO<sub>2</sub>, 12—17% O<sub>2</sub>, 0,3—3% CO; 0,01—0,09% (SO<sub>2</sub> + SO<sub>3</sub>) при малосернистых рудах; 0,1—0,6% (SO<sub>2</sub> + SO<sub>3</sub>) при сернистых рудах; 0,1—0,2% NO<sub>x</sub>; остальное N<sub>2</sub> и инертные газы.

Химический состав агломерационной пыли колеблется в зависимости от состава руды. Обычно пыль содержит 40—50 % железа и его оксидов, 9—15 % оксида кремния, 7—12 % оксида кальция, 5—6% углерода, 2—8% глинозема, 0,5—1,5% оксида магния, а также некоторые другие компоненты. Плотность пыли 3,8—4,0 г/см<sup>3</sup>.

Дисперсный состав агломерационной пыли характеризуется следующими данными:

Размер частиц, мкм	>40	40—30	30—20	20—10	10—5	5—0
Содержание в газе, % (по массе):						
отводимом от зон спекания шихты	45,8	18,3	9,3	8,4	7,3	10,9
отводимом от зон охлаждения агломерата	71	5,0	5,5	7,5	8,0	3,0

Для обжига известняка на аглофабриках устанавливают обжиговые машины типа ПОР, ОПР и др. Выброс газов от одной машины составляет 30—35 тыс. м<sup>3</sup>/ч при запыленности 2,7— 5,0 г/м<sup>3</sup>. Ниже приведен дисперсный состав пыли обжиговых машин на одной из аглофабрик:

Диаметр частиц, мкм	0—40	40—250	>250
Содержание, %	.....6,73	85,31	7,96

Отсасываемые от охладителей агломерата и обжиговых машин газы в большинстве случаев обеспыливаются в батарейных циклонах или пылеуловителях мокрого типа.

Отвод и обеспыливание газов агломерационных машин.

Процесс спекания агломерата на ленте агломерационной машины сопровождается значительным выделением газа и пыли. Первоначально типовым проектным решением являлась установка батарейных циклонов, количество элементов в которых достигало на крупных машинах 1000—2000 шт. Однако практика эксплуатации выявила крупные недостатки этого

вида газоочисток, основными из которых являются: неравномерное распределение газа при большом количестве циклонных элементов, приводящее к перераспределению потоков газа между элементами; интенсивный и неравномерный износ и забивание пылевыпускных отверстий циклонных элементов; забивание пылью направляющих аппаратов циклонных элементов; разрушение агломерационной пыли, представляющей собой агрегаты из разнородных частиц, в центробежном поле циклона, что существенно снижает степень очистки газа.

На некоторых аглофабриках вместо батарейных установлены одиночные циклоны большого диаметра. Уменьшая возможность забивания пылью и неравномерного распределения газа по элементам, одиночные циклоны в то же время не обеспечивают высокой степени очистки вследствие больших размеров и уменьшения величины центробежных сил. В результате эксплуатационная степень очистки как в батарейных, так и в одиночных циклонах низка и не превышает 70—85%; запыленность очищенного газа 0,4—0,5 г/м<sup>3</sup>. Такая концентрация пыли в газе недопустима, во-первых, по санитарным соображениям вследствие большого выброса пыли в воздушный бассейн и, во-вторых, из-за резкого сокращения срока службы эксгаустера (до 3—4 мес) вследствие эрозионного износа. Простой агломашины при замене эксгаустера около 5 ч.

Некоторым шагом вперед явилось применение для очистки газов агломашины мокрых пылеуловителей как в качестве второй ступени очистки, так и в качестве самостоятельных аппаратов. На одной из аглофабрик после батарейных циклонов установлены центробежные скрубберы типа МП-ВТИ, что позволило снизить запыленность очищенного газа до 150—200 мг/м<sup>3</sup> и тем самым увеличить срок службы эксгаустеров. На некоторых аглофабриках в качестве единственного мокрого аппарата применяют низконапорные скрубберы Вентури. Вследствие того что они включаются в газоотводящий тракт агломашины, возможный для использования перепад давлений ограничен 0,2—0,3 кПа, что соответствует скоростям газа в горловине труб Вентури 60—75 м/с. При таких условиях высокой степени очистки получить нельзя и остаточная запыленность газа обычно составляет 120—160 мг/м<sup>3</sup>. Попытки использовать другие аппараты мокрого типа успеха не имели.

В последнее время на зарубежных и отечественных аглофабриках начинают применять сухие пластинчатые электрофильтры. Эти аппараты лишены недостатков, свойственных батарейным циклонам и мокрым пылеуловителям, и имеют высокую эффективность. При установке электрофильтров вполне реальна очистка газа до содержания пыли 100—120 мг/м<sup>3</sup> и даже менее. В случае высокой начальной запыленности газа перед электрофильтрами устанавливают группу циклонов. Следует иметь в виду, что вследствие больших расходов газов электрофильтры должны иметь высокую производительность, а из-за больших разрежений, создаваемых эксгаустерами, усиленную конструкцию и газоплотность корпуса. Установка электрофильтров значительно снижает выбросы в

воздушный бассейн и повышает срок службы эксгаустеров до 2—3 лет и более. К основным недостаткам электрофильтров относятся большие габариты и высокая стоимость.

Следует также иметь в виду, что эффективность электрофильтров снижается при спекании агломерата высокой основности (3—3,5) и наличии в шихте окислов свинца или цинка или использовании замасленной окалины.

Тканевые фильтры для очистки агломерационных газов в отечественной практике не применяют из-за высокой стоимости, больших габаритов и низкого качества фильтровальных тканей.

Улавливание и очистка вентиляционных и неорганизованных выбросов

Пылеобразование в агломерационном производстве начинается с момента поступления сырых материалов на завод — при их выгрузке, перегрузках и транспортировке (до спекания шихты с образованием агломерата и возврата). Отсос газов на всем тракте движения материалов и очистка их осуществляются с помощью различных аспирационных систем. Общее количество вентиляционных выбросов значительно и на крупных аглофабриках может достигать 1—2 млн. м<sup>3</sup>/ч.

При проектировании аспирационных систем запыленность отсасываемых газов принимают равной: на трактах кокса, руды, колошниковой пыли, шихты 1 г/м<sup>3</sup>, на тракте известняка 2 г/м<sup>3</sup>, на трактах возврата до 10 г/м<sup>3</sup>. Основными источниками неорганизованных выбросов являются рудный двор, отделение дробления топлива, руды и известняка, шихтовое отделение и спекательный корпус.

В последние годы наметилась тенденция объединения ряда аспирационных и технологических выбросов и обеспыливания их в центральной газоочистке, включающей несколько крупных электрофильтров и дымососов, рассчитанных на пропуск газов в количестве 1—2 млн. м<sup>3</sup>/ч.

К неорганизованным выбросам относятся пылегазовыделения при погрузке и разгрузке сырых материалов, а также выходы газов через фонари зданий. Пылеулавливающих устройств для этой группы выбросов обычно не предусматривается.

#### 4.2 Очистка газов в доменном производстве

Помимо санитарной очистки газовых выбросов перед выпуском их в атмосферу, в доменном производстве первостепенное значение имеет очистка технологическая. Доменный газ широко используют на металлургических предприятиях в первую очередь в качестве топлива. Во избежание засорения горелочных устройств и образования отложений в газопроводах доменный газ предварительно должен быть очищен от пыли.

Характеристика доменного газа и колошниковой пыли

Доменный, или колошниковый, газ является побочным продуктом доменного производства. Это низкокалорийный газ, содержащий около 30—35 % горючих составляющих и большое количество балласта (азота и углекислоты). Поэтому использование его в высокотемпературных печах затруднено, а передача на значительные расстояния экономически невыгодна.

Состав и основные характеристики доменного газа зависят от состава шихты и хода плавки. Усредненные данные:

Компоненты	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>
Содержание <sup>1</sup> , %	11,2/11,3	31,2/29,0	0,21/0,20	2,99/4,30	55,1/55,2

<sup>1</sup> В знаменателе — при работе с повышенным давлением и комбинированным дутьем

Температура доменного газа на выходе из печи обычно 300—350 °С.

Выход доменного газа из печей различного объема можно определить на основании удельного выхода и производительности печи по чугуна, исходя из следующих данных:

Объем печи, м <sup>3</sup> .....	1033	1513	2000	2700	5 000
Производительность, т/сут . . .	1720	2520	4350	5550	11 500

Колошниковая пыль, ее вынос и свойства. Доменный газ, образующийся в печи, всегда загрязнен колошниковой пылью, которая представляет собой смесь мелких частиц руды, кокса, агломерата, известняка и других материалов, загружаемых в доменную печь. Пыль образуется в результате механического измельчения материалов при их приготовлении, транспортировке, загрузке и истирании при движении в шахте печи.

Вынос пыли из печи обусловлен увлечением мелких частиц потоком газа, проходящим сквозь слой шихты, а также возгонкой некоторых элементов шихты в области высоких температур. При работе печей с нормальным давлением под колошником вынос пыли 50—60 г/м<sup>3</sup>, в отдельных случаях до 100 г/м<sup>3</sup>. При переводе печей на работу с повышенным давлением под колошником запыленность доменного газа уменьшилась до 15—20 г/м<sup>3</sup>, что в значительной мере объясняется снижением удельных объемов и скоростей газа в печи. Удельный выход пыли на 1 т чугуна составляет соответственно 50—150 и 25—75 кг/т.

Гранулометрический состав пыли также зависит от многих факторов и может сильно колебаться. О примерном распределении частиц по размерам можно судить по следующим данным:

Размер частиц, мкм>	200	200—100	100—60	60—20	20—10	10—1	<1
Содержание, %	34,5	12,3	19,0	25,0	7,5	1,65	0,05

Многие технологические потребители доменного газа (коксовые печи, горелки доменных воздухонагревателей и др.) требуют очистки газа до концентрации пыли не выше 10 мг/м<sup>3</sup>. Поэтому на металлургических

предприятиях применяют, как правило, многоступенчатую очистку доменного газа, которая предусматривает обеспыливание его не менее чем в трех — четырех последовательно включенных аппаратах.

Грубая очистка газа предусматривает отделение наиболее крупных частиц (размером  $>0,1$  мм). Ее осуществляют в сухих пылеуловителях диаметром 5—8 м, где выпадение твердых частиц происходит за счет гравитации и инерционных сил, возникающих при повороте газового потока на  $180^\circ$ . Пыль из пылеуловителя удаляется при помощи шнека, смачиваемого водой. В сухом пылеуловителе улавливают до 65—75 % всей пыли, содержащейся в газовом потоке, выходящем из доменной печи. Содержание пыли в газе после грубой очистки обычно не превышает 3—10 г/м<sup>3</sup>.

Полутонкая очистка газа позволяет осадить частицы пыли размером до 0,02 мм и очистить газ до содержания пыли в нем 0,6—1,6 г/м<sup>3</sup>. Полутонкую очистку осуществляют в аппаратах мокрого типа: форсуночных полых скрубберах и трубах Вентури. Доменные скрубберы работают со скоростями газа 1—2 м/с при удельном расходе воды 3—6 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газа. Проходящий через скруббер доменный газ охлаждается с 250—300 до 40—50 °С и полностью насыщается влагой. Степень очистки газа в скруббере не превышает 60—70 %.

После скруббера в большинстве случаев газ поступает в две — четыре низконапорные трубы Вентури, работающие со скоростью газов в горловине 50—80 м/с и удельным расходом воды 0,2 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>; в них завершается полутонкая очистка газа. Тонкую очистку доменного газа с содержанием пыли в нем до 10 мг/м<sup>3</sup> осуществляют в дроссельной группе или в мокром электрофилт্রে.

Практика работы дроссельных групп показала, что при достаточных перепадах давления и скоростях газа в клапанах до 200—250 м/с, они являются высокоэффективным газоочистным устройством. Работая по тому же принципу, что и труба Вентури, дроссельная группа при перепаде давления более 20—30 кПа снижает содержание пыли в газе до 5—10 мг/м<sup>3</sup> при малой чувствительности к начальному содержанию пыли.

#### 4.2.1 Вредные выбросы доменного производства и их очистка

Доменные цехи загрязняют атмосферу в основном пылью и оксидом углерода.

Рудный двор и бункерная эстакада. На рудном дворе пыль выделяется при разгрузке вагонов, перегрузке руды грейферными кранами, подаче ее на бункерную эстакаду. Удельный выброс пыли на 1 т чугуна ориентировочно принимают равным: на рудном дворе 50 кг, бункерной эстакаде 22 кг при высоте выделений 6—15 м. Концентрация пыли на рудном дворе и бункерной эстакаде может достигать 1000 мг/м<sup>3</sup>. За счет разгрузки и транспортировки сыпучих материалов в закрытых разгрузочных узлах и закрытых галереях с объединением аспирационных



систем и очисткой запыленных газов в крупных электрофильтрах снижаются удельные выбросы до 10 кг/т.

Подбункерные помещения. В доменных цехах существуют две системы подачи сырых материалов на колошник: скиповая, применявшаяся на старых печах, и транспортерная, применяемая в новых печах и обеспечивающая значительное снижение пылевыделений.

Наибольшее количество пыли выделяется в подбункерном помещении, где происходит выгрузка сырых материалов в вагон-весы и далее в скип. Пыль выбрасывается в атмосферу через окна и проемы для скипов и через выхлопные отверстия аспирационных систем при высоте выделений 10 м.

Концентрация пыли в воздухе подбункерных помещений составляет около  $500 \text{ мг/м}^3$ , в связи с чем на многих предприятиях кабина машиниста вагон-весов герметизирована. При транспортерной подаче сырых материалов условия работы в подбункерном помещении гораздо лучше.

Для очистки выбросов аспирационных систем в большинстве случаев применяют мокрые пылеуловители.

Колошниковое устройство. Пыле- и газовыделения печи обусловлены тем, что при подаче шихты на большой конус загрузочного устройства давление по обе стороны малого конуса необходимо выровнять, для чего грязный газ из межконусного пространства выпускают в атмосферу. Кроме того, пылевыделение происходит при каждой ссыпке сырых материалов из скипа в приемную воронку. Для печей емкостью  $930\text{—}2700 \text{ м}^3$  выбросы пыли и СО составляют соответственно  $0,17\text{—}0,60$  и  $5\text{—}19 \text{ т/сут}$ . Удельный выброс пыли может достигать  $4 \text{ кг/т}$  чугуна, а концентрация ее в газах  $200\text{—}500 \text{ г/м}^3$ .

В целях сокращения этого выброса на некоторых предприятиях устанавливают автономные газоочистки. Чаще всего для этой цели применяют схему с орошаемым газоходом и скруббером Вентури. При общем удельном орошении газохода и трубы Вентури  $1,5\text{—}3,5 \text{ дм}^3/\text{м}^3$  остаточная запыленность выбросов не превышает  $10 \text{ мг/м}^3$  и, следовательно, их можно подавать в газопровод чистого газа. Установки работают циклично: в течение часа производят  $8\text{—}10$  сбросов газа с продолжительностью каждого сброса  $8\text{—}10 \text{ с}$ .

Радикальным решением, почти полностью исключая выбросы пыли из межконусного пространства, является подача в него в момент открытия большого конуса компримированного газа давлением, несколько превышающим давление в печи. В этом случае запыленный газ из печи вообще не поступает в межконусное пространство и при выравнивании давления в засыпном устройстве происходит выхлоп чистого газа. Однако при этом появляются дополнительные энергозатраты, связанные со сжатием газа, подаваемого в межконусное пространство. При осуществлении этой схемы выбросы в атмосферу уменьшаются в 50 раз, отпадает необходимость автономной системы газоочистки, увеличивается срок службы засыпного аппарата. В качестве газообразного агента может быть также использован компримированный азот с кислородной станции.

Литейный двор. На литейном дворе пыль и газы выделяются в основном от леток чугуна и шлака, желобов участков слива и ковшей. Удельные выходы вредных веществ на 1 т чугуна составляют: 0,4—0,7 кг пыли; 0,7—1,15 кг CO; 0,11—0,17 кг SO<sub>2</sub>. Пыль и газы удаляются частично через фонари здания, частично с помощью аспирационных систем с очисткой от пыли перед выбросом в атмосферу преимущественно в батарейных циклонах. Все выбросы литейного двора крупных печей стремятся объединять и направлять для очистки в электрофильтры. Общее количество отсасываемого газа для/ч. Чтобы уменьшить его, все системы снабжают дроссельными клапанами, позволяющими по мере надобности включать дистанционно необходимое в данный момент укрытие (зонт).

Воздухонагреватели. Воздухонагреватели доменных печей загрязняют атмосферу преимущественно оксидом углерода, в среднем 11—44 г/т чугуна. Концентрация оксида углерода, удаляемого через аэрационные проемы зданий, составляет в среднем 33 мг/м<sup>3</sup>.

Пылеуловители. При сухой разгрузке пылеуловителей в атмосферу выделяется 0,75—1,0 г пыли на 1 т чугуна. Средняя концентрация пыли при погрузке на открытые железнодорожные платформы составляет 250 мг/м<sup>3</sup> на расстоянии 5 м от пылеуловителя при отсутствии ветра. При смачивании пылевыведение значительно сокращается. В настоящее время разработана и внедряется закрытая система пневматической транспортировки уловленной пыли.

#### 4.3 Охлаждение и очистка конвертерных газов

В настоящее время более 30 % стали выплавляется конвертерным способом.

Во избежание выбросов вредных веществ в атмосферу в виде бурого дыма за конвертером сооружают сложный и дорогой газоотводящий тракт, включающий установки для охлаждения конвертерных газов с использованием их тепла, газоочистные и дымососные установки, дымовую трубу.

Выход конвертерных газов имеет циклический характер и определяется в первую очередь скоростью выгорания углерода и условиями продувки. При потере с плавильной пылью 1,5% металла средняя запыленность конвертерных газов будет равна 250 г/м<sup>3</sup>. Пылевыведение при продувке происходит неравномерно, наибольшее количество пыли выделяется в периоды подачи сыпучих.

С конвертерными газами уносится до 14 % серы, содержащейся в шихте; из них 13 % содержится в пыли и 1 % в газовой фазе. Оксидов азота в конвертере практически не образуется. Однако при дожигании CO в котле-охладителе выход оксидов азота составляет примерно 100 мг/м<sup>3</sup>, или 50 г/т стали. Оксиды азота образуются также при дожигании конвертерного газа на свече в количестве 30 г/т стали.

Химический состав пыли, %: 60—70 железа и его оксидов; 5—17 извести; 0,7—3 кремния и некоторые другие компоненты. Химический состав пыли мало зависит от интенсивности продувки, но значительно изменяется по периодам плавки.

По дисперсному составу пыль можно разделить на две фракции: высокодисперсную, образующуюся из окисленного железа (<3 мкм), и более крупную, образующуюся в результате уноса частиц шлака и сыпучих (>3 мкм). Усредненный за плавку дисперсный состав пыли характеризуется следующими данными :

Размер частиц, мкм	<3	3—60	60—250	>250
Содержание, % (по массе)	-	65	79	19

Перед подачей в систему газоочистки газы необходимо подвергать охлаждению, которое может быть осуществлено различными способами. Наиболее простым способом является впрыск в газы диспергированной воды. Недостатками способа охлаждения газов впрыскиванием воды являются значительное увеличение объема газов за счет образующихся паров воды и невозможность утилизации тепла газов. Поэтому данный способ применяют только для частичного охлаждения газов.

Значительно рациональнее охлаждение конвертерных газов в котлах-утилизаторах, позволяющее использовать их тепло и практически почти не изменяющее их объема (отнесенного к нормальным условиям) .

Котлы-охладители конвертерных газов типа ОКГ работают в очень тяжелых условиях, связанных с цикличностью выхода конвертерных газов, их высокой температурой и большой запыленностью. Для таких условий работы наиболее целесообразны котлы с принудительной циркуляцией, осуществляемой с помощью циркуляционных насосов и не зависящей от режима работы котла. Циклический характер выхода конвертерных газов обуславливает и циклический характер выработки пара, которая происходит только во время кислородной продувки, составляющей примерно половину всего периода плавки. В целях нормализации работы котла-охладителя во второй полупериод плавки, когда конвертерные газы в него не поступают, котел подтапливают коксовым или природным газом, поддерживая выработку пара на уровне 15—25 % от максимальной. Для сглаживания колебаний в расходе вырабатываемого пара за котлами-охладителями конвертерных газов устанавливают паровые аккумуляторы, в которые поступает пар, вырабатываемый котлом.

НПО «Энергосталь» для очистки конвертерных газов предложена схема, включающая трубу Вентури с прямоугольной горловиной регулируемого сечения и пленочно-форсуночным орошением, а также центробежный каплеуловитель. На некоторых предприятиях работают системы, состоящие из нескольких круглых труб Вентури с диаметром горловины 200—300 мм, со свободным доступом к форсунке каждой трубы, снабженные центробежными каплеуловителями. Во всех случаях при

скоростях газа в горловине 120—150 м/с и удельном расходе воды 1—1,4 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> может быть достигнута высокая степень очистки (до 99,5-99,7 %).

За рубежом для очистки конвертерных газов применяют сухие и мокрые электрофильтры, а иногда и тканевые фильтры.

#### 4.4 Электросталеплавильные печи

Выход газов из электросталеплавильной печи и состав газовой фазы зависят от состава шихты, скорости плавления, технологического и температурного режимов плавки, режима кислородной продувки и т. п. По ходу плавки состав газов в зависимости от скорости выгорания углерода изменяется в следующих пределах:

Компонент	СО	СО <sub>2</sub>	Н <sub>2</sub>	О <sub>2</sub>	Н <sub>2</sub>
Содержание, % (объемн.)	15—25	5—11	0,5—35	3,5—10	61—72

Большое влияние на режим газовой выделенной оказывает ряд факторов и в первую очередь подсос воздуха в печь, зависящий от внутривспешного давления, качества уплотнения имеющихся зазоров, наличия автоматического регулирования и т. п. Максимальный выход газов может превышать средний на 60—70 % и длиться до 30 мин.

Выходящие из печи газы в значительной степени засорены пылью. Мелкодисперсная пыль образуется в результате испарения металла в зоне действия электрических дуг и кислородной продувки и последующей конденсации в печном пространстве. Более крупные фракции дают шлакообразующие и молотые добавки.

Средняя концентрация пыли в газе 15—30 г/м<sup>3</sup>, что дает удельный выход пыли 6—9 кг/т стали.

Ниже приведены данные, характеризующие дисперсный состав пыли при выплавке среднеуглеродистых и хромистых сталей:

Размер частиц, мкм	< 0,70	0,7—7	7—80	>80
Содержание, % (по массе)	42	35	16	7

Основным компонентом пыли являются оксиды железа, суммарное количество которых составляет: в период расплавления 80 %, в период кипения (при продувке кислородом) 62 % и в период доводки 53 %. В период расплавления в пыли появляются оксиды марганца (11 %), в период доводки — оксиды кальция (6 %) и магнезия (9 %).

Удельное электрическое сопротивление пыли довольно значительно, при очистке газа в электрофильтрах следует принимать меры для его снижения.

В небольших количествах в газах находятся следующие токсичные микрокомпоненты, мг/м<sup>3</sup> (г/т): оксиды азота 550 (270), оксиды серы 5 (1,6), цианиды 60 (28,4), фториды 1,2 (0,56).

Неорганизованные выбросы в цехах достигают 40 % технологических выбросов.

В процессе эксплуатации дуговой электросталеплавильной печи осуществляются подъем и опускание электродов, подъем и поворот свода, наклон ванны и другие операции. Поэтому создание стационарного устройства для отсоса газов представляет значительные конструктивные трудности. Если не принять специальных мер, газы, выделяющиеся в процессе плавки через загрузочные окна, зазоры между электродами и сводом и другие не плотности, поступают непосредственно в помещение цеха, откуда удаляются через фонари здания посредством аэрации. При этом пыль выпадает из медленно поднимающегося потока, оседает на своде печи, оборудовании, конструкциях здания, что снижает светопропускаемость окон и требует создания специальных устройств для уборки. Загазованность и запыленность помещения цеха часто настолько увеличиваются, что в верхней зоне затрудняется видимость для крановщиков, а на рабочей площадке концентрация пыли и газов во много раз превышает санитарные нормы. Пыль и газ выбрасываются через фонари и вытяжные шахты и существенно загрязняют атмосферу. Поэтому с ростом производительности печей и количества образующихся газов, особенно при применении кислородной продувки, такое решение вопроса становится совершенно неприемлемым.

Несколько лучшим решением является отсос газов с помощью зонтов и колпаков. В простейшем случае над печью выше электродов сооружают зонт, не связанный с конструкцией печи, охватывающий все места пыле- и газовыделений и не мешающий обслуживанию печи. Вследствие больших подсосов воздуха температура газов у стен зонта не превышает 100—150 °С; зонт может быть сделан из обычной листовой стали толщиной 2—4 мм.

Вместо зонта иногда делают колпаки, укрепленные на каркасе печи непосредственно у мест пыле- и газовыделения. Такое решение эффективнее, но усложняет конструкцию, так как колпаки перемещаются вместе с печью и требуют шарнирных соединений со стационарным газоходом.

Для эффективной работы отсоса необходимо, чтобы скорость во входном сечении зонта или колпака была не менее 2 м/с, что вызывает большие подсосы воздуха.

Общими недостатками отсоса газов с помощью зонтов и колпаков являются: невысокая эффективность (70—80 %); большой расход энергии на перемещение больших масс газа с присосанным воздухом; значительная металлоемкость; ухудшение условий обслуживания и доступа к печи.

Наиболее целесообразным способом удаления газов из печи является отсос их из рабочего объема через специальное отверстие чаще всего в своде печи вблизи рабочего окна. Скорость газов в отверстии при отсосе должна быть не менее 20 м/с во избежание отложения пыли. Температура газов в отверстии близка к температуре газов печи.

Однако никакие конструкции газоотсоса не позволяют полностью уловить газы, выделяющиеся через электродные зазоры, рабочие окна и сливные лотки. Поэтому в дополнение к четвертому отверстию в своде под

крышей устанавливают зонты, улавливающие выделяющиеся пылегазовыделения. Объемы отсасываемых через эти зонты газов доходят до 600—1000 тыс. м<sup>3</sup>/ч, что резко удорожает стоимость очистки газов. Следующим шагом по снижению производительности газоотсоса является заключение всей печи в защитный кожух, что позволило резко сократить объем удаляемых газов и почти в два раза уменьшить мощность системы газоотсоса, доводя удельные энергозатраты до 15 кВт • ч/т стали. При этом можно отсасывать газы и через четвертое отверстие в своде, и из кожуха либо только из кожуха

В условиях дуговых печей, где выход газа сильно изменяется, эта возможность имеет большое значение. Применяют и прямоугольные трубы Вентури с регулируемым сечением горловины. При отсосе газов без разрыва газового потока в непосредственной близости от печи устанавливают дожигательную камеру, в которой за счет подачи воздуха СО дожигают до СО<sub>2</sub>, а после нее охлаждающую камеру, в которой газ охлаждается за счет разбавления атмосферным воздухом или впрыскиванием воды. На практике во многих случаях газоочистка располагается в отдельном здании. Соединительные газопроводы оказываются достаточно длинными для естественного охлаждения газа и специальных охлаждающих устройств устанавливать не приходится. В качестве побудителей тяги часто применяют мельничные вентиляторы, так как пыль мелкодисперсная и для ее улавливания требуются режимы работы со значительными перепадами давления. Дымососы устанавливают как после труб Вентури и каплеуловителей, так и перед ними. В первом случае дымососы перекачивают меньшие объемы охлажденных и очищенных от пыли газов, однако повышенная влажность способствует налипанию не уловленной пыли на лопатки ротора. Во втором случае температуры и объемы перекачиваемых газов больше, а большая запыленность способствует абразивному износу лопаток ротора.

В последнее время для печей малой и средней емкости наряду со скрубберами Вентури успешно начинали применять тканевые рукавные фильтры, чему способствовали относительно малые расходы газов и сравнительно небольшие габариты фильтров. Электрофильтры для очистки газов, отсасываемых из печного пространства, применяют редко из-за малых объемов газов и возможных затруднений в эксплуатации, связанных с высоким удельным сопротивлением пыли, особенно при выплавке специальных сталей.

Кроме газов, отсасываемых из рабочего пространства печей, очистке подлежат и газы, удаляемые от подкрышных зонтов. Вследствие большого разбавления воздухом количество этих газов очень велико: для крупных печей 600—1000 тыс. м<sup>3</sup>/ч при температуре 30—50 °С и запыленности 0,3—0,4 г/м<sup>3</sup>. Для очистки этих газов целесообразно применять тканевые рукавные фильтры и электрофильтры. Иногда за рубежом рукавные фильтры размещают непосредственно на крыше цеха.

#### 4.5 Вредные выбросы в прокатном производстве и борьба с ними

В прокатных цехах по сравнению с другими цехами предприятий черной металлургии выделение пыли и газов значительно меньше. При горячей прокатке металла пыль образуется в результате измельчения окалины валками и испарения металла вследствие мгновенного увеличения давления и повышения температуры. Количество выделяющейся пыли на 1 т проката составляет при прокате слябов и блюмов до 80 г, а при прокате листа до 100 г. Часть пыли (~20 %) мелкодисперсная (размер частиц <10 мкм). На слябингах, блюмингах и сортовых станах наиболее интенсивное пылевыведение происходит на первых проходах.

Локализацию и удаление пыли, выделяющейся при прокатке, осуществляют различными способами. На мелких прокатных станах устанавливают зонты на высоте 2,4 м, чтобы не мешать обслуживанию стана. Так как скорость воздуха в отверстии зонта должна быть не менее 2 м/с и ширина зонта должна быть равна или немного меньше ширины клетки стана, конструкция получается весьма громоздкой. Вследствие больших присосов расходы воздуха (100—900 тыс. м<sup>3</sup>/ч) и энергии весьма значительны.

На многих предприятиях проблему обеспыливания пытались решить, применяя гидрообеспыливание, осуществляемое с помощью форсунок с тонким распылением воды, механическим и пневматическим, равномерным орошением мест пылевыведения через дырчатые трубы и т. п. Однако такие способы не дали положительных результатов.

Наилучшие результаты достигаются при смыве пыли компактной струей воды в месте ее образования. Вода подается на прокатываемый металл в месте выхода его из валков и отводится по специальному желобу. При прокате листа толщиной 2 мм степень обеспыливания 98—99 %. При этом дополнительного, нежелательного охлаждения листа практически не происходит.

При гидросмыве ориентировочный расход воды равен, м<sup>3</sup>/ч: на блюминге 40, слябинге 30, на одну клетку листового стана 6—10, непрерывного сортопрокатного стана 2 и на один проход на раскатном стане 1.

При прокатке специальных сталей подача воды недопустима. В этом случае следует применять вентиляционные системы с зонтами.

При холодной прокатке металла на валки стана для охлаждения подается эмульсия. Вследствие разогрева валков часть эмульсии испаряется и в виде паров распространяется по цеху, конденсируясь на строительных конструкциях и оборудовании. Пары эмульсии очень агрессивны и наносят большой вред оборудованию, особенно электроаппаратуре и отопительным агрегатам. Для локализации паров эмульсии на стане холодной прокатки предусматривают укрытия, из которых отсасывается 25000—40000 м<sup>3</sup>/ч воздуха на каждое межклетьево пространство, причем 70 % из верхней зоны и 30 % из нижней.