

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана

Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Дата подписания: 22.03.2023 05:21:45

Уникальный программный ключ

1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb20237f3ab5c65

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Норильский государственный индустриальный институт»**  
**Политехнический колледж**

## **Методические указания**

для студентов заочной формы обучения по специальности

**15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств**  
**(по отраслям)**

по дисциплине  
**«Типовые технологии производства»**

Методические указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения по дисциплине **ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА** разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования

15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)

**Организация-разработчик:** Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»

**Разработчик:**

С.И.Семенова, преподаватель Политехнического колледжа

Рассмотрено на заседании цикловой комиссии автоматизации технологических процессов

Председатель комиссии

Е.А.Колупаева

Утверждено на заседании методического совета колледжа

Протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зам. директора по УР

С.П.Блинова

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Раздел 1 Классификация типовых технологий	5
Тема 1.1 Основные понятия и определения	5
Раздел 2 Гидротехнические процессы	7
Тема 2.1 Перемещение жидкостей и газов	7
Тема 2.2 Разделение жидких и газовых гетерогенных систем	11
Раздел 3 Тепловые процессы	14
Тема 3.1 Источники энергии и теплообменная аппаратура	14
Тема 3.2 Выпаривание растворов. Искусственное охлаждение	17
Раздел 4 Массообменные процессы	19
Тема 4.1 Абсорбция	19
Тема 4.2 Ректификация	21
Тема 4.3 Экстракция	23
Тема 4.4 Адсорбция	25
Тема 4.5 Сушка	28
Тема 4.6 Мембранные процессы	31
Раздел 5 Механические процессы	34
Тема 5.1 Измельчение и классификация твердых материалов	34
Тема 5.2 Дозирование и перемещение твердых материалов	38
Раздел 6 Вспомогательные технологии	40
Тема 6.1 Вентиляция и кондиционирование	40
Тема 6.2 Очистка сточных вод и газовых выбросов	44
Раздел 7 Metallургия цветных металлов	49
Тема 7.1 Обогащение руд цветных металлов	49
Тема 7.2 Metallургия меди	54
Тема 7.3 Metallургия никеля	57
Варианты контрольных работ	62
Экзаменационные вопросы	64
Требования к оформлению контрольных работ	65
Приложение А Образец титульного листа	66
Список использованных источников	67

## **Введение**

Содержание предлагаемых методических указаний соответствует программе учебной дисциплины «Типовые технологии производства», изучаемой студентами специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям). Основной задачей данной дисциплины является ознакомление студентов с основными типами технологий, что необходимо для дальнейшего изучения и понимания междисциплинарных курсов «Технология формирования систем автоматического управления типовых технологических процессов, средств измерений, несложных мехатронных устройств и систем», «Теоретические основы технического обслуживания и эксплуатации автоматических и мехатронных систем управления» и др.

В разделе 1 методических указаний изложены основные понятия, рассмотрены основные виды и типы производства, классификация технологий.

В разделах 2 - 5 рассмотрены технологии по самому процессу проведения: гидромеханические (перемещение жидкостей и газов), тепловые (выпаривание, охлаждение), массообменные (абсорбция, ректификация, экстракция, сушка, мембранные технологии), механические (измельчение, смешивание и др.) процессы.

В разделе 6 представлены вспомогательные технологии (вентиляция и кондиционирование, очистка сточных вод и газовых выбросов).

Раздел 7 посвящен металлургическим технологиям (обогащение руд, металлургия меди и никеля).

Изучая информационный текст, студент получает возможность определить объем необходимого для усвоения материала. Вопросы к информационному тексту позволяют осуществить самоконтроль.

Учебным планом предусмотрено выполнение контрольной работы по дисциплине «Типовые технологии производства», зачет по которой является допуском к устному экзамену по данной дисциплине.

## РАЗДЕЛ 1 Классификация типовых технологий

### Тема 1.1 Основные понятия и определения

*Технология* – наука о способах и методах реализации производственных процессов различной физической природы.

*Процесс* – последовательная смена состояния, стадий развития и т.д. или совокупность последовательных действий для достижения какого-либо результата.

Различают процессы:

- *непрерывные*, в которых значение параметров изменяются постоянно и монотонно;

- *дискретные* – это прерывистые процессы, состоящие из отдельных частей;

- *производственные* – совокупность всех действий, осуществляемых для получения готовой продукции;

- *технологические* – процессы, в ходе которых решаются задачи технологии, то есть предусматривающие преобразование исходного сырья, изделий и т.д. с целью получения готовой продукции.

Различие в программе выпуска изделий привело к условному разделению производства на три типа:

- *единичное* – изготовление единичных не повторяющихся экземпляров продукции или с малым объемом выпуска;

- *серийное* – периодическое технологически непрерывное изготовление требуемого количества одинаковой продукции, производство продукции осуществляется партиями. В зависимости от объема выпуска: мелко-, средне-, крупносерийное;

- *массовое* – технологически и организационно непрерывное производство узкой номенклатуры изделий в больших объемах по неизменным чертежам в течение длительного времени, когда на большинстве рабочих мест выполняется одна и та же операция.

- *поточные*, характеризующиеся непрерывностью и равномерностью, то есть изготовление и сборка изделий находится в постоянном движении (операции следуют друг за другом), характерны для массового производства;

- *непоточные*, характеризующиеся неравномерным движением полуфабрикатов в процессе изготовления изделия, то есть технологический процесс изготовления прерывается вследствие различной продолжительности операций, а полуфабрикаты накапливаются у рабочих мест, на складах. Сборку изделий начинают лишь при наличии на складах полных комплектов деталей, что присуще единичному и серийному производству.

Каждое производство (предприятие) обладает определенной *производственной мощностью*, под которой понимают максимально возможный выпуск продукции за определенный период. Различают мощности:

- *проектную*, установленную в проекте строительства или реконструкции производства, которая должна быть достигнута при условии обеспечения производства принятыми в проекте средствами производства, кадрами;

- *действительную* – это мощность действующего производства, не является постоянной, зависит от технического уровня работающих, уровня использования

основных и оборотных фондов, уровня механизации и автоматизации и других факторов.

Технологии классифицируют по различным признакам:

1 По видам производства, деятельности:

- а) технологии машиностроения;
- б) технологии экономики;
- в) технологии организации производства:
  - заготовительное производство (металлургия, прокат, термическая обработка и т.д.);
  - технологии формообразования (резание, электрохимическая обработка);
  - инструментальное производство;
  - механосборочное производство;
  - технология получения неразъемных соединений;
  - спецтехнологии (технология взрыва, нанесения покрытий, нанотехнологии и т.д.);
  - метрология;
  - неразрушающие методы контроля и испытаний;
  - автоматизация и компьютеризация технологических процессов;
  - технологии в области энергетики.

2 По процессу проведения:

- а) гидромеханические (перемещение, смешивание, центрифугирование, фильтрация, очистка жидкостей и газов);
- б) тепловые (нагревание, охлаждение, выпаривание, кристаллизация);
- в) массообменные (ректификация, адсорбция, абсорбция, сушка, экстракция);
- г) механические (перемещение твердых материалов, дозирование, измельчение).

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Что такое процесс, технологический процесс, производственный процесс?
- 2 На какие типы условно подразделяется производство, и чем они отличаются друг от друга?
- 3 Что такое производственная мощность, на какие виды она подразделяется?
- 4 Как и по каким признакам классифицируют технологии?

### ***Литература***

[1, стр.5].

## РАЗДЕЛ 2 Гидротехнические процессы

### Тема 2.1 Перемещение жидкостей и газов

#### *Перемещение жидкостей*

В некоторых видах промышленности важное значение имеет транспортирование жидких или газообразных продуктов по трубопроводам как внутри предприятия между отдельными аппаратами, так и вне его.

Движение жидкостей по трубопроводам и через аппараты связано с затратами энергии. В некоторых случаях, например при движении с более высокого уровня на более низкий, жидкость перемещается самотеком, то есть без затрат внешней энергии, вследствие преобразования части собственной потенциальной энергии в кинетическую. При перемещении жидкости по горизонтальным трубопроводам и с низшего уровня на высший применяют насосы. Кроме того, в промышленности используют устройства для транспортирования жидкостей с помощью сжатого газа (воздуха) – газлифты и монтежу.

#### *Гидравлические машины*

*Насосы* - гидравлические машины, которые преобразуют механическую энергию двигателя в энергию перемещаемой жидкости, повышая ее давление. Разность давлений жидкости в насосе и трубопроводе обуславливает ее перемещение.

Различают насосы двух основных типов:

- *динамические*, в которых жидкость перемещается при воздействии сил на незамкнутый объем жидкости, который непрерывно сообщается со входом в насос и выходом из него;
- *объемные*, в которых жидкость перемещается (вытесняется) при периодическом изменении замкнутого объема жидкости, который периодически сообщается со входом в насос и выходом из него.

Динамические насосы по виду сил, действующих на жидкость, подразделяются на:

- *лопастные*, в которых энергия передается жидкости при обтекании лопастей вращающегося рабочего колеса насоса. Делятся, в свою очередь, на центробежные (жидкость движется через рабочее колесо от его центра к периферии; нагнетание жидкости происходит равномерно и непрерывно под действием центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса с лопатками, заключенного в спиралеобразном корпусе) и осевые (жидкость движется в направлении оси колеса);

- *насосы трения*, в которых жидкость перемещается преимущественно под воздействием сил трения (вихревые и струйные), то есть жидкость вытесняется из замкнутого пространства телом, движущимся возвратно-поступательно (например, поршневые, плунжерные) или имеющим вращательное движение (шестеренные, пластинчатые, винтовые).

Центробежные насосы являются одной из самых распространенных разновидностей динамических гидравлических машин.

В центробежных насосах всасывание и нагнетание жидкости происходит равномерно и непрерывно под действием центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса с лопатками, заключенного в спиралеобразном корпусе.

Для создания более высоких напоров применяют многоступенчатые насосы.

### ***Перемещение и сжатие газов***

#### *Компрессорные машины*

Машины, предназначенные для перемещения и сжатия газов – *компрессорные машины*.

Отношение конечного давления, создаваемого компрессорной машиной, к начальному давлению, при котором происходит всасывание газа – *степень сжатия*.

В зависимости от степени сжатия различают следующие типы компрессорных машин:

- *вентиляторы* – для перемещения больших количеств газов (степень сжатия менее 1,1);

- *газодувки* - для перемещения газов при относительно высоком сопротивлении газопроводящей сети (степень сжатия от 1,1 до 3,0);

- *компрессоры* - для создания высоких давлений (степень сжатия более 3,0);

- *вакуум-насосы* - для отсасывания газов при давлении ниже атмосферного.

По принципу действия компрессорные машины делятся на:

- *поршневые*;

- *центробежные*;

- *осевые*;

- *струйные*.

Поскольку газы являются сжимаемыми средами, при перемещении изменяются не только их объем, но давление и температура.

Изменение состояния газа может происходить тремя способами:

- *изотермическое сжатие*, при котором температура обрабатываемой среды не меняется, а удельная работа по осуществлению этого процесса может быть определена;

- *адиабатический процесс*;

- *политропический (действительный) процесс*, при котором происходит изменение температуры и увеличение внутренней энергии.

*Поршневые компрессоры*. По числу всасываний и нагнетаний поршневые насосы бывают - простого и двойного действия, по числу ступеней, в которых происходит сжатие газа, - одноступенчатые и многоступенчатые. По расположению поршня - горизонтальные, вертикальные и угловые.

Поршневые машины используют также и в качестве вакуум-насосов. При этом устройства, откачивающие только газы, называются сухими, а откачивающие одновременно газ и жидкость - мокрыми. Поршневые компрессоры имеют высокий КПД (0,85...0,90), могут создавать высокие давления, однако обладают низкой производительностью, подача газа неравномерна, они неприменимы при наличии в перекачиваемых средах абразивных включений.



### *Центробежные машины*

В зависимости от создаваемого напора условно различают: вентиляторы (напор 1...3 кПа и реже до 10 кПа); турбогазодувки (напор 30...40 кПа, реже до 0,3 МПа), турбокомпрессоры (напор до 0,5 МПа, реже до 1,3 МПа),

*Вентиляторы* по устройству и принципу действия аналогичны центробежным насосам и состоят из кожуха, в котором вращается рабочее колесо с загнутыми лопатками. Под действием центробежной силы газ выбрасывается из межлопаточных каналов в спиральный кожух, а затем в напорный трубопровод. Поскольку газ имеет незначительную плотность, действующая на него центробежная сила мала и достигаемые значения напора невелики. Различают вентиляторы низкого и высокого давления. Вентиляторы надежны и просты в эксплуатации, могут перекачивать запыленные газы, при изготовлении из специальных материалов используются для транспортирования коррозионно-агрессивных газов.

В *турбогазодувках* благодаря их конструкции достигается дополнительное сжатие газа на каждой последующей ступени без изменения скорости вращения рабочих колес и их размеров.

*Турбокомпрессоры* по конструкции близки к турбогазодувкам, но по мере увеличения степени сжатия газа уменьшаются ширина и диаметр рабочих колес, которые к тому же часто размещают в нескольких корпусах. Кроме того, в связи со значительными степенями сжатия в таких конструкциях предусмотрен отвод теплоты при подаче воды в специальные каналы внутри корпуса либо в промежуточные холодильники между секциями.

Центробежные газовые машины нашли широкое применение в технике из-за компактности, простоты конструкций и возможности изготовления из различных коррозионно- и износоустойчивых материалов, равномерной подачи газа при низких степенях сжатия и высокой производительности.

*Осевые (пропеллерные) вентиляторы* аналогичны осевым насосам. По сравнению с центробежными вентиляторами они имеют более высокий КПД, но более низкий напор, что позволяет использовать их для перемещения больших объемов газа по коммуникациям с низким гидравлическим сопротивлением.

*Осевые компрессоры* включают несколько ступеней, каждая из которых состоит из рабочего вращающегося и неподвижного венцов лопастей. Рабочие лопасти установлены на дисках или барабане ротора, неподвижные лопасти жестко закреплены в корпусе компрессора. Число ступеней составляет 10...20, поскольку степень сжатия не превышает 4, охлаждение газа не требуется.

В *струйных вакуум-насосах* для создания разрежения используют энергию рабочей жидкости (или пара) при непосредственном контакте между ними. Рабочая среда подается в вакуум-насос через патрубок, причем на выходе из сужающегося сопла она приобретает большую скорость, что способствует подсасыванию газа через патрубок в камеру смешения. Затем смесь через горловину поступает в диффузор (расширяющуюся трубу). Несмотря на низкий КПД (0,15...0,4) струйные вакуум-насосы применяют в различных производственных процессах из-за отсутствия движущихся частей, простоты устройства, возможности перекачивания агрессивных газов, использования в качестве смесителя (конденсатора).

Вентиляторы и газодувки большой производительности, создающие разрежение, называются *эксгаустерами*.

### ***Вопросы для самоконтроля***

По каким признакам классифицируются гидравлические машины?

2 Какими параметрами характеризуется работа гидравлических машин?

На чем основана классификация компрессорных машин?

4 От каких факторов зависит давление, развиваемое центробежным насосом?

5 Что является движущей силой, обеспечивающей перемещение жидкостей насосом?

### ***Литература***

[1, стр.14]; [4, стр.33]; [6, стр.132].

## Тема 2.2 Разделение жидких и газовых гетерогенных систем

### Разделение неоднородных смесей

Неоднородные, или *гетерогенные*, системы - системы, состоящие из нескольких фаз.

Любая неоднородная бинарная система состоит из *дисперсной фазы* (внутренней) и *дисперсионной среды* сплошной внешней фазы, в которой распределены частицы дисперсной фазы.

В зависимости от физического состояния фаз различают:

- *суспензии* – неоднородные системы, состоящие из жидкости и взвешенных в ней твердых частиц. В зависимости от размеров твердых частиц суспензии условно подразделяют на грубые (более 100 мкм), тонкие (0,5-100 мкм) и мути (0,1-0,1 мкм);

- *эмульсии* – системы, состоящие из жидкости и распределенных в ней капель другой жидкости, не смешивающейся с первой. Под действием силы тяжести эмульсии расслаиваются, но при незначительных размерах капель (менее 0,4-0,5 мкм) или при добавлении стабилизаторов эмульсии становятся устойчивыми и не расслаиваются в течение длительного времени;

- *пены* – системы, состоящие из жидкости и распределенных в ней пузырьков газа;

- *пыли и дымы* – системы, состоящие из газа и распределенных в нем частиц твердого вещества (размеры твердых частиц пылей составляют 3070 мкм). Дымы получают в результате процессов конденсации паров (газов) при переходе их в жидкое или твердое состояние, при этом образуются твердые взвешенные в газе частицы размерами 0,3-5 мкм. При образовании дисперсной фазы из частиц жидкости таких же размеров возникают *туманы*. Пыли, дымы и туманы – аэродинамические системы, или аэрозоли.

Выбор метода разделения жидких и газовых неоднородных систем обуславливается размерами взвешенных частиц, разностью плотностей дисперсной и сплошной фаз, а также вязкостью сплошной фазы. Применяют следующие основные *методы разделения*:

1 *Осаждение* - процесс разделения, при котором взвешенные в жидкости и газе твердые или жидкие частицы отделяются от сплошной фазы под действием силы тяжести, сил инерции (в том числе центробежных) или электростатических сил. Осаждение под действием силы тяжести – *отстаивание*, применяемое для предварительного, грубого разделения неоднородных систем. Для ускорения отстаивания частицы дисперсной фазы часто укрупняют, вызывая их *коагуляцию* под действием некоторых веществ.

Отстаивание проводят в аппаратах, называемых *отстойниками*, или *сгустителями*.

2 *Фильтрация* - процесс разделения с помощью пористой перегородки, способной пропускать жидкость или газ, но задерживать взвешенные в среде твердые частицы. Оно осуществляется под действием сил давления или центробежных сил и применяется для более тонкого разделения суспензий и пылей, чем путем осаждения.

Разделение суспензий, состоящих из жидкости и взвешенных в ней твердых частиц, производят при помощи *фильтра*, который является сосудом, разделенным

на две части фильтровальной перегородкой. В разделенных частях сосуда создают разность давлений, под действием которой жидкость проходит через поры фильтровальной перегородки, а твердые частицы задерживаются на ее поверхности - фильтрация с образованием осадка. Иногда частицы проникают в поры фильтровальной перегородки и задерживаются там, не образуя осадка, - фильтрация с закупориванием пор.

Наиболее распространенные типы фильтров:

- *нутч-фильтр* - наиболее простой фильтр, работающий под вакуумом или давлением (под давлением сжатого газа), в котором направления силы тяжести и движения фильтрата совпадают;

- *фильтрпресс* с вертикальными рамами, работающий под давлением, в котором направления силы тяжести и движения фильтрата перпендикулярны. Этот фильтр можно рассматривать как ряд нутчей, размещенных вертикально вплотную один к другому, в результате чего достигается большая поверхность фильтрации, отнесенная к единице производственной площади, занимаемой фильтром;

- *барабанный фильтр* - аппарат непрерывного действия, работающий под вакуумом и характеризующийся противоположными направлениями силы тяжести и движения фильтрата

*3 Разделение в поле центробежных сил:*

- *центрифугирование* (разделяемая смесь закручивается вместе с аппаратом, в который подается);

- *циклонный процесс* (разделяемая смесь закручивается в неподвижном аппарате).

Центрифугирование осуществляется в аппаратах, которые называются *центрифугами* и *сепараторами*. В центрифугах основной частью является цилиндрический барабан – ротор, в сепараторах – набор (пакет) тарелок, вращающихся с высокой скоростью.

*Циклонные процессы* осуществляют в циклонных аппаратах - инерционных пылеуловителях, в которых центробежные силы возникают вследствие тангенциального движения запыленного потока. Закручивание разделяемой системы и создание центробежного поля осуществляются в них с помощью неподвижных закручивающих устройств, установленных на входе в эти аппараты.

**Разделение неоднородных смесей под действием электрического поля**

Электроочистка применяется для выделения из газовых потоков мелких частиц, которые трудно осадить предыдущим методом. Принцип электроосаждения заключается в ионизации газового потока, содержащего твердые частицы или мелкие капли. Если газ поместить в электрическое поле, образованное двумя электродами, к которым подведен ток высокого напряжения, то молекулы газа ионизируются, то есть расщепляются на катионы и электроны. При повышении разности потенциалов между электродами до нескольких десятков тысяч вольт кинетическая энергия ионов и электронов возрастает настолько, что они, сталкиваясь с нейтральными молекулами газа, будут расщеплять их на катионы и электроны. Таким образом, газ ионизируется полностью, между электродами возникает коронный разряд. Электрод, вокруг которого образуется «корона» - коронирующий электрод, а другой, противоположно заряженный электрод, выполненный в виде трубы или пластины – осадительный электрод. Коронирующий

электрод присоединяют к отрицательному полюсу источника тока, а осадительный – к положительному.

Под действием электрического поля катионы движутся к коронирующему электроду и нейтрализуются на нем, а анионы и свободные ионы перемещаются к осадительному электроду. Соприкасаясь со встречными пылинками и капельками, находящимися в газе, они сообщают последним свой заряд и увлекают их к осадительному электроду.

### **Мокрая очистка газов**

Применяется для тонкой очистки газов от пыли. Тесное взаимодействие между жидкостью и запыленным газом осуществляется в мокрых пылеуловителях либо на поверхности жидкой пленки, стекающей по вертикальной или наклонной плоскости (пленочные или насадочные скрубберы), либо на поверхности капель (полые скрубберы) или пузырьков газа (барботажные пылеуловители).

Охлаждение газа ниже температуры конденсации находящихся в нем паров жидкости способствует увеличению веса пылинок и облегчает выделение их из газа. Наиболее существенным недостатком мокрой очистки газов является образование большого количества сточных вод (шламов), которые вызывают коррозию аппаратуры и должны подвергаться дальнейшему разделению или очистке.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какие гетерогенные системы существуют?
- 2 Каков физический смысл разделения в поле сил тяжести (отстаивание)?
- 3 Каков физический смысл процесса фильтрования?
- 4 Какие основные типы фильтров применяются в промышленности, и какие требования к ним предъявляются?
- 5 Каков физический смысл разделения в поле центробежных сил?
- 6 На чем основан принцип разделения неоднородных смесей под действием электрического поля?

### ***Литература***

[1, стр.25]; [4, стр.35]; [6, стр.186].

## РАЗДЕЛ 3 Тепловые процессы

### Тема 3.1 Источники энергии и теплообменная аппаратура

#### Источники энергии

Источники энергии разделяют на топливные (уголь, нефть, природный газ, сланцы, битуминозные пески, торф, биомасса) и не топливные (гидроэнергия, энергия ветра, лучистая энергия Солнца, глубинная теплота Земли и др.); возобновляемые и не возобновляемые; первичные и вторичные.

Все возобновляемые источники энергии являются в той или иной мере производными от энергии Солнца и классифицированы по следующим критериям: солнечная энергия (прямая радиация); гидроэнергетические ресурсы (испарительно-конденсационный цикл); энергия ветра и волн; биомасса (растительного и животного происхождения).

К практически неисчерпаемым источникам энергии относят геотермальные и термоядерные.

К не возобновляемым источникам энергии относятся те, запасы которых по мере их добычи необратимо уменьшаются (уголь, нефть, сланцы и др.).

Все рассмотренные виды источников энергии относятся к первичным.

Вторичными источниками энергии являются отходы, побочные и промежуточные продукты, образующиеся в технологических агрегатах.

В зависимости от агрегатного состояния выделяют следующие виды топлива:

- твердое (бурый и каменный уголь, торф, сланцы, кокс, древесный уголь и др.);
- жидкое (нефть, газовый конденсат, бензин, керосин, смолы и др.);
- газообразное (природный газ, шахтный газ, коксовый, доменный и др.).

Нагревание сред до необходимых температур в промышленности осуществляют с помощью *греющих теплоносителей*.

*Водяной пар* (особенно насыщенный) как греющий теплоноситель получил большое распространение в теплообменных аппаратах различных конструкций, поскольку его можно транспортировать по трубопроводам на большие расстояния, при его конденсации выделяется значительное количество теплоты, он доступен, дешев, нетоксичен и пожаробезопасен.

*Горячая вода* (при нормальных давлениях) как греющий теплоноситель получила широкое распространение для нагрева сред до температур порядка 100 °С, особенно в отопительных и вентиляционных установках. Горячую воду можно транспортировать по трубопроводам на значительные расстояния, она обладает достаточно высокими коэффициентами теплоотдачи. Но нагревание горячей водой сопровождается снижением ее температуры вдоль поверхности теплообмена, что ухудшает равномерность обогрева и затрудняет регулирование температуры.

*Топочные (дымовые) газы* позволяют нагревать среды в интервале температур 180...1000 °С. Образуются они при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива в топках или печах различной конструкции. *Высокотемпературные промежуточные теплоносители* получают теплоту либо от топочных газов, либо от электрического тока и передают ее нагреваемому материалу.

*Перегретая вода* (выше 100°C) существует при повышенных давлениях. Например, при температуре около 370°C и давлении 22,5 МПа перегретая вода позволяет нагревать материалы до 350°C. Но обогрев перегретой водой из-за высоких давлений значительно удорожает нагревательную установку.

*Минеральные масла* позволяют нагревать среды до температуры 300 °С. Этот способ имеет недостатки: низкие коэффициенты теплоотдачи, пожароопасность и др.

*Высокотемпературные органические теплоносители* (ВОТ) позволяют осуществлять нагрев до температуры 400°C. К этим теплоносителям относятся глицерин, нафталин, этиленгликоль, а также производные ароматических углеводородов (дифенил, эфир, дитомилметан и др.), кремнийорганические жидкости и т. п. Большинство ВОТ отличается термической стойкостью, взрывобезопасностью, значительными коэффициентами теплоотдачи и теплотворной способностью при нормальном давлении.

*Расплавы солей* (нитрит-нитратные смеси) предназначены для нагрева веществ до температуры 559°C. Так как эти смеси являются сильными окислителями, по соображениям взрывобезопасности недопустим их контакт с органическими веществами.

*Расплавы металлов* (литий, натрий, ртуть, свинец и др.) применяют для нагрева до температуры 800°C. Сплав натрия и калия является весьма опасным горючим веществом. Ртуть применяется при атмосферном давлении для подачи теплоты только при пониженной температуре. Пары ее являются очень токсичными. В настоящее время жидкие металлы приобретают особое значение при их применении в качестве теплоносителей в реакторах атомных электростанций.

*Твердые зернистые теплоносители* позволяют нагревать различные технологические газы до температуры 1500°C, в качестве зернистых теплоносителей применяют жаростойкие твердые материалы (кварц, диабаз, алунд, шамот и др.). Они имеют большую удельную поверхность, благодаря чему в сравнительно небольших аппаратах удается разместить значительные теплообменные поверхности и осуществить эффективный теплообмен между заполняющими аппараты зернистыми материалами и продуваемыми через них газами.

*Нагревание электрическим током* характеризуется легкостью и точностью регулирования, равномерностью обогрева, компактностью нагревающих устройств.

### **Охлаждение**

Для охлаждения до обыкновенных температур (10-30°C) используются доступные и дешевые охлаждающие агенты - воду и воздух. Для экономии воды и охраны окружающей среды на предприятиях вводят систему водоснабжения, при которой практически отсутствует забор свежей и слив отработанной воды в водоемы. Обратная вода в дальнейшем подвергается обработке в теплообменных устройствах, позволяющих понизить ее температуру.

При использовании атмосферного воздуха как охлаждающего агента процесс теплопередачи осуществляют обычно при принудительной циркуляции воздуха, требующей дополнительных энергозатрат на вентиляционное оборудование. Для достижения температур, близких к 0°C, производят охлаждение льдом. При этом лед вносится непосредственно в охлаждаемую жидкость и плавится в ней. Такой

метод охлаждения применяется для жидкостей, которые не взаимодействуют с водой, и при этом допускается их разбавление. Для охлаждения до температур ниже 0 °С применяют холодильные рассолы (растворы CaCl<sub>2</sub>, NaCl и др.), обладающие температурой замерзания ниже этой величины.

### **Теплообменная аппаратура**

В теплообменных аппаратах могут происходить разнообразные процессы: нагревание, охлаждение, испарение, конденсация, кипение и др.

По принципу действия теплообменные аппараты подразделяют на поверхностные (рекуперативные), регенеративные и смесительные.

Поверхностные теплообменные аппараты представляют собой теплообменные устройства, в которых теплоносители разделены стенками различной конфигурации, через которую передается тепловой поток.

В регенеративных теплообменных аппаратах передача теплоты от одного теплоносителя к другому происходит с помощью теплоаккумулирующей массы, называемой насадкой.

Теплообменники смешения применяют в тех случаях, когда нет необходимости иметь чистые конденсаты и продукты нагрева для их последующего использования, они достаточно просты и дешевы. Для отвода теплоты конденсации паров служит холодная вода, которая, смешиваясь с конденсатом, сливается в канализацию.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Какие источники энергии относятся к первичным и вторичным?
- 2 Какие горячие теплоносители могут быть использованы в процессах нагревания?
- 3 Какие горячие теплоносители могут быть использованы в процессах охлаждения?
- 4 На какие типы делятся теплообменники по принципу действия?

### ***Литература***

[1, стр.42]; [4, стр.60]; [6, стр.310].



## **Тема 3.2 Выпаривание растворов. Искусственное охлаждение**

### **Выпаривание растворов**

Выпаривание - это процесс концентрирования твердых нелетучих веществ путем частичного удаления растворителя в виде пара. Насыщенный водяной пар, используемый в качестве горячего теплоносителя, называется греющим или первичным, а пар, образующийся в процессе кипения раствора, называется вторичным.

Процесс выпаривания может осуществляться под вакуумом, при атмосферном и избыточном давлениях. При выпаривании под вакуумом снижается температура кипения раствора, что позволяет использовать для обогрева аппарата греющий газ низкого давления. Способ применим при выпаривании растворов, чувствительных к высокой температуре. Выпаривание при атмосферном давлении является наиболее простым, но наименее экономичным способом, поскольку вторичный пар обычно не используется и выбрасывается в атмосферу. Выпаривание под избыточным давлением вызывает повышение температуры кипения раствора, что позволяет использовать вторичный пар (экстрапар) для других теплотехнических целей. Этот способ применим только для выпаривания термически стойких веществ и осуществим при использовании высокотемпературного греющего пара.

Различают также простое выпаривание, проводимое в однокорпусных выпарных установках, в которых греющий пар используется однократно. Простое выпаривание осуществляется на установках небольшой производительности, когда затраты теплоты не имеют большого значения. Для экономии греющего пара применяют многократное выпаривание, осуществляемое в многокорпусных установках, в которых вторичный пар каждого предыдущего корпуса используется в качестве греющего для последующего корпуса. В этом случае процесс выпаривания осуществляется в нескольких соединенных последовательно аппаратах, в которых поддерживается определенное давление.

По принципу работы выпарные аппараты разделяются на периодически действующие (применяются для получения растворов высоких концентраций при небольших производительностях) и непрерывно действующие (имеют значительные производительности, более экономичны в тепловом отношении, легко автоматизируются и регулируются).

По методу выпаривания выпарные установки бывают: поверхностного типа (в них раствор контактирует с поверхностью теплообмена); контактного типа (в них нагревание осуществляется без разделяющей поверхности теплообмена); адиабатного испарения.

В установках адиабатного испарения концентрирование растворов осуществляется путем испарения растворителя в рабочей камере, давление в которой ниже давления насыщения, соответствующего температуре поступающей в камеру жидкости.

### **Искусственное охлаждение**

В холодильных установках перенос теплоты от среды с низкой температурой к среде с высокой температурой осуществляется с помощью промежуточной среды, называемой холодильным агентом, или хладагентом.

Снижение температуры хладагента при проведении процессов искусственного охлаждения может осуществляться:

- испарением низкокипящих жидкостей;
- расширением предварительно сжатых газов.

В холодильных машинах, применяемых для получения умеренных температур, чаще применяют: аммиак, диоксид серы, диоксид углерода, хладоны (насыщенные фторуглероды, содержащие хлор, реже - бром).

В зависимости от принципа действия и вида затрачиваемой энергии различают:

- *парокомпрессионные машины*, в которых происходит циклическое испарение и конденсация хладагента после сжатия с помощью компрессора;
- *газокомпрессорные машины*, в которых происходит расширение предварительно сжатых в компрессоре газов, но отсутствует стадия их конденсации;
- *абсорбционные холодильные машины*, в которых используется способность вещества абсорбировать хладагент;
- *пароэжекторные холодильные машины*, в которых сжатие хладагента производится с помощью парового эжектора, а конденсация — смешением с водой.

Парокомпрессионные холодильные машины наиболее распространены и экономичны. В качестве хладагента в них используются аммиак ( $\text{NH}_3$ ), диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) или диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ). Наименьшие энергетические затраты на получение искусственного холода достигаются в идеальной компрессионной машине, работающей по обратному циклу Карно.

В абсорбционных холодильных установках в отличие от компрессионных используется не механическая работа компрессора, а сорбционные свойства взаимодействующих сред, процесс отгонки хладагента из растворителя с последующим проведением обратного процесса улавливания парообразного хладагента охлажденным растворителем. В установках такого типа чаще всего применяют систему аммиак (хладагент) — вода (растворитель).

Пароэжекторные холодильные установки работают благодаря кинетической энергии расширяющего потока газа или пара. Это позволяет использовать в них в качестве хладагента воду или захлажденные рассолы на ее основе.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1 Какие виды хладагентов используются при осуществлении процесса умеренного охлаждения?
- 2 Какие машины могут применяться для охлаждения?
- 3 Каковы принципы и особенности эксплуатации абсорбционных холодильных установок?
- 4 В чем заключается принцип работы пароэжекторных холодильных установок?

### **Литература**

[1, стр.50]; [4, стр.118]; [6, стр.324, 347].

## РАЗДЕЛ 4 Массообменные процессы

### Тема 4.1 Абсорбция

*Массообменные (диффузионные) процессы* - технологические процессы, скорость которых определяется скоростью переноса вещества из одной фазы в другую. Движущей силой массообменных процессов является разность концентраций.

*Абсорбция* - процесс избирательного поглощения компонентов из газовых или парогазовых смесей жидкими поглотителями, называемыми абсорберами.

Принцип абсорбции основывается на различной растворимости компонентов газовых и парогазовых смесей в жидкостях при одних и тех же условиях.

При выборе абсорбента необходимо учитывать такие его свойства, как селективность (избирательность) по отношению к поглощаемому компоненту, токсичность, пожароопасность, стоимость, доступность и др.

Различают физическую абсорбцию и химическую абсорбцию (хемосорбцию). При физической абсорбции поглощаемый компонент образует с абсорбентом только физические связи. Процесс этот в большинстве случаев является обратимым. На этом свойстве основано выделение поглощенного компонента из раствора — *десорбция*. Если поглощаемый компонент вступает в реакцию с абсорбентом и образует химическое соединение, то процесс называют *хемосорбцией*.

Процесс абсорбции обычно является *экзотермическим*, т. е. сопровождается выделением теплоты.

Установлено, что к параметрам, улучшающим условия абсорбции, относятся повышенное давление и пониженная температура, а к факторам, способствующим десорбции, — пониженное давление, повышенная температура и введение в абсорбер добавок, уменьшающих растворимость газов в жидкостях.

В технологических процессах наиболее широко используются непрерывные процессы абсорбции. При прямоточной схеме взаимодействия газа (пара) и жидкости их потоки движутся параллельно друг другу, а при противоточной - в противоположных направлениях.

*Абсорбционные аппараты* в зависимости от форм контакта газа (пара) и жидкости подразделяют следующим образом:

- *поверхностные абсорберы* используют для поглощения хорошо растворимых газов и их компонентов с выделением большого количества теплоты, поскольку эти аппараты снабжены высокоэффективной системой ее отвода;

- *трубчатые абсорберы*, в которых газ контактирует с пленкой жидкости, стекающей по поверхностям различных конфигураций;

- *насадочные абсорберы* - колонные аппараты, заполненные насадками (твердыми телами различной формы), основным назначением которых является распределение пленки жидкости по всей поверхности для создания развитой поверхности межфазного контакта;

- *барботажные абсорберы* - аппараты, в которых поверхность контакта между жидкостью и газом образуется в результате дробления газа на струи и пузырьки, барботирующие через слой жидкости;

- *распиливающие абсорберы*, в которых поверхность соприкосновения фаз создается путем распыления жидкости в массу газа на мелкие капли.

***Вопросы для самоконтроля***

- 1 В чем заключается физический смысл и особенности процесса абсорбции?
- 2 Какие факторы и как оказывают влияние на процесс абсорбции?
- 3 Какие основные типы абсорберов существуют?

***Литература***

[1, стр.57]; [4, стр.202]; [6, стр.324, 434].

## Тема 4.2 Ректификация

*Ректификация* – способ разделения однородных жидких смесей, состоящих из нескольких компонентов, основанный на противоточном взаимодействии двух неравновесных фаз – жидкости и пара, образующихся из этой смеси. При этом пар при движении постоянно обогащается низкокипящим (легколетучим), а жидкость – высококипящим (труднолетучим) компонентом. Процесс ректификации может осуществляться непрерывно и периодически под атмосферным давлением и избыточным давлением, а также под вакуумом.

Принцип работы ректификационной установки заключается в следующем. Снизу вверх по колонне движется поток пара, представляющего собой практически чистый труднолетучий компонент. При его перемещении происходит конденсация поднимающегося пара, и за счет теплоты конденсации – испарение находящегося в этой зоне легколетучего компонента. Таким образом, происходит постоянное удаление из выходящего пара труднолетучего компонента и обогащение его легколетучим. В результате из верхней части колонны выгружаются пары практически чистого легколетучего компонента, который затем конденсируется в дефлегматоре. Получаемая жидкость разделяется на два потока. Первый поток – флегма, возвращается назад в колонну, создавая нисходящий поток жидкости, состоящий практически из чистого легколетучего компонента. Стекая вниз по колонне и взаимодействуя с восходящим паром, флегма постоянно обогащается конденсирующимся из нее труднолетучим компонентом, заменяя постоянно испаряющийся легколетучий компонент. В результате жидкость, достигающая нижней части колонны, состоит практически из низколетучего компонента. Второй поток жидкости – дистиллят перекачивается в качестве целевого продукта. Жидкость, выходящая из нижней части колонны, также делится на два потока. Первый поток в виде пара подается назад в колонну, второй – кубовый остаток после охлаждения – в сборник.

*Экстрактивная ректификация* предназначена для разделения смесей компонентов с близкими температурами кипения и очень низкой летучестью. В этом случае в исходную смесь вводится компонент, предназначенный для резкого увеличения летучести основных компонентов. Он должен быть менее летуч, чем оба исходных, и хорошо растворять низколетучий компонент разделяемой смеси.

*Азеотропная ректификация* смеси  $A$  и  $B$ , находящейся в термодинамическом равновесии, осуществляется аналогичным способом. К азеотропной смеси (азеотропная смесь — жидкая смесь, находящаяся в термодинамическом равновесии с газовой фазой одинакового с ней состава) добавляют третий компонент  $C$ , образующий с одним из разделяемых компонентов новую (более летучую, чем исходная) азеотропную смесь. Последняя выделяется в качестве дистиллята, а другой практически чистый компонент удаляется в виде кубового остатка.

Для ректификации используют практически *аппараты колонного типа* — насадочные и барботажные ректификационные колонны.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1 В чем заключаются физический смысл и назначение процесса дистилляции ректификации?
- 2 В чем заключается принцип работы периодически действующих ректификационных установок?
- 3 В чем заключается принцип экстрактивной и азеотропной ректификации?
- 4 Какие типы ректификационных аппаратов используют в промышленности?

### ***Литература***

[1, стр.66]; [4, стр.245]; [6, стр.324, 482].

## Тема 4.3 Экстракция

*Экстракция* - массообменный процесс извлечения компонента из жидких смесей или твердых веществ жидким растворителем (экстрагентом), избирательно растворяющим только извлекаемые компоненты. В соответствии с агрегатным состоянием взаимодействующих фаз различают *жидкостную экстракцию*, характеризующуюся извлечением компонента, растворенного в одной жидкости другой жидкостью, не растворимой и не смешивающейся с первой, и *экстрагирование (выщелачивание)*, заключающееся в растворении компонента, находящегося в твердой фазе, жидкостью с последующим удалением его вместе с ней.

Принцип экстракции в системе жидкость - жидкость основан на различной растворимости распределяемого компонента в распределяющих веществах. Из-за простоты осуществления, низких энергетических затрат и высокой эффективности процесса жидкостной экстракции она успешно конкурирует, а иногда используется в сочетании с другими процессами разделения (ректификацией, выпариванием и др.). Ею можно разделять азеотропные смеси, а также смеси компонентов с близкими температурами кипения и малой относительной летучестью.

Основные промышленные экстракты, применяемые в процессах экстракции, подразделяются на три класса:

- органические кислоты или их соли (алифатические моно- карбоновые кислоты, нафтеновые кислоты, сульфокислоты, фенолы, оксиды, кислые эфиры фосфорной кислоты), которые извлекают катионы металлов в органическую фазу из водной;
- соли органических оснований (соли первичных, вторичных и третичных аминов, а также четвертичных аммониевых оснований), с помощью которых извлекают анионы металлов из водных растворов;
- нейтральные растворители (вода, спирты, простые и сложные эфиры, альдегиды и кетоны), с помощью которых осуществляют разные механизмы извлечения в зависимости от кислотности исходного раствора.

Промышленные *экстракторы* представляют собой устройства непрерывного действия. Экстракторы периодического действия применяют в малотоннажных производствах и при лабораторных работах.

По характеру изменения состава жидких фаз экстракционные аппараты делятся на *смесительно-отстойные, колонные и центробежные*.

В смесительно-отстойных экстракторах происходит смешение и разделение фаз в каждой ступени. Поэтому концентрации извлекаемого компонента в экстрагенте и обрабатываемой смеси изменяются ступенчато. *Колонные экстракторы*. В них осуществляется непрерывный или близкий к непрерывному контакт экстрагента и исходного раствора. Фазы движутся противотоком друг к другу и непрерывно разделяются на выходе из аппарата. Концентрация извлекаемого компонента в фазах изменяется также непрерывно по всему аппарату.

Колонные экстракторы подразделяются на распылительные (полые), насадочные, тарельчатые, пульсационные и роторно-дисковые. Распылительные (полые) экстракторы представляют собой пустотелые колонны, заполненные одной

из взаимодействующих жидкостей. Если экстрактор заполнен тяжелой жидкостью, то более легкая расплывается в нее с помощью диспергирующего устройства, установленного в нижней части аппарата. Если в качестве сплошной фазы используется легкая жидкость, тяжелая жидкость расплывается в нее сверху. На некотором уровне капли дисперсной фазы сливаются и образуют слой, отделенный от сплошной фазы поверхностью раздела. Над ней установлен патрубок для отвода экстракта. Из нижней части колонны постоянно отводится сплошная фаза в качестве рафината.

В центробежных экстракторах в качестве дополнительной механической энергии, обеспечивающей эффективное диспергирование, повышение относительной скорости движения фаз, а также интенсивного разделения, используется центробежная сила.

*Экстрагирование (экстракция в системе жидкость—твердое тело)* представляет собой процесс извлечения одного или нескольких компонентов, распределенных в твердом веществе. Извлекаемый компонент либо в твердом, либо в жидком состоянии может находиться в твердом веществе, скелет которого играет роль инертного носителя.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 В чем заключаются принцип и назначение процессов экстракции?
- 2 Какие требования предъявляют к экстрагентам (растворителям) в процессах жидкостной экстракции?
- 3 Какие основные конструкции жидкостных экстракторов применяются в промышленности?
- 4 В чем заключаются принцип и особенности процесса экстрагирования?

### ***Литература***

[1, стр.72]; [6, стр.520].



## Тема 4.4 Адсорбция

*Адсорбция* - массообменный процесс избирательного поглощения компонентов из газовых (паровых) систем и жидкостей твердыми поглотителями-адсорбентами.

По сравнению с другими массообменными процессами адсорбция наиболее эффективна в случае малого содержания извлекаемого компонента в исходной смеси.

Различают два вида адсорбции: физическую и химическую.

*Физическая адсорбция* вызывается силами взаимодействия молекул поглощаемого вещества с адсорбентом без образования химических связей.

*Химическая адсорбция (хемосорбция)* характеризуется химическим взаимодействием между средой и адсорбентом, что позволяет образовывать новые химические соединения на поверхности и внутри адсорбента.

Оба вида адсорбции экзотермичны.

*Десорбция* — процесс обратный адсорбции, заключающийся в извлечении из адсорбента адсорбированных веществ, предназначенный для восстановления его первоначальных свойств.

К сорбционным процессам относятся также *ионообменные процессы*, заключающиеся во взаимодействии растворов электролитов с сорбентами - ионитами, обладающими способностью обменивать присутствующие в них свободные ионы на ионы, находящиеся в растворе.

Количество вещества, поглощенного адсорбентом, часто называют *активностью*, на которую оказывают влияние следующие факторы:

- *природа поглощаемого вещества*, как правило, чем больше молекулярный вес поглощаемого газа и чем меньше растворимость поглощаемого вещества в жидкости, тем выше активность;

- *температура*, с увеличением температуры равновесная активность адсорбента уменьшается;

- *давление*, с увеличением давления равновесная активность адсорбента увеличивается;

- *примеси в фазе*, из которой поглощается вещество, уменьшают равновесную активность.

### Адсорбенты

В качестве адсорбентов в промышленности используют твердые материалы, обладающие большой удельной поверхностью. Большое значение имеют также химическая стойкость адсорбента в рабочей среде, его механическая прочность и размер частиц.

Одна из наиболее распространенных групп адсорбентов - это *активированные угли*. Активированные угли имеют удельную поверхность 600... 1700 м<sup>2</sup>/г и обладают гидрофобными свойствами (поглощают органические вещества и не поглощают воду). Этот адсорбент применяется для выделения веществ, как из газовой, так и из жидкой фаз. Недостатки активированных углей - горючесть и низкая механическая прочность.

*Силикагель* - высушенный гель двуокиси кремния. Различные сорта силикагеля имеют удельную поверхность 300...800 м<sup>2</sup>/г. Размер пор может

изменяться в широких пределах в зависимости от принятой технологии приготовления. Силикагель наиболее прочен по сравнению с другими адсорбентами. Являясь гидрофобным адсорбентом, он не может использоваться для поглощения компонентов из водных растворов, но успешно применяется при адсорбции из газов и из неводных растворов.

*Алюмогель* получается термической обработкой гидрата оксида алюминия, гидрофобен, также как и силикагель, он может применяться при температурах выше 500 °С.

*Молекулярные сита* - адсорбенты с очень тонкими пораами, размеры которых соизмеримы с размерами молекул. К ним относятся *цеолиты* - водные алюмосиликаты натрия и кальция. Использование молекулярных сит позволяет разделять смеси веществ по размерам их молекул и гибко управлять процессом адсорбции.

*Иониты*, также как и адсорбенты, для эффективного процесса обмена должны обладать максимальной поверхностью контакта с раствором.

Основные способы проведения адсорбции таковы:

- с неподвижным слоем адсорбента;
- с движущимся слоем адсорбента;
- с псевдооживленным слоем адсорбента.

*Аппараты с неподвижным слоем адсорбента* представляют собой вертикально установленную цилиндрическую емкость, заполненную адсорбентом. Эти аппараты работают периодически, причем полный цикл их работы сводится обычно к четырем стадиям. Первая стадия - собственно адсорбция - насыщение поглотителя адсорбируемым компонентом. Вторая - десорбция - выделение поглощенного компонента из адсорбента. Третья стадия - сушка адсорбента - удаление остатка конденсата (образовавшегося на стадии десорбции за счет воздействия регенерирующего пара) из адсорбента горячим воздухом. Четвертая стадия - охлаждение адсорбента - поскольку активность адсорбента повышается с уменьшением его температуры, после сушки он обрабатывается холодным воздухом. Включение в технологическую схему нескольких адсорберов с неподвижным слоем адсорбента позволяет создавать условия для его непрерывной работы. При этом в одном аппарате осуществляется стадия адсорбции, а в другом (других) — стадии десорбции и регенерации адсорбента. Недостатки таких аппаратов: сложность управления; необходимость частых переключений, пропарок, сушек и охлаждений адсорбента вызывает неизбежные потери материалов; непропорциональный расход водяного пара и воздуха; велика вероятность возникновения каналов в слое адсорбента.

*Аппараты с движущимся слоем адсорбента* подразделяются на аппараты в виде полых колонн, применяемые в основном для адсорбции компонентов из газовых и паровых смесей и аппараты с механическими транспортными приспособлениями, используемые при обработке жидкостей. Достоинством этих аппаратов является возможность регулирования режимов их работы, подбора аппаратов оптимальной конструкции и размеров, осуществления непрерывности процесса.

*Аппараты с псевдооживленным слоем адсорбента* подразделяются на одно- и многоступенчатые. Они обеспечивают хорошие условия для осуществления

интенсивного массообмена в связи с постоянным перемешиванием частиц адсорбента в слое.

*Ионообменная аппаратура* по конструкции и принципу действия близка к адсорбционным установкам. Цикл ионообменного процесса включает в себя следующие стадии: сорбция ионов из исходного раствора; отмывка ионита от исходного раствора; регенерация ионита; отмывка ионита от регенерирующего раствора. Для ионного обмена используются аппараты периодического и непрерывного принципа действия с неподвижным, движущимся, пульсирующим, перемешиваемым и циркулирующим ионитом.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 В чем заключаются принцип и назначение процессов адсорбции и ионного обмена?
- 2 Какие вещества используются в качестве адсорбентов и ионообменных смол?
- 3 Какие основные типы аппаратов применяются для проведения процессов адсорбции и ионного обмена?

### ***Литература***

[1,стр.79]; [6,стр.563].

## Тема 4.5 Сушка

*Сушка* - процесс удаления влаги из твердого материала путем ее испарения и отвода образовавшихся паров. Обезвоживание материалов осуществляется обычно с целью повышения качества целевого продукта, предупреждения слеживаемости, удешевления транспортировки, уменьшения коррозии аппаратуры и трубопроводов, повышения теплотворной способности (для топлив). Этот вид обработки является сравнительно дорогим технологическим процессом. Поэтому перед сушкой часть влаги удаляется более дешевым механическим путем - фильтрованием, прессованием, центрифугированием.

Высушиваемые материалы в зависимости от способа сушки условно подразделяют на следующие группы:

- жидкотекучие материалы - истинные и коллоидные растворы, эмульсии и суспензии;
- пастообразные материалы;
- твердые дисперсные материалы, обладающие сыпучестью во влажном состоянии (пылевидные, зернистые и кусковые);
- тонкие гибкие материалы (ткани, пленки, бумага, картон);
- штучные, массивные, крупногабаритные материалы и изделия: керамика, элементы строительных конструкций, изделия из древесины;
- изделия, подвергающиеся сушке после грунтования, окраски, склеивания и других работ на поверхности.

По способу подвода теплоты к высушиваемому материалу различают следующие виды сушек:

- *конвективную* (теплота для осуществления процесса передается материалу при его непосредственном контакте с сушильным агентом, например, нагретым воздухом, топочными и другими газами);
- *контактную (кондуктивную)* (теплота передается материалу через разделяющую их стенку);
- *радиационную* (теплота передается инфракрасными лучами);
- *диэлектрическую* (теплота выделяется в материале в результате воздействия на него токов высокой частоты);
- *сублимационную* (высушивание материала осуществляется в замороженном состоянии при глубоком вакууме).

Наиболее часто применяют в технике конвективную и кондуктивную сушки. Процессу сушки, как любому массообменному процессу, соответствует обратный процесс - поглощение твердым материалом влаги из окружающей среды, содержащей либо пары влаги, либо смесь паров влаги с другими газами.

Различают несколько форм связи влаги с материалом (если под влагой понимать воду, то в порядке убывания энергии связи).

*Химически связанная влага* - гидратная или кристаллизационная, входящая в состав самого химического соединения, в процессе сушки не удаляется. Для ее удаления необходимо либо высокотемпературное воздействие (прокалка), либо химическая обработка. 11

*Механически (капиллярно) связанная влага*, заполняющая макро- и микрокапилляры, может быть удалена не только при сушке, но и при механических воздействиях.

*Физико-химически связанная влага* (адсорбционная и осмотическая) - влага, находящаяся в микропорах и связанная с материалом на молекулярном уровне адсорбционными и осмотическими силами.

*Конвективная сушка* - сушка влажного материала в потоке горячего воздуха или топочных газов, которые при этом являются тепло- и влагоносителями. Ее еще называют воздушной сушкой, так как в качестве сушильного агента используют часто воздух.

*Контактная сушка*, или сушка на греющих поверхностях, осуществляется при атмосферном давлении и под вакуумом, понижающим температуру сушки и увеличивающим ее скорость. Она отражает два периода осуществления процесса: нагревание материала до начальной температуры сушки и собственно сушка.

*Радиационная сушка* осуществляется подводом к материалу тепловой энергии потоком инфракрасных лучей. Поскольку удельные тепловые потоки к материалу в десятки раз превышают соответствующие величины при контактной и конвективной сушке, происходит интенсивный нагрев и испарение влаги из высушиваемых тел. В качестве нагревающих устройств применяют специальные электролампы с увеличенными нитями накаливания, либо экраны или панели, нагреваемые газом или электрическим током. В современных установках эффективно используются излучающие насадки с беспламенными горелками.

*Диэлектрическая сушка* (сушка токами высокой частоты) предназначена для высушивания толстослойных материалов, когда необходимо регулировать скорость сушки, температуру и влажность не только на поверхности, но и в глубине материала. Физические основы этого вида сушки заключаются в том, что под действием электрического поля ионы и электроны в материале меняют направление движения синхронно с изменением заряда электродов, полярные молекулы приобретают вращательное движение, а неполярные молекулы поляризуются в результате смещения их зарядов. Эти процессы приводят к выделению теплоты, которая равномерно нагревает материал, способствуя перемещению влаги к периферийным слоям и испарению ее с поверхности тела. Таким способом можно сушить материалы, обладающие диэлектрическими свойствами.

*Сублимационная сушка* - удаление влаги, находящейся в материале в виде льда, переводом в пар, минуя жидкое состояние. Теплота, расходуемая на испарение влаги, подводится к материалу излучением от обогреваемых теплоносителем (горячей водой) полых плит.

Способ сублимационной сушки дорогостоящ и целесообразен только в тех случаях, когда к высушенному продукту предъявляются высокие требования по сохранению свойств при длительном хранении (в частности, биологических). Этот вид сушки применяют для высушивания плазмы крови, лекарственных препаратов, высококачественных продуктов питания и т. д.

Сушилки классифицируют:

- по принципу действия (периодические и непрерывные);
- по виду сушильного агента (воздушные, газовые, паровые);
- по величине давления (атмосферные, вакуумные);

- по направлению движения материала и сушильного агента для конвективных сушилок (противоточные, прямоточные, с перекрестным током);
- по состоянию высушиваемого слоя (неподвижные, движущиеся, взвешенные и фонтанирующие);
- по способу подвода теплоты к высушиваемому материалу: контактные (кондуктивные), конвективные (воздушные и газовые), специальные.

*Сушилки для контактной сушки* используют в тех случаях, когда непосредственный контакт высушиваемого материала и сушильного агента недопустимы. Виды сушилок: сушильный шкаф, гребковые сушилки, вальцовые сушилки.

*Конвективные (воздушные) сушилки*, как правило, состоят из трех элементов: камеры, в которой происходит контакт высушиваемого материала с сушильным агентом, узлов подогрева и транспорта сушильного агента.

Виды конвективных сушилок: камерные, туннельные, ленточные, барабанные, распылительные, пневматические и сушилки с взвешенным (псевдооживленным) слоем.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 В чем заключаются назначение и основные принципы процесса сушки?
- 2 Какие виды сушки различают по способу подвода теплоты к влажному материалу?
- 3 Какие основные виды сушилок существуют?

### ***Литература***

[1,стр.84]; [4,стр.276]; [6,стр.583].

## Тема 4.6 Мембранные процессы

*Мембранные процессы* - процессы разделения смесей на компоненты с использованием полупроницаемых перегородок (мембран).

При взаимодействии с мембраной из исходной смеси выделяются прошедший через нее чистый компонент - *пермеат* и оставшийся перед мембраной концентрированный (очищенный) продукт - *ретант*.

К мембранным процессам относятся:

- *баромембранные процессы* разделения жидких сред, включающие микрофильтрацию, ультрафильтрацию и обратный осмос (мембранное разделение растворов под давлением, превышающим осмотическое; осуществляется путем преимущественного проникновения растворителя через полупроницаемую мембрану). Эти процессы в указанной последовательности отличаются уменьшением размеров задерживаемых частиц и молекул, а также возрастанием необходимого для этого давления, которое является движущей силой процесса. В отличие от фильтрации при осуществлении баромембранных процессов на поверхности мембраны осадок практически не образуется, а возникают два раствора различной концентрации. Микрофильтрация применяется для очистки жидкостей от коллоидных частиц и микрочастиц (0,02... 10 мкм). Перепад давлений в процессе составляет 0,1... 1,0 МПа. Ультрафильтрация применяется для разделения растворов высоко- и низкомолекулярных соединений. Мембраной задерживаются частицы (молекулы) размером 0,001...0,02 мкм (молекулярные массы 300...300 000). Перепад давлений на мембране составляет 0,1..2,0 МПа. Обратный осмос применяется для разделения растворов низкомолекулярных веществ (0,0001...0,001 мкм). Рабочий перепад давлений должен превышать осмотическое давление для данных растворов и составляет обычно 1,0...25,0 МПа;

- *диализ* - процесс мембранного разделения растворов веществ, имеющих различные молекулярные массы, движущей силой которого является разность концентраций компонентов по обе стороны мембраны;

- *электродиализ* - мембранный процесс, применяемый для разделения электролитов. Перенос ионов через мембрану в данном случае осуществляется под действием разности электрических потенциалов, являющейся движущей силой процесса;

- *испарение через мембрану (первапорация)* - разделение жидких смесей, при котором исходный раствор контактирует с мембраной с одной ее стороны, а проникающий компонент в виде паров отводится с другой стороны мембраны в вакуум или поток инертного газа;

- *диффузионное разделение газов* - разделение, основанное на различных коэффициентах диффузии газов через непористые полимерные мембраны под действием градиента концентраций.

Достоинства мембранных процессов: возможность непрерывного их осуществления, низкие энергетические затраты, невысокие температуры осуществления процесса, легкость сочетания с другими процессами разделения, высокая селективность при разделении практически любых систем благодаря широкому диапазону существующих мембран и их свойствам, возможность масштабирования процесса.

Основным недостатком данного процесса является относительная недолговечность функционирования мембран.

Основные типы промышленных мембран таковы:

- *пористые мембраны*, осуществляющие разделение по размеру частиц. Их используют для фильтрации и ультрафильтрации. Высокая селективность может быть достигнута, когда размер растворенного (диспергированного) вещества больше, чем размер пор в мембране. Селективность в основном определяется соотношением размеров пор и разделяемых частиц, причем материал мембраны относительно мало влияет на показатели процесса разделения;

- *непористые мембраны*, способные отделять друг от друга молекулы примерно одинакового размера. Разделение происходит из-за различных коэффициентов диффузии разделяемых веществ через мембрану. Селективность и проницаемость таких мембран обусловлена свойствами материала, из которого они изготовлены. Мембраны такого типа используются в процессах первапорации и газоразделения;

- *жидкие мембраны*, в которых определяющую роль играют молекулы-переносчики, находящиеся внутри пор данной мембраны.

По природе мембран различают:

- живые (биологические);
- из природных веществ (модифицированные и регенерированные);
- неорганические (металлические, керамические, стеклянные и т. д.);
- синтетические органические (полимерные: полиэтилен, полипропилен, фторопласт, ацетилацетат и т. д.).

В настоящее время применяются различные *мембранные устройства* для разделения смесей.

По конструктивным особенностям мембранные устройства можно отнести к аппаратам: с плоскокамерными мембранными элементами; с трубчатыми мембранными элементами; со спиральными мембранными элементами; с мембранами в виде полых волокон.

*Аппараты с плоскокамерными фильтрующими элементами* включают параллельно установленные разделяющие элементы, состоящие из двух мембран, расположенных с противоположных сторон плоской пористой дренажной пластины, предназначенной для сбора и стока пермеата. Разделяющие элементы расположены на небольшом расстоянии друг от друга (0,5..5 мм), образуя камеры для протока разделяемой смеси. Исходный раствор последовательно перетекает через все камеры, концентрируется в виде концентрата (ретанта) и выводится из аппарата. Пермеат, прошедший через мембраны, поступает в пористые дренажные пластины и через коллектор также выводится из аппарата. Аппараты этого типа просты в изготовлении, удобны в монтаже и эксплуатации, но имеют низкое значение удельной поверхности мембран, приходящейся на единицу объема аппарата.

*Аппараты с трубчатыми мембранными элементами* состоят из мембран и дренажного каркаса. Дренажный каркас состоит из трубки, выполненной из пористого материала (металлокерамика, пластмасса, металлическая сетка и т. д.), обеспечивающей отвод пермеата, и микропористой подложки, исключающей вдавливание мембран в каналы трубок под внешним давлением. Мембранные элементы в трубчатых аппаратах могут находиться внутри и снаружи трубок в



кожухе, а также мембраны могут располагаться комбинированно. В промышленности широкое распространение получили мембранные аппараты с внутренней установкой мембран. Преимущества этих устройств; малая материалоемкость; низкое гидравлическое сопротивление; равномерное движение потока вдоль поверхности мембраны и отсутствие застойных зон. Недостатки аппаратов этого типа: относительно низкая удельная поверхность мембран на единицу объема.

*Аппараты со спиральными мембранными элементами* имеют значительно более высокую удельную поверхность мембран на единицу объема. Это обеспечивается использованием спиральных мембранных элементов, устанавливаемых в цилиндрический корпус высокого давления.

К достоинствам аппаратов со спиральными мембранными элементами относятся: высокая производительность; малая материалоемкость; большая плотность упаковки.

Недостатки аппаратов этого типа: сложность монтажа пакетов; необходимость замены всего пакета при повреждении мембраны; высокое гидравлическое сопротивление.

*Аппараты с мембранами в виде полых волокон* имеют очень высокую плотность укладки мембран, равную 20 000...30 000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Эта величина достигается за счет использования мембран из полых волокон диаметром 45...200 мкм с толщиной стенки 10...50 мкм для осуществления процессов обратного осмоса и диаметром 200... 1000 мкм с толщиной стенки 50...200 мкм для проведения процессов ультрафильтрации. Полые мембранные волокна могут выдерживать значительные давления (1...10 МПа), поэтому необходимость в дренажных и поддерживающих устройствах отсутствует. При этом исходный раствор при различных конструкциях аппаратов может подаваться как внутрь полых волокон, так и снаружи.

Аппараты этого типа просты по устройству, технологичны в изготовлении, легки и удобны в сборке и эксплуатации, имеют низкую материалоемкость. Недостатки - повышенные требования к предварительной очистке разделяемых смесей от взвеси, замена всего пучка в случае разрыва одного из волокон, довольно сложная система герметизации.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 В чем заключается сущность процесса мембранного разделения?
- 2 Какие процессы относятся к мембранным?
- 3 Какие типы мембран используются в промышленности?
- 4 Какие типы аппаратов используются для осуществления процессов мембранного разделения?

### ***Литература***

[1,стр.96]; [6,стр.382].

## РАЗДЕЛ 5 Механические процессы

### Тема 5.1 Измельчение и классификация твердых материалов

*Измельчение* - процесс многократного разрушения твердого тела на части под воздействием внешних сил, превышающих силы молекулярного притяжения в измельчаемом теле.

Процесс измельчения сопровождается многократным увеличением удельной поверхности измельчаемого материала, что позволяет резко интенсифицировать химические и массообменные процессы, скорость которых определяется площадью межфазного взаимодействия.

Процесс измельчения характеризуется *степенью измельчения* - отношением среднего размера твердого тела до измельчения к среднему размеру материала после измельчения.

В зависимости от крупности исходного и измельченного твердого материала различают процессы *дробления* и *измельчения*. В зависимости от конечной крупности получаемого материала условно выделяют несколько их стадий (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Стадии дробления и измельчения

Стадии	Размер до измельчения, мм	Размер после измельчения, мм
Дробление: крупное	>500	100...400
среднее	100...500	20...100
мелкое	50...100	4...20
Измельчение: крупное	20...100	1,0...4,0
среднее	5...50	0,1 ...1,0
тонкое	1,0...10	0,01...0,1
сверхтонкое	0,1...1,0	<0,01

Основными способами измельчения являются удар, раздавливание, истирание, раскалывание и резание.

#### Схемы измельчения

В основу схемы измельчения положен принцип - «не дробить ничего лишнего», так как процесс измельчения любым способом связан с затратой большого количества энергии. Полученный после каждой стадии измельченный продукт подвергается рассеву (классификации). Куски требуемых размеров поступают на следующую стадию, а более крупные возвращаются на повторное измельчение. Измельчение может осуществляться в открытом и замкнутом циклах, а также в один или несколько приемов.

При измельчении в открытом цикле (рис. 5.1, а, б) твердый материал проходит через измельчающее устройство только один раз. В ряде случаев для сокращения энергозатрат исходный материал классифицируют и измельчают только крупные куски, а отдельную мелочь присоединяют к конечному продукту (рис. 5.1, б).

При измельчении в замкнутом цикле (рис. 5.1, в, г) измельчающая машина функционирует совместно с классифицирующим и транспортирующим устройствами, при помощи которых крупный продукт непрерывно возвращается на повторное измельчение.

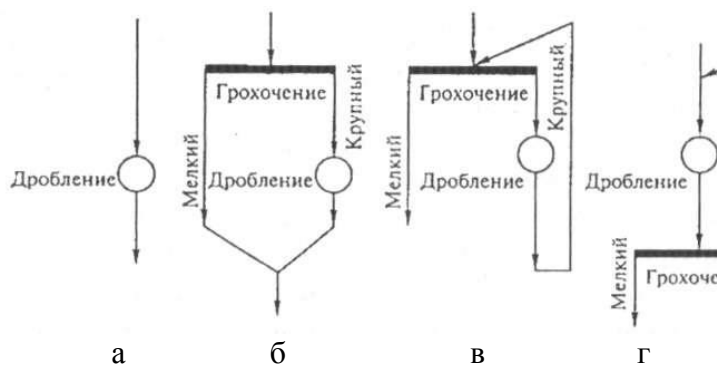


Рис. 5.1 Схемы дробления: а-открытый цикл; б-открытый цикл с предварительным грохочением; в-замкнутый цикл с предварительным и поверочным грохочением; г-замкнутый цикл с грохочением

### Оборудование для измельчения классифицируют:

- по организации процесса (периодическое и непрерывное);
- по крупности измельчаемого продукта (машины крупного, среднего и мелкого дробления, тонкого и коллоидного измельчения);
- по применяемому в них способу измельчения (раскалывающего и разламывающего действия; раздавливающего действия; истирающего и раздавливающего действия; ударного действия, ударного и истирающего действия; коллоидное измельчение).

Существуют следующие виды измельчающего оборудования:

- *щековые дробилки* применяют для дробления крупного кускового материала. Дробление твердого материала, подаваемого сверху, осуществляется в момент сближения подвижной щеки и неподвижной. При прохождении между ними вниз размер частиц измельчаемого продукта уменьшается. Достоинства этого вида дробилок: простота и надежность конструкции, широкая область применения, компактность и легкость обслуживания. Недостатки: периодический характер воздействия дробящего усилия и неуравновешенность движущихся масс, вызывающие шум и вибрацию;

- *конусные дробилки* применяют для крупного, среднего и мелкого измельчения. Эти дробилки отличаются постоянным воздействием на дробимый материал дробящей поверхностью. Достоинства - высокая производительность из-за непрерывности измельчения материала одновременно раздавливанием и изгибом; спокойная, уравновешенная работа; высокая степень измельчения;

- *валковая дробилка* состоит из двух параллельно расположенных гладких или зубчатых цилиндрических валков, установленных в станине машины и вращающихся навстречу друг другу. При вращении они захватывают поступающий сверху материал и дробят раздавливанием.;

- *молотковые дробилки* - машины ударного действия и используются, как правило, для измельчения малоабразивных материалов.);

- *дезинтегратор* состоит из двух дисков, закрепленных на соосных валах. Диски приводятся во вращение в противоположных направлениях от шкивов. На

дисках по концентрическим окружностям расположены пальцы (била). Каждый ряд пальцев одного диска расположен с небольшим зазором между двумя рядами пальцев другого диска. Материал поступает в дезинтегратор сбоку через питатель и измельчается ударами быстро вращающихся пальцев. Достоинства: простота конструкции и компактность, высокая производительность и степень измельчения, надежность в работе. Недостатки: повышенное изнашивание консольно закрепленных пальцев, большое пылеобразование, значительный расход энергии;

- *барабанные мельницы* - являются одними из самых распространенных машин, которые могут использоваться для грубого, среднего, тонкого и сверхтонкого измельчения. По принципу действия они относятся к машинам ударно истирающего действия. Отличаются универсальностью, постоянством степени измельчения в течение длительного периода работы, надежностью, безопасностью и простотой обслуживания. Недостатки: громоздкость и большой вес, низкий КПД, изнашивание мелющих тел (шаров) и загрязнение материала продуктами изнашивания, шум во время работы;

- *коллоидные измельчители*, обеспечивающие величину измельчаемого продукта менее микрона.

**Классификация** - процесс разделения сыпучего материала на части (фракции, классы) с различным размером содержащихся в них кусков и частиц.

Основные способы классификации:

- грохочение (механическая классификация) - рассев сыпучих материалов на ситах, решетках или других устройствах;

- гидравлическая классификация - разделение смеси твердых частиц на фракции, основанное на их различной скорости осаждения в жидкости;

- воздушное (пневматическое) сепарирование — разделение твердых частиц на фракции, основанное на их различной скорости осаждения в воздухе.

*Грохочение* осуществляется на специальных рассеивающих устройствах (грохотах).

*Типы грохотов* зависят от формы рабочей поверхности. Их принцип действия основан на просеивании сыпучего материала при его движении вдоль рабочей поверхности грохотов. Различают плоские и барабанные (цилиндрические) грохоты.

Ситовые грохоты по устройствам привода подразделяют на следующие виды:

- качающийся грохот представляет собой прямоугольный короб с ситом, установленный на пружинящих опорах, которому сообщаются качания от эксцентрикового механизма;

- гирационный грохот представляет собой короб с одним или двумя ситами, совершающий круговые движения в вертикальной плоскости с помощью эксцентрикового вала;

- вибрационный грохот состоит из плоского и обычно наклонного сита, совершающего с помощью вибратора 900... 1500 колебаний в минуту с амплитудой 0,5... 12 мм;

- барабанный грохот представляет собой барабан цилиндрической, конической или многогранной формы, выполненный из сетки или перфорированных стальных листов. При вращении барабана с помощью

приводного механизма с окружной скоростью 0,6...1,25 м/с материал, поступающий через патрубок, перемещается вдоль его поверхности, причем размер отверстий чаще всего уменьшается по ходу движения материала.

*Гидравлическая классификация* происходит в движущихся потоках капельной жидкости, скорость которых подбирается таким образом, чтобы частицы меньше определенного размера уносились в слив, а большего - оставались в классификаторе. В отличие от грохочения гидравлическая классификация применяется для разделения мелких материалов (0,05...5 мм и менее).

*Воздушная классификация* отличается от гидравлической тем, что скорость осаждения частиц в воздухе значительно выше, чем в воде. Поэтому воздушная сепарация осуществляется обычно в восходящем воздушном потоке.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Какова основная цель процесса измельчения?
- 2 Какие существуют основные способы измельчения?
- 3 Какие устройства используют для осуществления процесса измельчения?
- 4 Какова основная цель процесса классификации твердых материалов?
- 5 Какие существуют основные способы классификации?
- 6 Каковы принципы работы, основные типы и устройства грохотов?
- 7 Каковы принцип действия и устройство гидравлических и воздушных классификаторов?

### ***Литература***

[1,стр.104]; [6,стр.679].

## Тема 5.2 Дозирование и перемещение твердых материалов

### Дозирование материалов

Для регулярной и равномерной подачи зернистых материалов в аппараты применяют порционные или непрерывно действующие механические устройства - *дозаторы* или *питатели*, которые могут регулировать как объем, так и вес подаваемого материала. Основные виды дозаторов:

- шнековый (винтовой) питатель представляет собой шнековый транспортер, соединенный с бункером, из которого выгружается материал. Подача материала определяется скоростью вращения шнека;

- барабанный (секторный) питатель состоит из кожуха, в котором вращается барабан с перегородками. Подача материала регулируется изменением частоты вращения барабана;

- тарельчатый питатель представляет собой медленно вращающийся вокруг вертикальной оси горизонтальный диск (тарелку), который расположен под бункером на массивной поддерживающей опоре. Материал попадает на вращающуюся тарелку через «манжету» и располагается на тарелке в виде усеченного конуса под углом естественного откоса. При вращении тарелки часть материала набегает на скребок, скользит по нему и сталкивается в приемную камеру;

- весовые дозаторы включают устройства для взвешивания материала и для автоматического поддержания заданной подачи. Взвешивание обычно производится на ленточных весах

### Перемещение твердых материалов

Перемещение осуществляется подъемно-транспортными устройствами или сооружениями. Эти устройства можно классифицировать по различным признакам:

- по организации процесса (непрерывный и периодический транспорт);

- по направлению перемещения транспортируемого материала (горизонтальное или слабо наклонное, вертикальное или круто наклонное, смешанное или пространственное);

- по роду перемещаемого материала (сыпучие материалы и штучные грузы).

По конструктивным особенностям для различных случаев транспортировки твердых материалов применяют следующие подъемно-транспортные устройства:

- для горизонтального перемещения — транспортеры ленточные, пластинчатые, скребковые, винтовые, вибрационные, пневматические транспортные желоба;

- для вертикального перемещения — элеваторы;

- для смешанного перемещения — транспортеры с погружными скребками, устройства пневматического и гидравлического транспорта.

*Ленточный транспортер* - это лента с соединенными концами, натянутая на двух барабанах. Один барабан - приводной, другой - натяжной с грузовым или винтовым натяжным приспособлением. Для предупреждения провисания ленты под ней устанавливают опорные ролики. Разгрузка транспортера осуществляется

либо сбросом материала при огибании лентой приводного барабана, либо удалением с помощью ножей или скребков (промежуточная).

*Скребковый транспортер* состоит из неподвижного желоба, в котором движется замкнутая цепь со скребками. Скребки при движении цепи захватывают и перемещают по желобу на расстояние до 150 м материал, который разгружается либо с другого конца желоба, либо через разгрузочное отверстие.

*Винтовой транспортер*, или *шнек*, предназначен для перемещения материала под углом до  $20^\circ$  к горизонту и состоит из закрытого желоба, в котором вращается шнек. Транспортируемый материал поступает в желоб через загрузочное отверстие, захватывается вращающимся шнеком, перемещается вдоль устройства на расстояние до 40 м и выгружается через отверстие.

*Элеватор* предназначен для вертикального перемещения сыпучих материалов и состоит из кожуха, предохраняющего окружающую среду от транспортируемых пылящих материалов, в нижней части которого находится башмак, а в верхней - головка. В головке установлен приводной барабан или звездочка, а в башмаке - натяжной. На них натянута лента (или цепь), к которой прикреплены ковши. Материал из приемного бункера поднимается ковшами, из которых высыпается в верхней части транспортера при огибании приводного барабана в разгрузочное устройство.

*Пневматические подъемники (аэролифты)* применяются для подъема зернистых материалов на высоту до 30 м. Твердые частицы подаются питателем в аэрокамеру с перфорированной перегородкой. Сжатый воздух подается под перегородку, увлекает зернистый материал и поступает вместе с ним в транспортирующий трубопровод. В сепараторе материал отделяется от воздуха и поступает для дальнейшей переработки.

*Гидротранспорт* применяют для перемещения зернистых материалов в струе воды. Его достоинством является высокая скорость транспортирования больших масс материалов. Недостатки: относительно высокий расход воды, а также необходимость использования специальных устройств, отделяющих твердый материал. Кроме того, этот метод применим только для зернистых материалов, не растворимых в воде и не боящихся контакта с ней.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1 По каким принципам классифицируются подъемно-транспортные устройства?

2 Какие устройства для перемещения твердых материалов используются в промышленности?

### ***Литература***

[1, стр.117]; [6, стр.711].

## РАЗДЕЛ 6 Вспомогательные технологии

### Тема 6.1 Вентиляция и кондиционирование

К факторам, вредное воздействие которых устраняется с помощью вентиляции, относятся: избыточное тепло (конвекционное, вызывающее повышение температуры воздуха) и лучистое; избыточные водяные пары - влага; газы и пары химических веществ общетоксического или раздражающего действия; токсическая и нетоксическая пыль; радиоактивные вещества.

При отсутствии вентиляции, перечисленные и другие тепловыделения значительно повышают температуру воздуха и затрудняют процесс терморегуляции в организме человека и, кроме того, могут отрицательно влиять на технологический процесс производства.

Воздушная среда в помещении, удовлетворяющая санитарным нормам, обеспечивается в результате удаления загрязненного воздуха из помещения и подачи чистого наружного воздуха. Соответственно этому системы вентиляции подразделяют на *вытяжные* и *приточные*.

По способу перемещения удаляемого из помещений и подаваемого в помещения воздуха различают вентиляцию *естественную (неорганизованную и организованную)* и *механическую (искусственную)*.

Под *неорганизованной естественной вентиляцией* понимают воздухообмен в помещениях, происходящий под влиянием разности давлений наружного и внутреннего воздуха и действия ветра через неплотности ограждающих конструкций, а также при открывании форточек, фрамуг и дверей.

*Воздухообмен* - это частичная или полная замена воздуха, содержащего вредные выделения, чистым атмосферным воздухом.

Воздухообмен, происходящий также под давлением разности давлений наружного и внутреннего воздуха и действия ветра, но через специально устроенные в наружных ограждениях фрамуги, степень открытия которых с каждой стороны здания регулируется, является *вентиляцией естественной, но организованной*. Этот вид вентиляции называется *аэрацией*.

*Механической, или искусственной, вентиляцией* называется способ подачи воздуха в помещение или удаления из него с помощью вентилятора.

Системы механической вентиляции, автоматически поддерживающие в помещениях метеорологические условия на уровне заданных независимо от изменяющихся параметров внешней воздушной среды, называются *системами кондиционирования воздуха*.

По способу организации воздухообмена в помещениях вентиляция может быть общей, местной, локализирующей, смешанной и аварийной.

*Общая вентиляция*, называемая общеобменной, предусматривается для создания одинаковых условий воздушной среды (температуры, влажности, чистоты воздуха и его подвижности) во всем помещении.

*Местная вентиляция* создает местные (на рабочих местах), отвечающие гигиеническим требованиям условия воздушной среды, отличные от условий в остальной части помещения. Примером может служить воздушный душ - струя воздуха, направленная непосредственно на рабочее место.



*Локализирующая вентиляция* заключается в улавливании вредных выделений непосредственно у производственных установок с помощью специальных укрытий, предотвращающих поступление вредных выделений в помещение.

*Смешанные системы*, применяемые главным образом в производственных помещениях, представляют собой комбинации общеобменной вентиляции с местной.

*«Аварийные» вентиляционные установки* предусматривают в помещениях, в которых возможно внезапное неожиданное выделение вредных веществ в количествах, значительно превышающих допустимые. Их включают только в тех случаях, если необходимо быстро удалить вредные выделения.

### **Естественная вентиляция**

Пористость ограждающих конструкций зданий, а также строительные неплотности в них при разности давлений внутреннего и наружного воздуха обуславливают воздухообмен в помещении, происходящий в результате инфильтрации.

Чем больше разность температур внутреннего и наружного воздуха и чем больше скорость движения ветра, тем больше разность давлений, а следовательно, и количество проникающего в помещение наружного воздуха (инфильтрация). Инфильтрация, или, иначе, естественная неорганизованная вентиляция, наблюдается во всех помещениях и учитывается при организации вентиляции.

Для усиления вытяжки загрязненного воздуха из различных помещений применяют дефлекторы. Это специальные насадки, устанавливаемые на концах труб или шахт, а также непосредственно над вытяжными отверстиями в крышах производственных зданий. Работа дефлектора основана на использовании энергии потока воздуха - ветра, который, ударяясь о поверхность дефлектора и обтекая его, создает возле большей части его периметра разрежение, что и усиливает вытяжку воздуха из помещения. Дефлекторы изготовляют различной конструкции и размеров. Их рекомендуется устанавливать в наиболее высоких точках, непосредственно обдуваемых ветром.

Аэрацией зданий называется организованный и управляемый естественный воздухообмен через открывающиеся фрамуги в окнах и вентиляционно-световые фонари с использованием теплового и ветрового давлений. Аэрация широко применяется в производственных зданиях с большими тепловыми избытками и позволяет осуществлять воздухообмены, достигающие миллионов кубических метров в 1 ч.

Тепловое давление, в результате которого воздух поступает в помещение и выходит из него, образующееся за счет разности температур наружного и внутреннего воздуха, регулируется различной степенью открытия фрамуг и фонарей.

### **Механическая вентиляция**

В настоящее время в общественных и производственных зданиях устраивают преимущественно механическую вентиляцию, в которой воздух перемещается по сети воздуховодов и другим элементам системы с помощью центробежных и осевых вентиляторов, приводимых в действие электродвигателями.

## **Кондиционирование воздуха**

Современная установка кондиционирования воздуха представляет собой комплекс технических средств, служащих для приготовления, перемещения и распределения воздуха, автоматического регулирования параметров, дистанционного контроля и управления.

Особенностью систем кондиционирования воздуха является наличие систем автоматики, обеспечивающих устойчивый искусственный микроклимат независимо от внешних условий и технологических процессов, протекающих в помещении.

Системы кондиционирования воздуха разделяют на центральные и местные, круглогодичные и сезонные (для теплого и холодного периода года). В центральных системах кондиционирования воздуха кондиционер, где происходят все процессы обработки воздуха, устанавливают вне обслуживаемых помещений, и его раздача ведется по сети воздуховодов. В общественных и промышленных зданиях с различными требованиями к воздушной среде по отдельным помещениям или с различным тепловлажностным режимом устраивают многозональные центральные системы кондиционирования воздуха. В этих случаях здание разделяют в отношении обслуживания на зоны, в каждую из которых воздух подается со своими параметрами.

Системы кондиционирования воздуха, предназначенные для круглогодичной и круглосуточной работы, совмещенные с отоплением здания, должны быть оборудованы не менее чем двумя кондиционерами производительностью по 50 % общей производительности системы.

В местных системах кондиционирования воздуха кондиционер размещают обычно в кондиционируемом помещении в виде подоконных, шкафных или подвесных агрегатов производительностью до  $10^3$  м<sup>3</sup>/ч. Такие системы применяют в небольших помещениях — лабораториях, отдельных гостиничных номерах, кабинетах и т. п.

При проектировании любых установок кондиционирования воздуха необходимо составлять тепло-влажностные балансы помещений, в которых должны быть учтены все факторы, влияющие на изменение состояния воздушной среды в самом помещении, а при центральных системах - еще и факторы, влияющие на изменение состояния приточного воздуха при транспортировании его от кондиционера до помещения.

Систему кондиционирования воздуха можно представить как систему автоматического регулирования с последовательным включением отдельных звеньев, предназначенных в конечном итоге для достижения одной цели - сохранения в помещениях температуры или относительной влажности, или температуры и относительной влажности одновременно. Каждое звено есть отдельный аппарат для обработки воздуха, включаемый последовательно по мере прохождения воздуха через установку кондиционирования.

Создание автоматизированной системы кондиционирования обычно начинают с разработки технологического плана помещения и выделения различных зон, влияющих на микроклимат. Этот план преобразуют в зонный график, на который наносят также необходимые параметры воздушной среды. График является исходным заданием для создания автоматизированной установки

кондиционирования и определения принципов ее управления. Далее идет этап разработки технологии приготовления воздуха по заданным параметрам. Приготовление воздуха включает его подогрев до установленной температуры точки росы, фильтрацию, увлажнение и догрев до требуемых параметров.

Точкой росы называют температуру, при которой из воздуха, при его охлаждении, выпадает влага в виде тумана и капелек росы.

Фильтрация приточного воздуха осуществляется чаще всего с помощью самоочищающегося фильтра. Он представляет собой непрерывно движущуюся сетку, проходящую через ванну с маслом. Пыль, находящаяся в воздухе, прилипает к масляной пленке, покрывающей ячейки сетки, при прохождении сетки через ванну пыль смывается и оседает на дно масляной ванны, откуда она периодически удаляется. Увлажнение воздуха происходит в оросительной камере, где через форсунки разбрызгивается вода.

Особым условием кондиционирования является охлаждение воздуха в заданных пределах. Существуют два способа охлаждения: сухой и мокрый. При первом способе охлаждение воздуха происходит путем пропускания холодной воды через калориферы. При этом влагосодержание воздуха остается неизменным. Второй способ заключается в охлаждении воздуха в оросительных камерах при одновременном повышении его влагосодержания.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1 Что такое естественная и механическая вентиляция?
- 2 Как классифицируется вентиляция в зависимости от организации воздухообмена?
- 3 Как осуществляются естественная организованная и неорганизованная вентиляция?
- 4 Что такое аэрация зданий?
- 5 Какие виды механической вентиляции существуют?
- 6 Какие виды кондиционирования существуют?

### ***Литература***

[1,стр.247]; [7,стр.25].

## Тема 6.2 Очистка сточных вод и газовых выбросов

### Очистка сточных вод

Сточные воды подвергают очистке различными способами: механической, химической, механохимической, физико-химической и биохимической (или биологической).

**Механическую очистку** применяют для удаления из сточных вод взвешенных веществ и частично загрязнений, находящихся в коллоидном состоянии. Для механической очистки используют решетки, песколовки, отстойники, жироловки, нефтеловушки, маслоотделители, гидроциклоны, фильтры и другие сооружения. Решетки служат для улавливания крупных загрязнений (тряпья, мочалы, бумаги и др.), песколовки - для улавливания нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.), отстойники - для очистки сточных вод от взвешенных веществ.

Под действием силы тяжести частицы, удельный вес которых больше удельного веса воды, выпадают на дно сооружений, образуя осадок. В то же время частицы, удельный вес которых меньше удельного веса воды (жиры, масла, нефть), всплывают на поверхность. Осадок и всплывшие загрязнения удаляют из сооружений и направляют на обработку.

Решетки, песколовки и отстойники являются неизменными составными частями комплекса сооружений, применяемых для очистки бытовых сточных вод.

Для очистки производственных сточных вод от большого количества жиров, нефти и масел используют жироловки, нефтеловушки и маслоотделители. Эти сооружения аналогичны отстойникам, но имеют оборудование для удаления большого количества всплывающих загрязнений. Одновременно они служат и для очистки воды от оседающих веществ.

Для очистки производственных сточных вод от взвешенных веществ, имеющих большой удельный вес (минеральные загрязнения), могут применяться гидроциклоны. Корпус их имеет цилиндрикоконическую форму. Вода подводится к корпусу аппарата по касательной с большими скоростями. Выделение взвесей происходит под действием центробежной силы. Для очистки производственных сточных вод от мелкодисперсных взвешенных веществ используют тканевые, сетчатые или песчаные фильтры.

**Химическая очистка** заключается в выделении из сточных вод загрязнений путем проведения реакций между ними и вводимыми в воду реагентами. Такими реакциями являются реакции окисления и восстановления, реакции образования соединений, выпадающих в осадок, и реакции, сопровождающиеся газовыделением. Химическая очистка применяется для очистки только некоторых производственных сточных вод.

**Механохимическую очистку** применяют для выделения из сточных вод нерастворенных загрязнений. Сущность ее состоит в том, что в воду добавляют коагулянты, которые способствуют удалению из нее загрязнений в процессе ее механической очистки.

**К физико-химическим методам** очистки сточных вод относятся сорбция, экстракция, коагуляция, флотация, электролиз, ионный обмен, кристаллизация и др.

**Биохимическая (биологическая) очистка** заключается в окислении остающихся в воде после механической очистки органических загрязнений с помощью микроорганизмов, способных в процессе своей жизнедеятельности осуществлять минерализацию органических веществ. Биохимическая очистка сточных вод может происходить в условиях, близких к естественным (поля орошения поля фильтрации и биологические пруды), и в искусственно созданных условиях (биологические фильтры и аэротенки).

Поля орошения, биоплато и поля фильтрации представляют собой специально подготовленные и спланированные земельные участки, которые периодически заливаются сточными водами. В верхнем слое земли или щебня развивается микробиальная жизнь. Образующаяся на частицах земли, щебня биологическая пленка из микроорганизмов адсорбирует и минерализует органические вещества. Кислород, необходимый для жизнедеятельности микроорганизмов, проникает в почву из воздуха или через корни растений, например, камыша, тростника. Поля орошения используются одновременно для очистки сточных вод и для агрикультурных целей (для выращивания сельскохозяйственных культур) и разделяются на коммунальные и сельскохозяйственные поля орошения. Поля фильтрации служат только для очистки сточных вод. В биологических прудах очистка сточных вод осуществляется также микроорганизмами-минерализаторами, а кислород, необходимый для их жизнедеятельности, поступает из воздуха через поверхность воды в водоеме.

Для обеззараживания (дезинфекции) сточных вод их подвергают обработке хлорной известью или хлором.

Для контакта хлорной извести или хлора с водой сооружают контактные резервуары, конструкция которых аналогична конструкции отстойников.

Обработка осадка, образующегося в процессе очистки сточных вод, заключается в сбраживании (перегнивании), обезвоживании и сушке. Сбраживание - биохимический процесс разложения твердой фазы осадка под действием микроорганизмов без доступа кислорода. В процессе сбраживания разлагается до 30-40% органических веществ. Осадок теряет способность гнить. При малых расходах сточных вод - до 10000 м<sup>3</sup>/сутки - сооружения для сбраживания осадка совмещаются с отстойниками. К таким совмещенным сооружениям относятся септики и двухъярусные отстойники. При значительных расходах сточных вод - более 10000 м<sup>3</sup>/сутки - для сбраживания осадка применяют самостоятельные сооружения - метантенки. Обезвоживают осадок или на иловых площадках, или механическим способом на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах или центрифугах. В ряде случаев осадок подвергают термической сушке.

### **Очистка газовых выбросов**

В газообразных промышленных выбросах вредные примеси можно разделить на две группы:

- а) взвешенные частицы (аэрозоли) твердых веществ — пыль, дым; жидкостей — туман
- б) газообразные и парообразные вещества.

## **Очистка газов от аэрозолей**

Методы очистки по их основному принципу можно разделить на *механическую* очистку, *электростатическую* очистку и очистку *с помощью звуковой и ультразвуковой коагуляции*.

Механическая очистка газов включает *сухие* и *мокрые* методы. К *сухим* методам относятся:

- гравитационное осаждение;
- инерционное и центробежное пылеулавливание;
- фильтрация.

В большинстве промышленных газоочистительных установок комбинируется несколько приемов очистки от аэрозолей.

*Гравитационное осаждение* основано на осаждении взвешенных частиц под действием силы тяжести при движении запыленного газа с малой скоростью без изменения направления потока. Процесс проводят в отстойных газоходах и пылеосадительных камерах. Гравитационное осаждение действительно лишь для крупных частиц диаметром более 50-100 мкм, причем степень очистки составляет не выше 40-50%. Метод пригоден лишь для предварительной, грубой очистки газов.

*Инерционное осаждение* основано на стремлении взвешенных частиц сохранять первоначальное направление движения при изменении направления газового потока. Среди инерционных аппаратов наиболее часто применяют жалюзийные пылеуловители с большим числом щелей (жалюзи). Газы обеспыливаются, выходя через щели и меняя при этом направление движения. Инерционный метод можно применять лишь для грубой очистки газа. Помимо малой эффективности недостаток этого метода – быстрое истирание или забивание щелей.

*Центробежные методы очистки газов* основаны на действии центробежной силы, возникающей при вращении очищаемого газового потока в очистном аппарате или при вращении частей самого аппарата. В качестве центробежных аппаратов пылеочистки применяют циклоны различных типов. Циклоны наиболее часто применяют в промышленности для осаждения твердых аэрозолей.

*Фильтрация* основана на прохождении очищаемого газа через различные фильтрующие ткани (хлопок, шерсть, химические волокна, стекловолокно и др.) или через другие фильтрующие материалы (керамика, металлокерамика, пористые перегородки из пластмассы и др.). Наиболее часто для фильтрации применяют специально изготовленные волокнистые материалы - стекловолокно, шерсть или хлопок с асбестом, асбоцеллюлозу.

На фильтрах из стекловолокнистых материалов возможна очистка агрессивных газов при температуре до 275°C. Для тонкой очистки газов при повышенных температурах применяют фильтры из керамики, тонковолокнистой ваты из нержавеющей стали, обладающие высокой прочностью и устойчивостью к переменным нагрузкам.

*Мокрая очистка газов* от аэрозолей основана на промывке газа жидкостью (обычной водой) при возможно более развитой поверхности контакта жидкости с частицами аэрозоля и возможно более интенсивном перемешивании очищаемого

газа с жидкостью. Этот универсальный метод очистки газов от частиц пыли, дыма и тумана любых размеров является наиболее распространенным приемом заключительной стадии механической очистки, в особенности для газов, подлежащих охлаждению

*Электростатическая очистка газов* служит универсальным средством, пригодным для любых аэрозолей, включая туманы кислот, и при любых размерах частиц. Метод основан на ионизации и зарядке частиц аэрозоля при прохождении газа через электрическое поле высокого напряжения, создаваемое коронирующими электродами. Осаждение частиц происходит на заземленных осадительных электродах.

### **Очистка газов от парообразных и газообразных примесей**

Газы в промышленности обычно загрязнены вредными примесями, поэтому очистка широко применяется на заводах и предприятиях для технологических и санитарных (экологических) целей. Промышленные способы очистки газовых выбросов от газо- и парообразных токсичных примесей можно разделить на три основные группы:

- *абсорбция жидкостями;*
- *адсорбция твердыми поглотителями ;*
- *каталитическая очистка.*

В меньших масштабах применяются *термические методы* сжигания (или дожигания) горючих загрязнений, способ *химического взаимодействия примесей* с сухими поглотителями и *окисление примесей озоном*.

*Абсорбция жидкостями* применяется в промышленности для извлечения из газов диоксида серы, сероводорода и других сернистых соединений, оксидов азота, паров кислот (HCl, HF, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), диоксида и оксида углерода, разнообразных органических соединений (фенол, формальдегид, летучие растворители и др.).

Абсорбционные методы служат для технологической и санитарной очистки газов. Они основаны на избирательной растворимости газо- и парообразных примесей в жидкости (физическая абсорбция) или на избирательном извлечении примесей химическими реакциями с активным компонентом поглотителя (хемосорбция).

*Адсорбционные методы* применяют для различных технологических целей - разделение парогазовых смесей на компоненты с выделением фракций, осушка газов и для санитарной очистки газовых выхлопов. В последнее время адсорбционные методы выходят на первый план как надежное средство защиты атмосферы от токсичных газообразных веществ, обеспечивающее возможность концентрирования и утилизации этих веществ.

Адсорбционные методы основаны на избирательном извлечении из парогазовой смеси определенных компонентов при помощи адсорбентов - твердых высокопористых материалов, обладающих развитой удельной поверхностью. Промышленные адсорбенты, чаще всего применяемые в газоочистке, - это активированный уголь, силикагель, алюмогель, природные и синтетические цеолиты (молекулярные сита).

Адсорбцию газовых примесей обычно ведут в полочных реакторах периодического действия без теплообменных устройств; адсорбент расположен на полках реактора.

*Каталитические методы очистки газов* основаны на реакциях в присутствии твердых катализаторов, т. е. на закономерностях гетерогенного катализа. В результате каталитических реакций примеси, находящиеся в газе, превращаются в другие соединения, т. е. в отличие от рассмотренных методов примеси не извлекаются из газа, а трансформируются в безвредные соединения, присутствие которых допустимо в выхлопном газе, либо в соединения, легко удаляемые из газового потока.

*Термические методы* обезвреживания газовых выбросов применимы при высокой концентрации горючих органических загрязнителей или оксида углерода. Простейший метод - факельное сжигание - возможен, когда концентрация горючих загрязнителей близка к нижнему пределу воспламенения. В этом случае примеси служат топливом, температура процесса 750—900 °С и теплоту горения примесей можно утилизировать.

Когда концентрация горючих примесей меньше нижнего предела воспламенения, то необходимо подводить некоторое количество теплоты извне.

Для полноценной очистки газовых выбросов целесообразны комбинированные методы, в которых применяется оптимальное для каждого конкретного случая сочетание грубой, средней и тонкой очистки газов и паров. На первых стадиях, когда содержание токсичной примеси велико, более подходят абсорбционные методы, а для доочистки - адсорбционные или каталитические.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Способы очистки сточных вод, их назначение и сущность.
- 2 Способы очистки газовых выбросов от аэрозолей, их сущность и область применения.
- 3 Способы очистки газовых выбросов парообразных и газообразных примесей, их сущность и область применения.

#### ***Литература***

[6,стр.227]; [8,стр.168].



## РАЗДЕЛ 7 Metallургия цветных металлов

### Тема 7.1 Обогащение руд цветных металлов

Большинство руд цветных металлов представляют собой сравнительно бедные полиметаллические породы. Руды обычно обогащают, т. е. искусственно повышают содержание металлов в сырье, поступающем на металлургическую переработку, а в ряде случаев предварительно разделяют ценные металлы.

В цветной металлургии роль обогатительных процессов особенно велика. От содержания металла в перерабатываемом сырье зависит производительность металлургического предприятия, трудовые затраты, расход топлива, электроэнергии и вспомогательных материалов, потери извлекаемых металлов и себестоимость готовой продукции.

Повышение содержания металла в сырье в результате его обогащения достигается путем удаления большей части пустой породы. Однако, если руда содержит в достаточных количествах несколько металлов, задачи обогащения расширяются. Наряду с отделением пустой породы в этом случае решается задача выделения каждого металла в отдельный продукт, пригодный для самостоятельной металлургической переработки. Такой метод обогащения называется селективным обогащением. При обогащении руд цветных металлов часто встречаются руды очень сложного состава, из которых получают до четырех, пяти и более концентратов.

Обогащение руд осуществляется методами механической обработки, не связанной с химическими превращениями минералов; химический состав минералов при этом остается неизменным. Изменяются лишь количественные соотношения между содержаниями ценных минералов и пустой породы в исходном сырье и продуктах обогащения.

Многочисленные способы механического обогащения основаны на использовании различия в физических свойствах минералов: плотности, крупности, формы, цвета и блеска, смачиваемости, магнитной восприимчивости и др.

Перед обогащением руду, как правило, приводят в такое состояние, при котором содержащиеся в ней минералы будут как можно полнее освобождены от сростков друг с другом. Это достигается при дроблении и измельчении руды и сортировкой измельченного материала по крупности грохочением или классификацией. В свою очередь полученный концентрат необходимо подготовить к металлургической переработке путем его обезвоживания.

Конечными продуктами обогащения являются концентраты и отходы.

*Концентратом* называют продукт обогащения с повышенным содержанием извлекаемого металла.

Отходы процессов обогащения называют отвальными *хвостами*. Они состоят преимущественно из пустой породы с небольшим содержанием ценных минералов, которые не удается выделить в концентрат.

Эффективность процесса обогащения руды характеризуется несколькими показателями. К основным технологическим показателям обогащения относятся: содержание компонентов в питании и продуктах обогащения, степень обо-

гащения, выход продуктов обогащения и извлечение ценных компонентов в продукты обогащения.

*Содержанием компонента* называется отношение массы данного компонента в материале к массе всего материала. Его можно выражать в процентах, в долях единицы и в граммах на тонну.

*Степенью обогащения* (концентрации) называется отношение содержания полезного компонента в концентрате к содержанию его в исходном сырье. Степень обогащения показывает, во сколько раз концентрат богаче исходного сырья.

*Выходом продукта* называется отношение массы полученного продукта к массе исходного материала. Выход можно выражать в процентах или в долях единицы.

*Извлечением полезного компонента* в продукт обогащения называется отношение массы компонента в продукте к массе того же компонента в исходном сырье. Оно выражается в процентах или в долях единицы. Извлечение ценного компонента в концентрат характеризует степень его перехода из исходного материала в концентрат. Извлечение того же ценного компонента в хвосты показывает долю его потерь в отходах процесса обогащения.

### **Методы обогащения руд**

Основными методами обогащения руд цветных металлов являются флотация и гравитация.

*Флотацией* называется способ обогащения, основанный на избирательном прилипании минеральных частиц, взвешенных в пульпе, к пузырькам воздуха. Плохо смачиваемые водой частицы минералов прилипают к пузырькам воздуха и поднимаются вместе с ними на поверхность пульпы, образуя на ней минерализованную пену. Частицы других минералов, хорошо смачиваемых водой, не прилипают к пузырькам и остаются в пульпе. Таким образом достигается разделение различных минералов.

Флотационное разделение возможно только с применением флотационных реагентов.

В зависимости от назначения флотационные реагенты делятся на собиратели, пенообразователи, депрессоры, активаторы и регуляторы среды.

Флотацию проводят в аппаратах, называемых флотационными машинами.

*Гравитационные методы обогащения* проводят, как правило, в водной среде. Они основаны на различии скорости движения минеральных частиц различной массы в воде и применимы для обогащения руд с достаточной разницей в плотностях разделяемых минералов и с примерно одинаковой крупностью частиц измельченной руды.

Основными способами мокрого гравитационного обогащения являются *отсадка, обогащение на концентрационных столах и в желобах (шлюзах)*. Разновидностью гравитационного обогащения является *обогащение в тяжелых суспензиях*, когда разделение минералов проводят в среде большой плотности. Отсадке подвергаются руды с крупностью частиц от 25 (реже до 50 мм) до 0,5-0,3 мм, а обогащению на столах - материалы крупностью от 4 до 0,1 мм и меньше.

*Обогащение отсадкой* основано на использовании разницы в скоростях падения минеральных частиц различной массы в восходящей струе воды. При отсадке руда разделяется на слои минеральных зерен. В верхнем слое концентрируются легкие минералы, а в нижнем - тяжелые.

Разделение минеральных зерен на *концентрационных столах, желобах и шлюзах* происходит за счет особенностей движения частиц в потоке воды, движущемся по наклонной плоскости. При достаточно большой скорости все зерна взвешиваются, а при малой - оседают в нижние слои потока. При умеренных скоростях наиболее тяжелые зерна оседают на дно или движутся по наклонной поверхности перекачиванием. При турбулентном режиме движения воды, создаваемом нарифлениями на наклонной плоскости, вследствие образования вихрей в потоке возникают дополнительно вертикальные струи, которые взвешивают более легкие частицы и вымывают их из слоя осевших частиц.

Одним из простых и совершенных методов гравитационного обогащения является *обогащение в тяжелых средах (суспензиях)*, позволяющее разделять минералы даже с разницей в плотности до 0,1. Сущность этого метода заключается в следующем. Если смесь двух минералов поместить в среду с плотностью, промежуточной между плотностями этих минералов, то смесь разделится: легкий минерал всплывет, а тяжелый утонет.

*Магнитное обогащение (сепарация)* основано на различии магнитной восприимчивости разделяемых минералов. Оно проводится в сильном магнитном поле, создаваемом постоянными магнитами из специальных сплавов (чаще) или электромагнитами. При движении руды в магнитном поле сепаратора одни частицы намагничиваются, притягиваются к полюсам магнита и затем выносятся из рабочего пространства, а другие — немагнитные частицы удаляются питающим транспортером.

### **Обезвоживание продуктов обогащения**

Продукты мокрых методов обогащения необходимо обезвоживать, т. е. удалять из них воду. Концентраты обезвоживают до кондиционных норм, определяемых требованиями транспортировки и последующей металлургической технологии.

Обезвоживание флотационных концентратов с высокой тониной помола можно проводить путем *сгущения, фильтрации и сушки*. Часто эти три стадии проводятся последовательно. При сгущении содержание влаги в материале может быть снижено до 40-50 %, при фильтрации - до 8-15 %, а при сушке - до 2 % и менее.

*Сгущением* называется процесс обезвоживания путем естественного осаждения твердых частиц из пульпы под действием силы тяжести в относительно спокойной среде. Оно осуществляется в аппаратах непрерывного действия, называемых сгустителями.

Сгустители представляют собой открытые цилиндрические чаны, оборудованные перегреbnыми устройствами для перемещения твердого осадка по дну сгустителя к центру.

*Фильтрация* - процесс обезвоживания пульп путем отделения воды от твердых частиц с помощью пористых перегородок, проницаемых только для жидкости.

Последней стадией обезвоживания является *сушка*, при которой влага удаляется испарением. Сушка может проводиться как при температуре окружающего воздуха (естественная сушка), так и путем нагрева влажного материала (термическая или искусственная сушка). Обычно применяют термическую сушку.

На рисунке 7.1 представлена качественная схема обогащения руды.

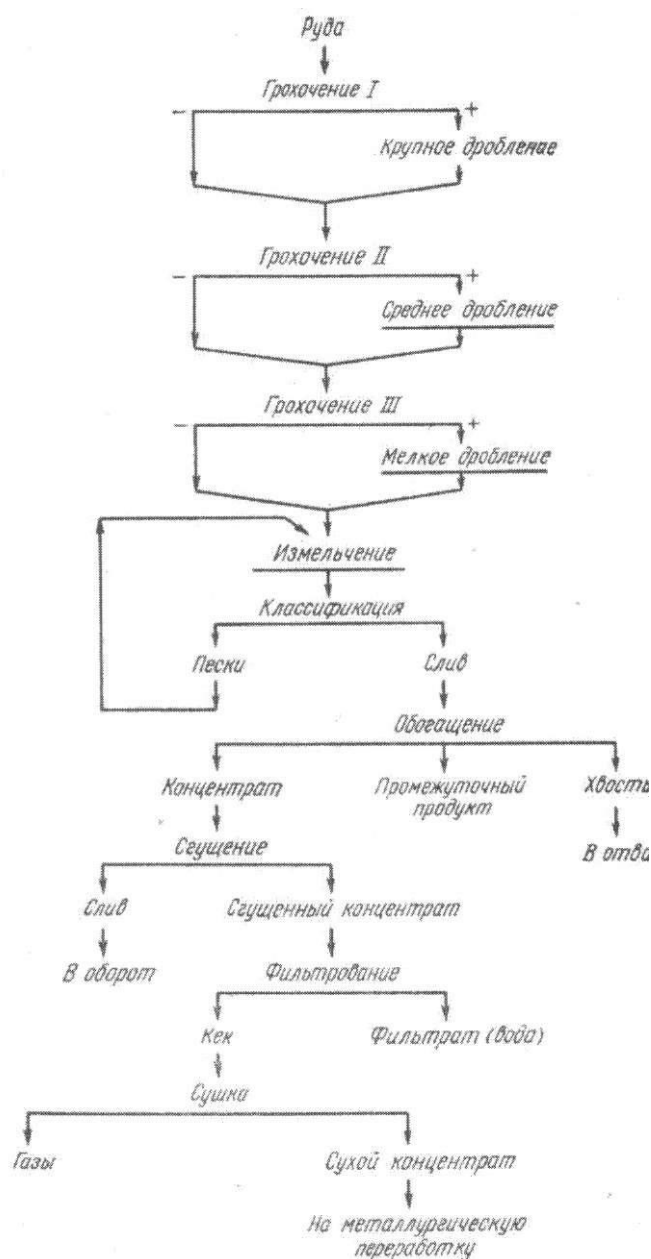


Рисунок - 7.1 Качественная схема обогащения руды

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1 В чем заключается назначение процесса обогащения руд?
- 2 Какие продукты процесса обогащения являются конечными?
- 3 Какие показатели характеризуют эффективность процесса обогащения?
- 4 В чем заключается сущность основных методов обогащения?

### ***Литература***

[3,стр.21]; [5,стр.65].

## Тема 7.2 Metallургия меди

Источниками получения меди являются руды, продукты их обогащения - концентраты, а также вторичное сырье.

Все медные руды - полиметаллические, то есть наряду с медными минералами в рудах находятся сульфиды других цветных металлов (цинка, свинца, никеля) и, что особенно ценно, благородные металлы, а также ряд редких и рассеянных элементов (селен, теллур, рений и др.).

Минералы меди:

- халькопирит;
- ковеллин;
- борнит;
- пирит.

Вследствие низкого содержания меди и комплексного характера руд непосредственная металлургическая переработка их невыгодна, поэтому их предварительно подвергают флотационному обогащению. При этом основным продуктом обогащения являются медные концентраты, содержащие до 55% Cu (чаще 10-30%). Кроме медных, при обогащении руд получают пиритные концентраты. Отходами обогащения являются отвальные хвосты.

### Технология переработки медных концентратов

1 Плавка на штейн (в печах Ванюкова). Основной целью плавки медных концентратов на штейн является расплавление шихты с получением двух жидких продуктов - штейна и шлака. При этом ставятся задачи как можно полнее перевести в штейн медь и ряд других ценных элементов, например благородных металлов, а пустую породу ошлаковать.

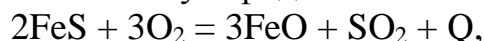
Печь Ванюкова (плавка в жидкой ванне) - автогенная плавильная печь для переработки медных, медно-никелевых и медно-цинковых концентратов. Плавка происходит в шлако-штейновой ванне печи, куда интенсивно подается кислородно-воздушная смесь.

Автогенными называются технологические процессы, которые осуществляются полностью за счет внутренних энергетических ресурсов без затрат посторонних источников тепловой энергии – топлива или электрического тока. При переработке сульфидного сырья, обладающего высокой теплотворной способностью, автогенность плавки достигается за счет тепла экзотермических реакций горения (окисления) сульфидов перерабатываемой шихты. В качестве окислительного реагента при плавке можно использовать воздух, обогащенное кислородом дутье или технологический кислород.

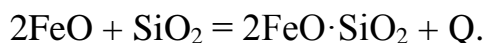
Автогенные плавки объединяют в одном аппарате процессы обжига, плавки и частично или полностью конвертирование, что позволяет в одном месте переводить серу шихты в газы.

В основе автогенного способа плавки сульфидных медных концентратов лежит следующая суммарная реакция.

Сначала происходит окисление сульфида железа:



а затем образовавшийся оксид железа ошлаковывается кварцевым флюсом:



## 2 Конвертирование медных штейнов

На конвертирование, кроме штейна, в расплавленном или твердом состоянии поступают богатые медью обороты (шлак плавки), кварцевый флюс и другие материалы.

Медные штейны состоят в основном из сульфидов меди  $\text{Cu}_2\text{S}$  и  $\text{FeS}$ . Основная цель конвертирования – получение черновой меди за счет окисления железа и серы и некоторых сопутствующих компонентов. Благородные металлы практически полностью, а также часть селена и теллура остаются в черновом металле. Вследствие экзотермичности большинства реакций конвертирование не требует затрат постороннего топлива, то есть является автогенным процессом.

Процесс конвертирования медных штейнов делится на два периода:

- первый период, который носит циклический характер. Каждый цикл состоит из операций заливки жидкого штейна, загрузки кварцевого флюса, продувки расплава воздухом, слива конвертерного шлака. После каждой продувки в конвертере остается обогащенная медью сульфидная масса. По окончании первого периода и слива последней порции шлака в конвертере остается почти чистая полусернистая медь ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) – белый штейн (78-80% меди);
- второй период – получение черновой меди за счет окисления ее сульфида по реакции:  $\text{Cu}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{Cu} + \text{SO}_2$  проводится непрерывно без загрузки каких-либо твердых и оборотных материалов и при подаче только воздуха.

Рафинирование (очистку) черновой меди проводят в две стадии:

- методом огневого (окислительного) рафинирования;
- электролитическим способом.

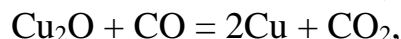
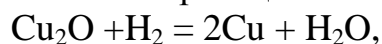
## 3 Огневое рафинирование черновой меди

Цель огневого рафинирования – частичная очистка меди от примесей, обладающих повышенным сродством к кислороду, и подготовка ее к последующему электролитическому рафинированию. При огневом рафинировании из расплавленной меди стремятся максимально удалить кислород, серу, железо, никель, цинк, свинец, мышьяк, сурьму и растворенные газы. Медь после огневого рафинирования разливают в слитки пластинчатой формы – аноды, которые направляются в электролизный цех. Поэтому печи для огневого рафинирования часто называют анодными печами.

Огневое рафинирование меди – периодический процесс, состоящий из последовательных стадий:

- подготовка и загрузка печи;
- плавление или разогрев меди, что сопровождается частичным окислением твердой меди и расплава кислородом, присутствующим в атмосфере печи;
- окислительная обработка расплава (окислительная продувка меди) с целью окисления примесей с повышенным по сравнению с медью сродством к кислороду. Окисляют воздухом, который вдувают в ванну с помощью погружаемых в расплав стальных трубок;
- съем шлака, который содержит до 50% меди. Выход шлака составляет 1-2% от массы меди. Рафинировочные шлаки для обеднения возвращают в процесс конвертирования (оборот);

- восстановительная обработка (дразнение), что можно производить природным газом. При разложении восстановительных реагентов образуются водород, оксид углерода и углеводороды, которые взаимодействуя с растворенной  $\text{Cu}_2\text{O}$  восстанавливают ее по реакциям:



- разливка готовой меди, для чего применяют изложницы, установленные на горизонтальных разливочных машинах карусельного типа.

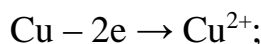
#### *4 Электролитическое рафинирование меди*

Анодная медь содержит 99,4-99,6% меди; остальное приходится на долю оставшихся после огневого рафинирования примесей, включая золото, серебро, селен, теллур. В среднем в 1 т анодной меди содержится 30-100 г золота и до 1000 г серебра. В процессе электролитического рафинирования решаются две основные задачи: глубокая очистка меди от примесей и попутное извлечение сопутствующих меди ценных компонентов. Высшая марка электролитической меди должна содержать не более 0,04% примесей.

Сущность данного процесса заключается в том, что литые аноды и тонкие матрицы из электролитной меди – катоды попеременно завешивают в электролитную ванну, заполненную электролитом, и через эту систему пропускают постоянный ток. Электролит – водный раствор сульфата меди и серной кислоты.

Механизм электролитического рафинирования меди включает следующие стадии:

- электрохимическое растворение меди на аноде с образованием катионов:



- перенос катиона через слой электролита к поверхности катода;

- электролитическое восстановление катионов меди на катоде:



- внедрение образовавшегося атома меди в кристаллическую решетку катода (рост катодного осадка).

Присутствующие в анодной меди благородные металлы и соединения селена и теллура осыпаются на дно электролизной ванны в виде медного шлама, перерабатываемого в дальнейшем на платиновые концентраты, селен, теллур и аффинажное серебро в Metallургическом цехе.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1 В составе каких минералов медь присутствует в полиметаллических рудах?

2 Какие продукты получают при обогащении медных руд?

3 Назначение и последовательность технологических процессов получения меди катодной.

#### ***Литература***

[2, стр.114]; [3, стр.112].



## Тема 7.3 Metallургия никеля

Сырьем для производства никеля на «Норникеле» являются сульфидные медно-никелевые руды. В сульфидных рудах никель присутствует главным образом в виде пентландита  $[(Ni, Fe)S]$  и частично в пирротине  $(Fe_7S_8)$ . Основным спутником никеля в сульфидных рудах является медь. Из-за высокого содержания меди эти руды называют медно-никелевыми. Кроме никеля и меди в этих рудах присутствуют кобальт, металлы платиновой группы (платина, палладий, родий, рутений, осмий и иридий), золото, серебро, селен, теллур, а также сера и железо. При металлургической переработке данных руд извлекают 14 (включая серу) ценных компонентов.

Основным способом обогащения сульфидных медно-никелевых руд является флотация. Иногда флотационному обогащению предшествует магнитная сепарация, направленная на выделение пирротина в самостоятельный концентрат. Возможность проведения магнитной сепарации обусловлена высокой магнитной восприимчивостью пирротина.

Выделение пирротинового концентрата при обогащении руды улучшает качество первичного никелевого концентрата вследствие вывода из него значительной части железа и серы и упрощает его последующую металлургическую переработку. Однако при получении пирротинового концентрата, содержащего до 1,5% никеля, возникает необходимость в обязательной его переработке с целью извлечения никеля, серы и платиноидов.

Флотационное обогащение может быть коллективным и селективным (избирательным). При коллективной флотации ставится задача отделить пустую породу и получить обогащенный продукт – медно-никелевый концентрат. Последующая селективная флотация позволяет разделить большую часть никеля и меди в самостоятельные концентраты. Полного разделения меди и никеля при селективной флотации не происходит вследствие прорастания минералов меди и никеля, и второй продукт селекции будет, по существу, являться никелево-медным концентратом, отличающимся от руды значительно более высоким отношением Ni: Cu. На практике такой концентрат называют просто никелевым.

Таким образом, в зависимости от принятой схемы обогащения сульфидных медно-никелевых руд можно получать коллективные медно-никелевые, медные, никелевые и пирротинные концентраты.

### **Технология производства никеля**

#### *1 Плавка на штейн*

Плавка осуществляется в электрических печах (руднотермическая плавка), требует тщательной подготовки шихты, что заключается в ее усреднении и сушке. Плавка влажной шихты недопустима, так как при контакте влаги с расплавленными сульфидами происходит разложение воды со взрывом.

Флотационные концентраты перед электроплавкой укрупняют методами агломерирующего обжига. Шихта для агломерации состоит из концентратов, оборотного агломерата и каменноугольной мелочи. Цель агломерации – окускование шихты за счет ее спекания и удаления части серы.

Основные стадии агломерирующего обжига:

- сушка шихты;

- термическое разложение сульфидов (пирротина, халькопирита и пентландита);
- окисление части сульфидов железа;
- расплавление легкоплавких компонентов шихты за счет тепла от окисления сульфидов и углеродистых материалов;
- спекание шихты при охлаждении расплавленной фазы.

Для электроплавки используют руднотермические печи (РТП). Ванна расплавов РТП состоит из двух слоев:

- верхнего шлакового слоя;
- нижнего штейнового слоя.

Исходная твердая шихта погружается в шлаковый слой ванны. Плавление шихты осуществляется за счет тепла, выделяемого в шлаковом расплаве при пропускании через него электрического тока, который подводится с помощью угольных электродов, концы которых погружены в слой шлакового расплава.

В шлаковой ванне электрическая энергия преобразуется в тепловую, в результате чего шлаковый расплав разогревается. Более легкие массы перегретого шлака непрерывно поднимаются вверх и, встречая на своем пути плавающую шихту, отдают ей избыток своего тепла и подплавляют шихтовую кучу с поверхности, погруженной в шлак.

Жидкими продуктами электроплавки являются медно-никелевый штейн и шлак. Штейны содержат, % : 7-16 Ni; 7-12 Cu; 0,3-0,5 Co; 47-55 Fe; 23-27 S.

Шлаки представляют собой сплавы оксидов кремния, железа, магния и алюминия, кроме того в них содержится, % : 0,07-0,11 Ni, 0,06-0,10 Cu, 0,03-0,04 Co.

Кроме штейна и шлака, при плавке образуются газы, состоящие из азота, кислорода, диоксидов серы и углерода и паров воды.

### *2 Конвертирование медно-никелевых штейнов*

Продувку медно-никелевых штейнов в конвертерах заканчивают получением файнштейна, содержащего, % : 35-42 Ni; 25-30 Cu; 0,7-1,3 Co; 3-4 Fe; 23-24 S.

При этом получают конвертерные шлаки с 2-2,5% суммы никеля, меди и кобальта. С целью обеднения конвертерные шлаки подвергают дополнительной переработке в электрических печах в присутствии восстановителя. Продуктами обеднительной плавки являются штейн, направляемый на конвертирование, и отвальный шлак.

### *3 Разделение меди и никеля*

Медно-никелевый файнштейн представляет собой в основном сплав сульфидов Ni<sub>2</sub>S и Cu<sub>2</sub>S, содержащий кобальт, платиноиды и небольшое количество железа.

Разделение меди и никеля осуществляют флотационным методом, при котором никель концентрируют в богатом никелевом концентрате, а медь – в медном.

Богатый медный концентрат (68-73% меди и до 5% никеля) направляют в медное производство.

Богатый никелевый концентрат содержит: 68-72% никеля, 3-4% меди, до 1% кобальта, 2-3% железа, 22-23% серы, большая часть платиновых металлов.

#### *4 Получение черного никеля из богатых никелевых концентратов*

Флотационные никелевые концентраты процесса разделения меди и никели вначале подвергают окислительному обжигу в печах «кипящего слоя» (печи КС). Цель окислительного обжига - удаление из него серы и перевод никеля в закись никеля NiO. Полученная при обжиге закись никеля NiO содержит менее 0,5% серы.

Из обжиговой печи закись никеля с температурой 900-1000°C ссыпается в трубчатый реактор, куда вводят также 4-8% кокса. Закись никеля частично (до 40-50%) восстанавливается по реакции:  $NiO + C = Ni + CO$  и из реактора выходит металлизированный огарок с содержанием никеля 22-86%, что ускоряет и удешевляет его дальнейшую переработку в электропечах.

Восстановительную плавку закиси никеля проводят в дуговых электрических печах за счет тепла, выделяющегося при горении дуги между угольными электродами и металлом. Во время приготовления шихты закись никеля смешивают в заданной пропорции с твердым восстановителем, чаще всего коксом. При расплавлении шихты происходит восстановление закиси никеля до металла.

Готовый никель разливают в аноды.

#### *5 Электролитическое рафинирование никеля*

Анодный никель - сложный по составу сплав, содержащий двенадцать металлических элементов, включая железо, и химические соединения металлов с селеном, теллуром, кислородом и серой.

Цель рафинирования черного никеля - получение чистого катодного никеля и попутное извлечение присутствующих в анодном никеле ценных спутников – кобальта, платиноидов, золота, серебра, меди, селена и теллура.

Рафинирование никеля проводят методом электролиза. Электролиз ведут в электролизных ваннах. Аноды и катодные основы навешивают в ванны поочередно. Для электролиза применяют сульфат-хлоридные электролиты, основными компонентами которых являются сульфаты никеля и натрия и хлорид никеля. Анодный процесс сводится к электрохимическому растворению никеля, кобальта, железа и меди; благородные металлы и нерастворимые в электролите химические соединения осыпаются в шлам (на дно ванны). На катоде протекает восстановление катионов никеля по реакции:  $Ni^{2+} + 2e \rightarrow Ni$ .

#### **Гидрометаллургия никеля**

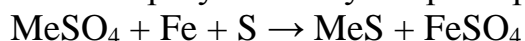
На Надеждинском никелевом заводе применяют автоклавное выщелачивание для переработки пирротиновых концентратов.

Переработка пирротиновых концентратов, содержащих, %: 3,5-3,9 Ni; 3,2-3,6 Cu; 0,13 Co; 47-54 Fe; 28-32 S осуществляется по технологии автоклавного окислительного выщелачивания (рисунки 7.2).

Окислительное выщелачивание проводят в горизонтальных автоклавах. Цель процесса – разложение пирротина с образованием гидроксида железа и элементарной серы; при этом в раствор частично переходят цветные металлы в форме сульфатов. Химизм основного процесса сложен и недостаточно изучен. Продуктом процесса является окисленная пульпа, в твердой фазе которой

содержатся неокислившиеся сульфиды, гидроксид железа, элементарная сера и пустая порода, а в водной – растворенные цветные металлы.

Для осаждения растворенных металлов пульпу в реакторах с механическим перемешиванием обрабатывают железорудными металлизированными окатышами. В результате суммарной реакции:



никель, медь и кобальт выпадают в осадок в виде сульфидов.

Серосульфидная флотация имеет своей целью флотационное отделение сульфидов и элементарной серы от оксидов ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) и пустой породы, которые направляются в отвал. Флотационный серосульфидный концентрат направляется на разделение серы и сульфидов также методом флотации с получением сульфидного и серного концентратов.

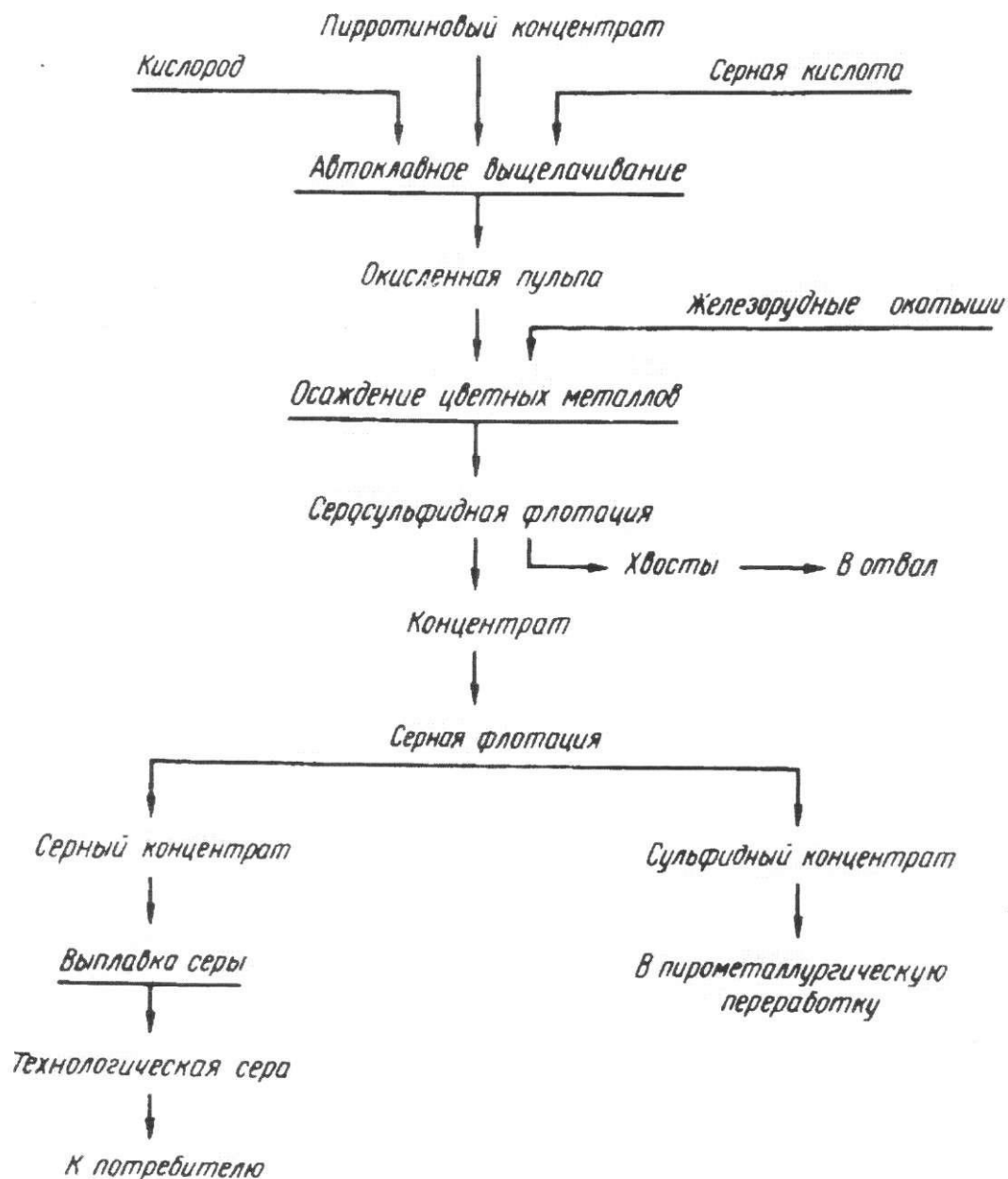


Рисунок - 7.2 Упрощенная технологическая схема автоклавного окислительного выщелачивания пирротиновых концентратов

Автоклавный сульфидный концентрат в 3-4 раза больше обогащен цветными металлами по сравнению с исходным пирротиновым концентратом. Его плавят в составе шихты плавки на медно-никелевый штейн.

***Вопросы для самоконтроля***

- 1 Какие руды и минералы являются сырьем для производства никеля?
- 2 Какие операции включает в себя технология переработки медно-никелевого концентрата?
- 3 В чем заключается необходимость получения пирротинового концентрата при обогащении сульфидных медно-никелевых руд?

***Литература***

[2,стр.183]; [3,стр.186].

## **Варианты контрольных работ**

### ***Вариант 1***

- 1 Виды процессов.
- 2 Назначение и сущность процесса фильтрования. Применяемое оборудование.
- 3 Назначение и основные методы процесса обогащения.

### ***Вариант 2***

- 1 Назначение и принцип работы гидравлических машин.
- 2 Назначение, сущность и виды абсорбции.
- 3 Назначение и виды мембранных процессов. Факторы, влияющие на мембранные процессы.

### ***Вариант 3***

- 1 Назначение и принцип работы компрессорных машин.
- 2 Назначение, сущность и виды ректификации.
- 3 Назначение и способы измельчения. Применяемое оборудование.

### ***Вариант 4***

- 1 Назначение и сущность процесса мокрой очистки газов. Применяемое оборудование.
- 2 Назначение и принцип работы поверхностных абсорберов.
- 3 Устройство систем промышленной вентиляции.

### ***Вариант 5***

- 1 Назначение и сущность процесса центрифугирования. Применяемое оборудование.
- 2 Назначение и принцип работы барботажных абсорберов.
- 3 Технология кондиционирования воздуха.

### ***Вариант 6***

- 1 Источники энергии.
- 2 Назначение и принцип работы насадочных ректификационных колонн.
- 2 Назначение и способы классификации. Применяемое оборудование.

### ***Вариант 7***

- 1 Назначение и принцип работы поверхностных теплообменных аппаратов.
- 2 Назначение, сущность и виды экстракции.
- 3 Способы очистки сточных вод.

### ***Вариант 8***

1 Назначение и принцип работы регенеративных теплообменных аппаратов..

2 Назначение и сущность процесса адсорбции. Характеристика адсорбентов..

3 Способы очистки газовых выбросов.

### ***Вариант 9***

1 Назначение и сущность процесса выпаривания. Виды выпаривания.

2 Оборудование для сушки твердых материалов.

3 Технология переработки медных концентратов.

### ***Вариант 10***

1 Назначение и принцип работы парокомпрессорных холодильных установок.

2 Способы удаления влаги. Виды сушки.

3 Технология переработки медно-никелевых концентратов.

## Экзаменационные вопросы

- 1 Виды процессов и производств.
- 2 Оборудование, применяемое для перемещения жидкостей и газов.
- 3 Способы разделения жидких и газовых гетерогенных систем.
- 4 Аппараты, применяемые для разделения жидких и газовых гетерогенных систем.
- 5 Источники энергии.
- 6 Типы и принцип работы теплообменных аппаратов.
- 7 Назначение и сущность процесса выпаривания. Виды выпаривания.
- 8 Типы выпарных аппаратов.
- 9 Назначение, сущность и виды абсорбции.
- 10 Принцип работы абсорбционных аппаратов.
- 11 Назначение, сущность и виды ректификации.
- 12 Назначение, сущность и виды экстракции.
- 13 Назначение и сущность процесса адсорбции. Характеристика адсорбентов.
- 14 Способы удаления влаги. Виды сушки.
- 15 Назначение и виды мембранных процессов. Факторы, влияющие на мембранные процессы.
- 16 Назначение и схемы измельчения.
- 17 Оборудование для измельчения.
- 18 Устройство и основное оборудование для систем вентиляции.
- 19 Технология и оборудование для кондиционирования воздуха.
- 20 Методы очистки сточных вод.
- 21 Методы очистки газовых выбросов.
- 22 Назначение, методы и продукты обогащения руд.
- 23 Показатели, характеризующие эффективность процесса обогащения.
- 24 Подготовка сырья к металлургической переработке.
- 25 Технология переработки медных концентратов.
- 26 Технология переработки медно-никелевых концентратов.



## Требования к оформлению контрольных работ

К оформлению контрольных работ предъявляются следующие требования:

- контрольные работы оформляют на листах формата А4 (210x297), текст печатается на одной стороне листа через полтора интервала;
- параметры шрифта гарнитура шрифта – Times New Roman, начертание - обычный, кегль шрифта - 14 пунктов, цвет текста - авто (черный);
- параметры абзаца выравнивание текста - по ширине страницы, отступ первой строки -12,5 мм, межстрочный интервал - полуторный;
- поля страницы для титульного листа: верхнее и нижнее поля - 20 мм, правое и левое поля - 15 мм;
- поля всех остальных страниц: верхнее и нижнее поля - 20 мм, размер левого поля 30 мм, правого - 15 мм;
- титульный лист должен быть оформлен по образцу (см. в Приложении 1);
- каждую структурную часть необходимо начинать с нового раздела со следующей страницы;
- страницы нумеруют арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту;
- нумерация страниц начинается с титульного листа, но на титульном листе и на странице «Содержание» номер страницы не указывается, нумерация указывается с цифры 3 (с третьей страницы);
- заголовки следует начинать с абзацного отступа и печатать строчными буквами, кроме первой. Точка в конце заголовка не ставится;
- иллюстрации (рисунки, схемы, графики) и таблицы, которые размещаются на отдельных страницах, включают в общую нумерацию страниц,
- иллюстрации и таблицы необходимо помещать непосредственно после первого упоминания о них в тексте или на следующей странице:
- таблицы нумеруют арабскими цифрами по порядку в пределах раздела;
- формулы и уравнения располагают непосредственно после их упоминания в тексте, посередине страницы,
- ссылки на источники следует указывать в квадратных скобках, например: [1 - 3], где 1 - 3 порядковый номер источников, указанных в списке источников информации;
- список источников информации можно размещать в порядке появления источника в тексте, в алфавитном порядке фамилий авторов или заголовков и в хронологическом порядке.

## Приложение А

### ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Норильский государственный индустриальный институт»  
Политехнический колледж

Цикловая комиссия автоматизации технологических процессов

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине  
«Типовые технологии производства»

Вариант №

Выполнил студент гр. Ф.И.О.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_

Преподаватель:

Оценка: \_\_\_\_\_

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_

201\_

## Список использованных источников

- 1 Молоканова Н.П. Типовые технологии производства. М.:ФОРУМ, 2013.
- 2 Уткин Н.Н. Metallургия цветных металлов. Учебник для техникумов. М.: «Интермет Инжиниринг», 2005, - 440 с.
- 3 Уткин Н.И. Производство цветных металлов. М.: «Интермет Инжиниринг», 2006, - 442 с.
- 4 Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 2007. – 352 с.
- 5 Абрамов А.А., Леонов С.Б. Обогащение руд цветных металлов. М.: Недра, 2008. – 404 с.
- 4 Гужулев Э.П. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике: Учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 384 с.
- 6 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: «ХИМИЯ», 2005.
- 7 Тихомиров К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: учебник для техникумов. М.: Академия, 2008.



