

# МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РУД

## Курс лекций

**Лекция 1. Общие сведения о переработке руд, виды полезных ископаемых, особенности строения руд ПИ и физико-механические свойства.**

Переработка - обработка, превращение, трансформирование, модификация, изменение.

Переработка руд – извлечение полезного компонента из рудной массы, получаемой при добычи полезных ископаемых.

**ПОЛЕЗНОЕ ИСКОПАЕМОЕ** – это природное скопление вещества, находящееся в земной коре, которое может быть использовано в народном хозяйстве после его количественной и качественной оценки для добычи из *оконтуренных рудных тел в виде геологических запасов*.

**СЫРЬЁ** (минеральное или органическое) - полезные ископаемые, вовлечённые в сферу общественного производства в виде товарной продукции горного производства – рудного сырья.

Основное отличие полезного ископаемого от сырья, в том, что один находится в недрах в виде запасов, а другой извлечён на поверхность в виде продукта добычи.

**РУДА** — это минеральное или органическое сырьё, из которого валовым способом технологически возможно и экономически целесообразно извлекать металлы, выделять органические или иные полезные природные вещества для их непосредственного потребления или в виде сырья для глубокой переработки.

Руда состоит из компонентов: ценных и не представляющих ценности – *пустой породы*.

Ценные компоненты разделяются на основной компонент (компоненты), который определяет основную технологию переработки, и примеси, которые могут выступать полезными и вредными компонентами руды.

Руды различаются на кондиционные и некондиционные, в свою очередь кондиционные руды разделяются на сорта.

Сортность руды обуславливается регламентными документами: технические требования общего применения – ГОСТ, или к конкретной технологии переработки.

Существует два вида переработки: обогащение и глубокая переработка.

**Обогащение** – это обработка *рудного сырья* направленное на отделение полезных компонентов от пустой породы или вредных примесей, или то и другое совместно.

По своей сути обогащение является промежуточным звеном в технологической последовательности переработки между добычей полезного ископаемого и извлечением полезного вещества в результате глубокой переработки *рудного концентрата*.

**ОБОГАЩЕНИЕ** – это в основном либо механическая, либо механохимическая обработка рудного сырья с использованием физических, химических и механических свойств слагающих его компонентов: *рудообразующие минералы, вредные минеральные примеси, вмещающие породы*.

**Вмещающая порода** – это горная порода, в которой заключена рудная залежь, и попадает в рудное сырьё при добыче.

**Глубокая переработка** – это совокупность процессов, в основном, термической обработки рудного концентрата с целью его трансформирования, модификации, изменения превращения в новое вещество: металл, кокс, топливо, полимер и т. д.

Виды глубокой переработки: плавка, коксование, термическое или химическое растворение, термохимические преобразования.

Глубокая переработка может быть конечной стадией получения заданного продукта или промежуточной для концентрирования (повышения содержания)

**полезного компонента или изменения его свойств для извлечения конечного продукта (металл, полимер, химические продукты).**

При глубокой переработке рудного концентрата выбирается технология, учитывающая свойства рудного концентрата обогащения или агломерата (мелкокусковой или пылевидный рудный концентрат после термической обработки – спекания)

#### **4. Минеральный и химический состав ПИ**

Пример по меди: Халькопирит -  $\text{CuFeS}_2$  или Ковеллин  $\text{CuS} = \text{Cu}_2\text{CuS}(\text{S}_2)$  или Борнит  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$  или Блеклые руды  $\text{Cu}_{12}(\text{As,Sb})_4\text{S}_{13} = \text{Cu}_{12}(\text{As,SbS}_3)_4\text{S} + \text{Zn, Ag, Au}$  (примеси).

**Коэффициент минимальной промышленной концентрации элемента** – это отношение минимального промышленного содержания химического элемента в рудах к величине его кларка

#### **5. Типизация минералов:**

- рудные и нерудные;
- сингенетические с органическим веществом и в виде примесей в угольном материале.

#### **6. Признаки разделение рудной массы :**

- по степени концентрации рудных минералов: сплошные (массивные) и вкрапленные руды. **Массивные руды** обычно содержат более 80% рудных минералов, **густовкрапленные** – 50-80%, **вкрапленные** – 30-50%, **бедные вкрапленные** – менее 30%.

Сплошные или массивные руды характерны для руд черных и некоторых цветных металлов, для редких и благородных металлов характерны вкрапленные и бедные вкрапленные руды.

- по генезису минеральных агрегатов: руды первичные, вторичные, окисленные.

- по составу полезных компонентов в металлических и неметаллических полезных ископаемых (за исключением горных пород) выделяют **простые руды**, из которых добывается один компонент и **комплексные** - добываются два и более компонента.

1. Морфология и условия залегания рудных тел ПИ: форма, размеры, пространственная ориентировка и взаимоотношения с вмещающими горными породами.

2. Распределение рудных компонентов в телах: равномерное, разной степени неравномерное, рудные столбы:

а) морфологические,

б) концентрационные

#### **3. Структурное положение тел ПИ**

- контакты тел ПИ с вмещающими породами: **резкие или постепенные.**

- возрастное соотношение тел с вмещающими породами: **сингенетические и эпигенетические** рудные тела.

- по отношению к первичному напластованию или контактам вмещающих пород тела: **секущие и согласные.**

#### **7. Элементы строения руды - текстуры и структуры**

- морфологическая единица структуры является минеральное зерно или индивид (природный кристалл или кристаллическое зерно). Признаки и предмет изучения минерального индивида: **форма, размеры, характер срастания с другими индивидами, а также внутреннее строение зерна.**

- морфологическая единица текстуры – мономинеральный или полиминеральный агрегат. Минеральный агрегат - это характерные **сростки зёрен и коллоидных частиц необязательно совместно образованных. Особенности минерального агрегата: минералогический состав, форма, размеры и структуры** слагающих его компонентов.

#### **8. Изучения элементов строения руды необходимо для:**

- установления генезиса месторождения;

- разработки технологической схемы обогащения руды;

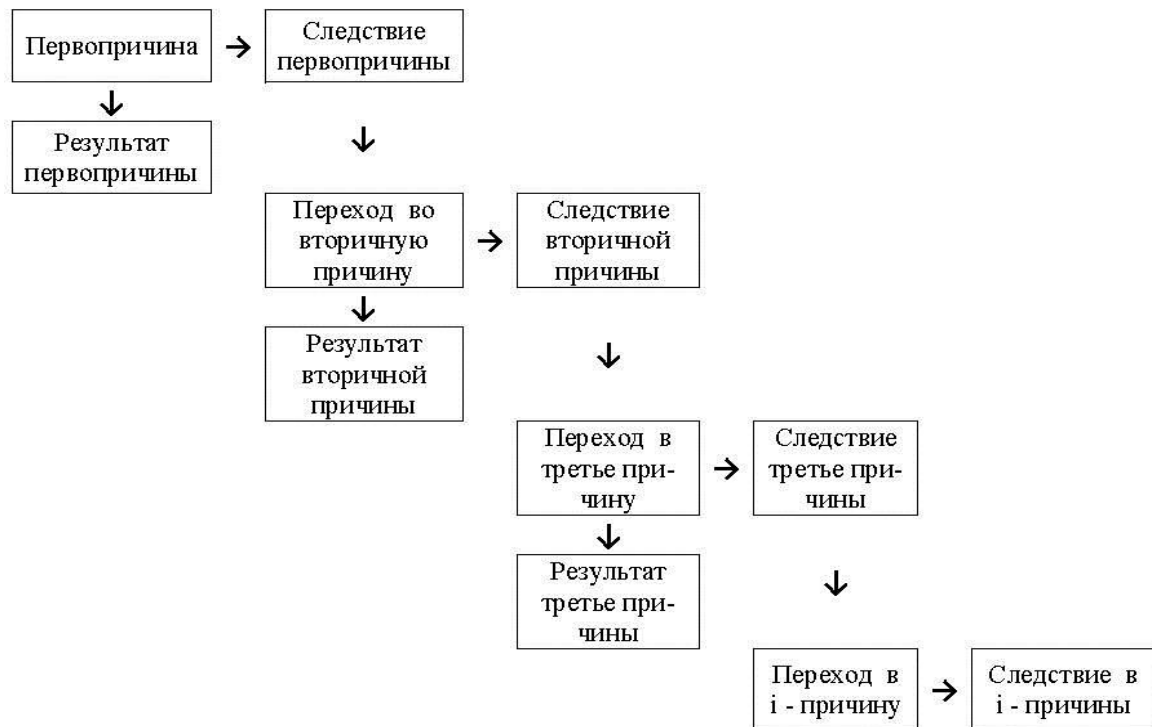
- оценки выхода концентрата – обогатимости рудного сырья;
- качества и свойств рудного концентрата, промежуточных продуктов и отходов

**СВОЙСТВО** – это отличительный признак, указывающий на особенность предмета или объекта исследования или изучения и отражает такую его сторону, по которой устанавливается сходство или различие с другими предметами или объектами.

**СВОЙСТВА** – это совокупность признаков, по которым устанавливается образ предмета или объекта и его способность и поведение под влиянием факторов образования или разрушения.

**КАЧЕСТВО** – это свойство в виде признака, определяющее достоинство предмета или объекта исследования или изучения. Это то, что делает предмет или объект таковым какой он есть или это одна из основных логических категорий, являющаяся его определением по характеризующим присущим ему признакам, указывающих на степень достоинство, ценности, пригодности.

### СХЕМА ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ



#### Определение факторов и признаков

Результаты первопричины, второй причины, третьей причины, i-причины – это **факторы, разделяющиеся:**

- 1 фактор - результат первопричины
- 2 фактор – результат второй причины
- 3 фактор – результат третьей причины
- i-фактор – результат i-причины

#### **АНАЛОГИЯ**

Результаты следствий первопричины, второй причины, третьей причины, i-причины – это **признаки, разделяющиеся:**

- 1 признак – результат следствия первопричины
- 2 признак – результат следствия второй причины

3 признак – результат следствия третьей причины

i-признак – результат следствия i-причины

*Результаты причин - факторы,*

*результаты следствий - признаки*

<b>ФАКТОРЫ УГЛЕОБРАЗОВАНИЯ</b>	
<b>ПРИЧИНА</b>	<b>СЛЕДСТВИЕ</b>
<b>Первопричина - космические силы Вселенной</b>	
<b>I уровень</b>	
<b>Литосферные факторы</b>	<b>Формациеобразующие факторы</b>
<b>Влияние космических сил Вселенной обуславливает возникновение движения литосферных плит Земли, как следствие образование различных форм земной коры - материков и их широтное местоположение относительно Солнца в длительные периоды геологического времени. Палеоклиматический фактор определяет палеоботанические пояса относительно экватора Земли. Результат - формирование угленосных поясов, как результат первопричины.</b>	<b>Зарождение формацеобразующих факторов, обуславливающих формирование угленосных узлов. Это следствие первопричины.</b>
<b>Вторичная причина - формациеобразующие факторы Земли</b>	
<b>II уровень</b>	
<b>Литолого-фациальные факторы –</b>	<b>Геодинамические (фациально-тектонические) факторы</b>
<b>Развитие формациеобразующих факторов: местоположение (палеогеография), геодинамические режим (палеотектоника), время образования геологических структур (палеоструктура), включая палеоклиматические условия, обуславливает возникновение литолого-фациального факторов. Результат – формирование угленосных формаций, как результат вторичной причины.</b>	<b>Зарождение вариационных геодинамических (фациально-тектонических) факторов, обуславливающих формирование угленосных региогоризонтов в стратиграфическом разрезе и угольные месторождения по площади распространения. Это следствие вторичной причины.</b>
<b>Третья причина - фациально-тектонические факторы угленосных формаций в угленосных поясах</b>	
<b>III уровень</b>	
<b>Генетические факторы</b>	<b>Генетические свойства</b>

<p>Развитие вариационных фациально-тектонических факторов обуславливают возникновение циклы <u>седиментационных факторов</u> (обстановок) зарождения угольных стадия метаморфизма пластов, а при их погружении возникновение <u>литологических факторов</u>, диагенез катагенез и метагенез (два последних выделяются как метаморфизм осадков).  <b>Результат – угольных пластов, как результат третьей причины.</b></p>	<p><b>Зарождение генетических свойств углей:</b> степень восстановленности, петрографический и минеральный состав, стадия метаморфизма  <b>Результат - возникновение генетических свойств углей:</b> степень восстановленности, петрологический состав и стадия метаморфизма.  <b>Это следствие третьей причины.</b></p>
--	--

### **Особенности строения ПИ и физико-механические свойства.**

Твёрдые полезные ископаемые разделяются на органические и неорганические, которые также делятся на металлические и неметаллические.

Особенности строения: монолитность, композиционность, слоистость, трещиноватость, зональная окисленность и другие структурные и текстурные особенности руд ПИ и вмещающих пород.

Основные свойства обуславливающие методы обогащения:

- Цвет, блеск, прозрачность, свечение (флуоресценция).
- Плотность.
- Смачиваемость естественная и гидрофобность.
- Магнетизм.
- Электрические свойства.
- Радиометрические свойства.
- Упругость, крепость, прочность, абразивность.

Для получения товарного продукта некоторые виды добываемых п. и. (напр., нефть, газ, бокситы, нерудные строит. материалы, минеральные воды, марганцевые и хромовые руды) требуют незначительной обработки (обессоливание, обезвоживание, очистка, сушка, фильтрование, дробление и пр.).

Для других видов ПИ из-за невысокой концентрации полезных компонентов, ФМС и других особенностей для получения технологически ценных товарных продуктов, удовлетворяющих требованиям промышленности к сырью, необходима механическая переработка.

В некоторых случаях товарным продуктом являются металл (напр., золото, платина), минерал (асбест, драгоценные камни) или порода (мрамор, гранит).

*Суть технологии переработки и обогащения добытых полезных ископаемых* заключается в последовательном **концентрировании** полезных компонентов в товарном продукте, который можно использовать как готовый продукт непосредственно к потреблению или использовать **в качестве сырья** для последующей химико-металлургической переработки.

**Концентрирование** включает в себя две основные операции: **дезинтеграцию** добытого сырья на фазы, контрастные по содержанию полезного компонента, и **разделение** этих фаз на основе различия их физических свойств.

**Обогащаемость** ПИ зависит от параметров, определяющих его качество. Интегральным показателем качества являются **технологические свойства минеральной ассоциации, представленной элементарным геометрическим объёмом месторождения. При этом месторождение дифференцируется по отдельным типам и сортам руд.**

## Лекция 2 Общие сведения, Виды фабрик. Основными технологическими показателями процесса обогащения руд. Основные операции обогащения.

### Основные понятия

**Концентрат** – ценный продукт для дальнейшей переработки или употребления в других технологиях. Его ценность определяется содержанием металлов, органической массы, химического соединения.

**Промежуточный продукт (промпродукт)** – это продукт по плотности, минеральному и химическому составу занимающий среднее положение между концентратом и отходом. Промежуточные продукты не являются конечными продуктами обогащения и подвергаются дальнейшей переработке механическими или химическими способами.

**Отходы (хвосты)** – продукт обогащения, состоящий в основном из пустой породы или с незначительным содержанием полезных компонентов, извлечение которых технологически невозможно или экономически невыгодно.

**Основными технологическими показателями процесса обогащения ПИ** являются:

- извлечение полезных компонентов (ПК) в виде концентратов,

- выход концентрата,
- качество продуктов обогащения.

Качество обогащения определяется содержанием ценных компонентов и вредных примесей в концентрате, промпродукте и отходе.

Качество концентрата определяется гранулометрическим составом и регламентирующими показателями предусмотренных ТУ на конкретный вид продукции и технологическим свойством для технологии глубокой переработки.

Качество концентрата должно отвечать требованиям, предъявляемым потребителями, и регламентируется ГОСТами, техническими условиями по видам продукции или временными нормами.

На основе технологии обогащения устанавливаются *кондиционные средние и минимальные или максимальные допустимые содержания различных компонентов в конечных продуктах обогащения* или при необходимости содержание их в классах определённой крупности, или в привязке к гранулометрическому составу.

**Содержание компонентов** в исходном полезном ископаемом  $\alpha$ , полученных концентратах  $\beta$  и хвостах  $\theta$  обычно измеряют в процентах, а содержание драгоценных металлов — в граммах на тонну продукта, г/т.

**Выход продукта обогащения  $\gamma$**  — количество полученного продукта (концентрата, хвостов), выраженное в процентах или долях единицы к исходному материалу.

Суммарный выход всех продуктов обогащения должен соответствовать выходу исходного материала, принимаемому за 100 %.

При разделении обогащаемого сырья на два конечных продукта — концентрат (с выходом  $\gamma_k$ ) и хвосты (с выходом  $\gamma_{хв}$ ) — это условие записывается равенством:

$$\gamma_k + \gamma_{хв} = 100\% \quad (1),$$

которое называемым **уравнением баланса продуктов**.

Принимая количество ПК в исходном за  $100\alpha$  равное его суммарное количество в концентрате  $\gamma_k\beta$  и хвостах  $\gamma_{хв}\theta$ , можно составить **уравнение баланса компонентов по исходному материалу и продуктам обогащения**:

$$100\alpha = \gamma_k\beta + (100 - \gamma_k)\theta \quad (2)$$

с учётом равенства баланса продуктов.

Опираясь на уравнение (2) относительно  $\gamma_k(\%)$ , получим зависимость для определения выхода концентрата и хвостов:

$$\gamma_k = 100(\alpha - \theta)/(\beta - \theta), \gamma_{хв} = 100(\beta - \alpha)/(\beta - \theta). \quad (3)$$

**Извлечение**  $\varepsilon$  — показатель, по которому определяется переход части извлекаемого компонента, содержащегося в исходном материале, в концентрат или другой продукт обогащения и выражается в %, реже — в долях единицы.

Данный показатель это отношение массы компонента в данном продукте  $\gamma_i \beta_i$  к его массе в исходном материале  $100 \alpha_i$ .

Извлечение компонента в концентрат, %:

$$\varepsilon_k = (\gamma_k \beta) 100\% / (100 \alpha) = \gamma_k \beta / \alpha \quad (4)$$

Если выход концентрата неизвестен, то извлечение компонента в концентрат можно рассчитать по уравнению

$$\varepsilon_k = (\beta / \alpha)(\alpha - \theta) 100\% / (\beta - \theta), \quad (5)$$

которое получается путём подстановки в уравнение (4) выражения для  $\gamma$  из уравнения (3).

**Суммарное извлечение каждого компонента во все полученные конечные продукты обогащения составляет 100 %.**

Извлечение ценных компонентов в концентрат при обогащении полезных ископаемых составляет **от 60 до 95 % и выше.**

**Степень концентрации  $K$**  — показатель, указывающий во сколько раз увеличилось содержание ПК в концентрате по сравнению с его содержанием в исходном материале. Определяется как отношение содержания полезного компонента в концентрате  $\beta$  к содержанию его в исходном материале  $\alpha$ :

$$K = \beta / \alpha. \quad (6)$$

Степень концентрации при обогащении полезных ископаемых может быть **от 2 до 100.**

**Степень сокращения  $R$**  — показатель, обозначающий во сколько раз масса полученного концентрата  $\gamma_k$  меньше массы переработанного ПИ:

$$R = 100 / \gamma_k. \quad (7)$$

Степень сокращения при обогащении полезных ископаемых может составлять **от 2 до 50 и более.**

**Эффективность обогащения ПИ (%)** при разделении на два продукта определяют по формуле Ханкокка-Луйкена:

$$\eta = (\varepsilon - \gamma_k) / (100 - \alpha) 100. \quad (8)$$

Процесс считается весьма эффективным, если  $\eta > 75\%$ , эффективным, если  $\eta > 50\%$ , и неэффективным, если  $\eta < 25\%$ .

**Уровень комплексности использования рудного (минерального) сырья** оценивают обобщающим показателем — **коэффициентом комплексности  $K_k$**

Это отношение стоимости извлечённых ПК в товарной продукции к стоимости полезных компонентов в исходном сырье по единым ценам:

$$K_k = (\sum M_{т.п_i} Ц_{о.ц_i}) / (\sum M_{с_i} Ц_{о.ц_i}), \quad (9)$$

где  $M_{т.п_i}$  и  $M_{с_i}$  — массовая доля ценных компонентов соответственно в товарной продукции и в сырье  $Ц_{о.ц_i}$  — единые оптовые цены, установленные на компоненты в товарном виде.

**Качественные и количественные показатели характеризуют техническое совершенство технологического процесса обогащения.**

При прочих равных условиях, чем выше содержание ценного компонента в концентрате, его извлечение, а также показатели степени сокращения и концентрации, тем выше эффективность обогащения полезного ископаемого.

Основная характеристика фабрики - это **производственная мощность**, которая зависит от **количества запасов сырья и капитальных вложений.**

Количество концентрата обуславливается **рудой, выбранным методом обогащения, техническими требованиями потребителей.**

Выбор технологической схемы характеризуется **рудой и условиями, связанными с выходом продуктов обогащения**. Технологическая схема должна удовлетворять полноте выхода ценного компонента с использованием свойств ГП и РС.

### **Виды обогатительных фабрик**

1. **Обогатительная фабрика** для механического отделения рудного или угольного концентрата от пустой породы на основе физико-механических свойств ПИ.

Такие фабрики могут являться подготовительными в технологии получения рудного концентрата для металлургии.

2. **Агломерационная фабрика** для окомкования и брикетирования рудного концентрата на основе термического обжига.

Такие фабрики могут являться основными производственными единицами для получения готовой товарной продукции для реализации или для глубокой переработки по извлечению металлов.

Для окомкования мелкого или тонкодисперсного угольного или коксового материала используются установки для брикетирования холодным и горячим способами с получением угольных и коксовых брикетов (+25 мм). Брикеты менее 25 мм называются – гранулы, установки – грануляторы.

### **ЭТАПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ОФ** состоят:

- из оценки запасов руды,
- количества воды,
- электроэнергии,
- развития инфраструктуры,
- установления производственной мощности ОФ,
- транспорта,
- издержек,
- наличие рабочей силы и развития планируемой транспортной схемы.

**Металлургия** – составные элементы кроме рудного концентрата: топливо (кокс), флюсы, электроэнергия, иногда газ или другие углеродсодержащие энергоносители.

Т требования к металлургии: бесперебойное обеспечение концентратом, наличие потребителей и их близость к металлургическому комбинату (заводу), бесперебойная поставка электроэнергии (производство алюминия) или газа (черная металлургия).

### **Основные операции обогащения:**

- **механическое** - это разделение связанных компонентов руды путем дробления с последующим отделением их друг от друга;
- **химическое** – это разделение связанных компонентов путем воздействия на руду водными растворами с реагентами и без них.

Выделяются процессы обогащения в зависимости от методов разделения минералов или органической массы от вмещающих пород:

- - гравитационное;
- - магнитная сепарация;
- - флотационная;
- - химическое выщелачивание.

### **ПОДГОТОВКА К ОБОГАЩЕНИЮ** состоит:

- из выбора места положения ОФ,
- из выбора расположения месторождения от добычного предприятия,
  - местоположения потребителей и близости к железнодорожным магистралям и портам
  - от вида готового продукта,
- источника воды, определяемое количеством компонента и хвостов,
  - местом складирования концентратов и отходов,
  - организации природоохранных мероприятий,



- системы контроля качества готовой продукции.

### Лекция 3. Подготовительные, основные, вспомогательные операции на обогатительных фабриках. Классификация процессов обогащения.

#### Процессы обработки

- **К подготовительным процессам** относят *дробление и измельчение*. Достигается раскрытие минералов или угольной массы в результате раскрытия сростков полезных компонентов с пустой породой. Образуется механическая смесь частиц и кусков разного минерального состава или смесь угольно-породной массы.

- К подготовке относится грохочение и классификация, которые позволяют проводить разделение по крупности кусков или частиц. Данный этап обогащения характеризуется как *сортировка* и иногда является единственным и конечным процессом обогащения МС.

- Достигается результат – это получение продукта с заданным гранулометрическим составом для использования в народном хозяйстве.

- **К основным относятся процессы** относятся физические, физико-механические и физико-химические процессы способствующие разделению минерального сырья на концентрат и отходы.

- В процессах обогащения используются различия, в крупности, форме, плотности, магнитной проницаемости, смачиваемости, в электропроводности и др.

Основные процессы включают стадийную классификацию обогащения МС и таких стадий может быть 2 или 3, в зависимости от степени обогатимости МС.

- Стадия обогащения крупных кусков + 13 мм
- Стадия обогащения средних кусков + 1-13 мм
- Стадия обогащения мелких классов менее 1 мм

Процессы первой и второй стадии основаны на закономерности свободного падения частиц в водной и воздушной среде. Используются горизонтальное обогащение в виде постели - отсадочная машина или вибрационные столы, либо вертикальное (под давление) в виде струйного взмучивания или «кипящего слоя» - гидроциклоны, сепараторы.

**К вспомогательным относятся процессы**, способствующие повышению эффективности основных процессов обогащения (предварительное обеспыливание, обеспламливание и др.) и процессы, повышающие эффективность дальнейшей переработки полученных продуктов обогащения (обезвоживание и сушка).

Применяемые способы:

- подавление пыли смачиванием или её удаление воздушным всасыванием;
- центрифугирование для отделения шлама из пульпы и влаги из концентрата;
- вращательные печи для сушки концентрата.
- К вспомогательным относится: сгущение, фильтрование и сушка

Подготовительные, основные и вспомогательные процессы называются технологическими.

**К процессам производственного обслуживания** относятся операции, обеспечивающие непрерывность и стабильность технологических процессов:

- внутрифабричный транспорт сырья и продуктов обогащения;
- водоснабжение;
- электроснабжение;
- снабжение сжатым воздухом;
- механизация и автоматизация;
- технический контроль.

В целом технологический процесс обогащения от приёма МС до выдачи готовой продукции состоит из отдельных приёмов и операций, проводимых последовательно или параллельно.

В тех случаях, когда возникает необходимость повторного обогащения полученного концентрата, тогда проводится операция – *перечистка*. Поэтому для исключения перечистки проводят контрольное обогащение с получением *чернового концентрата* для установления режимов переработки МС отдельной партии или минерального сырья или угля с определённым содержанием полезного компонента.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ

*К подготовительным* относятся процессы

дробление,  
измельчение,  
грохочение и  
классификация.

- **Дробление и измельчение** — процессы уменьшения размеров кусков полезных ископаемых под действием внешних сил, преодолевающих внутренние силы сцепления между отдельными минеральными частицами.
- Дробление и измельчение не имеют между собой принципиальных различий. **Различие только в способе механического воздействия на МС**
- Условно принято считать, что при дроблении получают продукты **крупнее 5 мм**, а при измельчении — **мельче 5 мм**.
- Размер максимальных зерен, до которого необходимо раздробить или измельчить полезное ископаемое при его подготовке к обогащению, зависит от размера включений основных компонентов, входящих в состав полезного ископаемого, и от технических возможностей оборудования, на котором производится последующая переработка дробленого продукта.
- При обогащении методом **сухой магнитной сепарации** максимальная крупность дробленой руды допускается **не более 50 мм**.
- **Грохочение и классификация** применяются с целью разделения полезного ископаемого на продукты различной крупности, называемые классами.
- **Грохочение осуществляется** рассевом полезного ископаемого на решетках и ситах с калиброванными отверстиями, поэтому отделяемый мелкий (подрешетный) продукт содержит зерна определенного максимального размера, соответствующего размеру отверстий просеивающей поверхности.

В получаемом крупном (надрешетном) продукте частично остаются мелкие зерна, количество которых зависит от многих факторов. **Грохочение применяется** для разделения полезных ископаемых по крупности на ситах с отверстиями размером от нескольких сотен миллиметров до долей миллиметра

- **Классификация** осуществляется в водной или воздушной среде и основана на выносе движущимся водным или воздушным потоком мелких зерен.
- При классификации получают крупные продукты называются песками, а мелкие — сливом (при классификации в воде) или тонкими продуктами (при классификации в воздухе).
- **Классификация** применяется для тонкодисперсных продуктов при разделении по зерну размером не более 1 мм. В производственных условиях идеально точное разделение по крупности обычно не достигается.
- При грохочении часть зерен размером менее отверстий сита остается в надрешетном продукте, а при классификации происходит не только засорение крупных продуктов более мелкими зернами, но и тонкие продукты содержат зерна, крупность которых превышает размер, по которому осуществляется разделение.
- **Магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости компонентов** основаны магнитные методы обогащения для обогащения руд черных металлов, титановых, вольфрамовых, вермикулитовых руд, для выделения железистых

примесей из тальковых, графитовых, каолиновых и других неметаллорудных полезных ископаемых.

- **Электросепарация** способность МС электропроводности или под действием тех или иных физических факторов приобретать различные по величине и знаку электрические заряды пригодна для вольфрамовых, титановых, оловянных, слюдосодержащих, апатитовых и других руд.
- **Различия в смачиваемости компонентов** водой используются при обогащении МС возможность искусственно регулировать смачиваемость и разделять весьма тонкие минеральные зерна, крупность которых составляет сотые доли миллиметра.
- Применение того или иного способа обогащения зависит от минерального состава полезных ископаемых. При обогащении **сложных поликомпонентных руд** все большее развитие получают комбинированные способы обогащения, которые позволяют комплексно использовать руды, достигнув разделения минералов с весьма разнообразными физическими свойствами.

#### **Лекция 4 Дробление и измельчение. Физико-механические свойства. Виды дробления и измельчения.**

##### **Текстурные и структурные особенности руд**

Текстурные и структурные особенности строения полезного ископаемого характеризуются крупностью, формой, пространственным расположением минеральных включений и агрегатов.

**Основными формами минеральных зерен** являются идиоморфная (ограниченная гранями кристалла), аллотриоморфная (ограниченная формой заполняемого пространства), коллоидная, эмульсионная, пластинчатая — реликтивно-остаточная, осколки и обломки.

В зависимости от преобладающего размера минеральных выделений различают крупную (20—2 мм), мелкую (2—0,2 мм), тонкую (0,2—0,02 мм), весьма тонкую или эмульсионную (0,02—0,002 мм), субмикроскопическую (0,002—0,0002 мм) и коллоидно-дисперсную (< 0,0002 мм) вкрапленность минералов.

**Текстура руды** характеризует взаимное расположение минеральных агрегатов и может быть самой разнообразной. В полосчатых и слоистых рудах агрегаты примыкают друг к другу; в конкреционных — располагаются один внутри другого; в петельчатых — проникают друг в друга; в кокардовых — одни минеральные агрегаты последовательно окаймляются другими.

**Гранулометрический состав** характеризуется количественным распределением зерен полезного ископаемого по крупности. Крупность частиц принято характеризовать средним диаметром  $d_{cp}$ , зависящим от длины  $l$ , ширины  $b$  и высоты  $h$  частицы:

$$d_{cp}=(l+b)/2, d_{cp}=(l + b + h)/3, d_{cp}=\sqrt{lb}$$

##### **Физические и механические свойства**

**Механическая прочность (крепость)** руд и углей характеризуется дробимостью, хрупкостью, твердостью, абразивностью, временным сопротивлением сжатию и определяет энергетические затраты при их дроблении и измельчении, а также выбор дробильно-измельчительного и обогатительного оборудования.

**Плотность горных пород  $\rho$**  определяется плотностью слагающих их минералов, которые делят на тяжелые —  $\rho > 4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, средние —  $\rho = 4,0 \cdot 10^3 \div 2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и легкие —  $\rho < 2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Плотность органической массы угля зависит от его природы, стадии метаморфизма, петрографического состава и может изменяться от  $1,16 \cdot 10^3$  до  $1,53 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Различия в плотности минералов используют для их разделения методами гравитационного обогащения.

**Дробление** — процесс разрушения кускового минерального сырья под действием внешних механических сил путем раздавливания, раскалывания, удара или их сочетания, его осуществляют в специальных машинах, называемых дробилками.

**Измельчение** — процесс уменьшения размеров кусков минерального сырья в результате ударного и истирающего воздействия внешних механических сил для раскрытия сростков минералов, его осуществляют в специальных машинах, называемых мельницами.

Оценку результатов дробления и измельчения выполняют по степени дробления, измельчения и эффективности работы дробилок и мельниц.

Дроблением и измельчением называются процессы уменьшения размеров кусков или зерен полезных ископаемых путем разрушения их под действием внешних сил.

В зависимости от *характера внешних сил* различают следующие применяемые в промышленности процессы:

- *обычное* дробление и измельчение, осуществляемое за счет использования обычных механических сил;
- *самоизмельчение* при взаимном воздействии зерен друг на друга;
- *электродинамическое* дробление под действием ударных волн, возникающих при прохождении электрического заряда через жидкость;
- *взрывное* дробление или измельчение, основанное на распаде пород под действием внутренних сил растяжения при быстром снятии с них внешнего давления;
- *вибрационное* измельчение в поле вибрационных сил;
- *центробежное* измельчение в центробежном поле;
- *струйное* измельчение за счет кинетической энергии движущихся с высокой скоростью навстречу друг другу частиц.

Наиболее широко из них используется на предприятиях цветной, черной, угольной, горно-химической, строительной и других отраслей промышленности обычное дробление, измельчение и самоизмельчение.

Принципиальной разницы между процессами дробления и измельчения нет. Условно считают, что при дроблении получают продукты крупнее, а при измельчении мельче 5 мм. Для дробления применяют *дробилки*, а для измельчения — *мельницы*.

Процессы дробления и измельчения по своему назначению могут быть подготовительными и самостоятельными.

Целью *подготовительного* дробления и измельчения полезных ископаемых перед их обогащением является раскрытие (разъединение) минералов при минимальном их переизмельчении в результате разрушения минеральных сростков. Конечная крупность дробления или измельчения определяется крупностью вкрапленности извлекаемых минералов. Чем полнее раскрыты зерна разделяемых минералов, тем эффективнее последующий процесс обогащения. В некоторых случаях, даже при достаточно полном раскрытии минералов, необходимость подготовительного дробления или измельчения обусловлена технико-экономическими соображениями или ограничениями по крупности, свойственными применяемому методу обогащения. Например, максимальная крупность материала при сухом магнитном обогащении не должна превышать 50 мм.

Если минералы обладают резко различными физико-механическими свойствами, то в результате дробления или измельчения более твердые и прочные из них будут представлены более крупными кусками и зернами, чем хрупкие и менее твердые минералы. Такое дробление или измельчение называется *избирательным* и применяется перед обогащением по крупности.

Дробление и измельчение называются *самостоятельными*, если получаемый продукт не подвергается обогащению, является товарным и подлежит непосредственному использованию (угли перед их коксованием; известняки и доломиты, используемые в качестве флюсов; камень при изготовлении щебня и др.). Крупность дробленых или измельченных продуктов в этом случае определяется предъявляемыми к ним кондициями (ТУ, ГОСТами).

Размер максимальных кусков руды или угля, поступающих с горных цехов на обогатительные фабрики, достигает 1000—1500 мм, тогда как необходимая крупность материала, поступающего на обогащение, обычно менее 10 мм, а при использовании флотационных методов она может быть меньше 0,1 мм. Добиться сокращения размера кусков с 1500 до 0,1 мм за один прием практически невозможно, поэтому дробление и измельчение осуществляются стадийно.

Интенсивность процесса дробления в каждой стадии характеризуется степенью

Общая степень дробления равна произведению

степеней дробления всех стадий:  
дробления  $i$ , равной отношению размеров максимальных кусков в исходном  $D$   
дробленом  $g_{\text{max}}$  продуктах, т. е.:

В зависимости от крупности дробимого материала и дробленого продукта различают:

- *крупное дробление* (от 1500—300 до 350—100 мм), или первая стадия дробления ( $i$  обычно не более 5);
- *среднее дробление* (от 350—100 до 100—40 мм), или вторая стадия дробления ( $i$  не более 8—10);
- *мелкое дробление* (от 100—40 до 30—5 мм), или третья стадия дробления ( $i$  не более 10).

Измельчение также осуществляется обычно в несколько стадий. Степень измельчения при этом оценивают или соотношением размеров максимальных зерен в исходном и измельченном продуктах, или процентным содержанием определенного класса крупности (+0,100 мм; -0,074 или -0,044 мм) в измельченном продукте. Измельчение считают *грубым*, если содержание класса -0,074 мм в измельченном продукте со-

ставляет 20—40 %, и *топким*, если его содержание превышает 75 %. Дробление и особенно измельчение являются весьма энергоемкими процессами, потребляющими более половины всей энергии, расходуемой на обогатительной фабрике. Поэтому при осуществлении их на практике всегда руководствуются принципом: «*Не дробить ничего лишнего*», И если в исходном продукте содержится достаточное количество готового класса, то его выделяют перед дроблением или измельчением путем грохочения или классификации по одной из схем, приведенных на рис. 4.1.

Совокупность операций дробления и грохочения или измельчения и классификации составляет *цикл дробления* или *измельчения*, который может быть *открытым* или *замкнутым*. В открытом цикле (рис. 4.1, а) каждый кусок или зерно проходит через дробилку или мельницу только один раз; в замкнутом цикле выделяемые при грохочении или классификации крупные куски или зерна

возвращаются в виде циркулирующей нагрузки еще раз на дораблывание или доизмельчение в тот же самый аппарат (рис. АЛ, б, в).

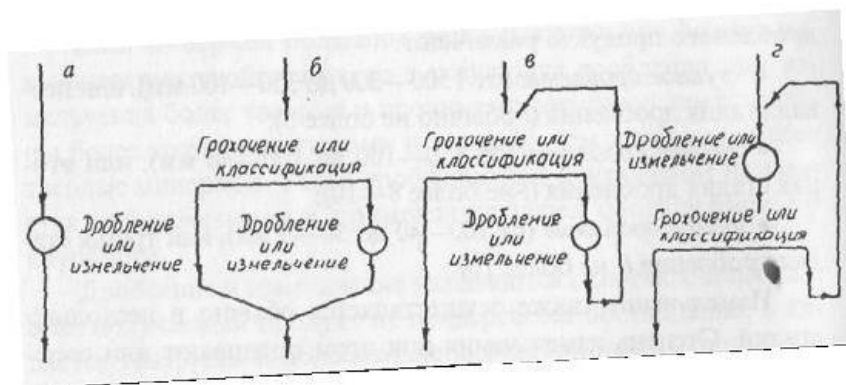


Рис. 4.1. Схемы открытых (а, б) и замкнутых (в, г) циклов дробления и измельчения с предварительным (б), поверочным или контрольным (в) и совмещенным предварительным и поверочным (г) грохочением или классификацией

116

## Лекция 5 Физико-химические свойства.

Физико-химические свойства руд и углей обуславливаются концентрацией минералов, способных излучать или воспринимать радиацию, создавать магнитное или электрическое поле или быть индифферентными, размокать или отталкивать водные растворы, как и растворяться в них или оставаться неизменными.

В связи с этим для обогащения используют радиационные, магнитные, электрические, смачивающие и растворяющие свойства минералов

В связи с этим для обогащения используют радиационные, магнитные, электрические, смачивающие и растворяющие свойства руд.

Данные свойства руд используются либо как основные в технологии извлечения полезного компонента, либо дополнительными способами в гравитационной технологии в виде отдельного этапа обогащения

**Радиационные свойства минералов** проявляются при взаимодействии их с электромагнитным излучением (люминесценция, фотоэффект, эффект Комптона, флюоресценция и др.). Разделение минералов основано на различии интенсивности испускания или ослабления ими излучений.

**Магнитные свойства минералов** проявляются в магнитном поле. Мерой оценки магнитных свойств минералов служит их магнитная проницаемость  $\mu$  и связанная с ней магнитная восприимчивость  $\chi = \mu - 1$ . Магнитные свойства определяются в основном химическим составом и отчасти структурой минералов.

Повышенная магнитная восприимчивость свойственна минералам, в состав которых входят железо, никель, марганец, хром, ванадий и титан. По магнитной проницаемости и характеру зависимости магнитных свойств от напряженности внешнего магнитного поля различают минералы диамагнитные —  $\mu < 1$ ,  $\chi < 0$ , парамагнитные —  $\mu > 1$ ,  $\chi > 0$  и ферромагнитные —  $\mu \gg 1$ .

**Электрические свойства минералов** характеризуются электропроводностью и диэлектрической проницаемостью. Мерой электропроводности служит удельное электрическое сопротивление  $\rho_{\text{э}}$  и удельная электропроводность  $1/\rho_{\text{э}}$ .

По величине удельного электрического сопротивления и типу электронного строения все минералы подразделяют на проводники —  $\rho_{\text{э}} = 10^{-6} \div 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , полупроводники —  $\rho_{\text{э}} = 10^{-3} \div 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  и диэлектрики —  $\rho_{\text{э}} = 10^{10} \div 10^{17} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . К минералам-полупроводникам относят большинство сульфидов, некоторые оксиды и ископаемые угли.

К минералам-диэлектрикам — минералы с типично ионной или ковалентной связью: галоиды, силикаты, некоторые соли кислородных кислот.

Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  большинства силикатов (кварц, слюда) составляет 4—5, у солей кислородных кислот (кальцит, апатит) — 6—8, у некоторых оксидов — до 80 и более (у рутила  $\epsilon \sim 130$ ).

**Смачивание** — проявление межмолекулярного взаимодействия на границе соприкосновения трех фаз — твердого тела, жидкости и газа, — выражающееся в растекании жидкости по поверхности твердого тела. Мерой смачиваемости служит величина краевого угла смачивания  $\theta$

$$\cos\theta = (\sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{тж}}) / \sigma_{\text{жг}},$$

где  $\sigma$  — поверхностное натяжение на границе соответствующих фаз.

В предельных случаях:  $\theta = 0$  — полное смачивание (гидрофильное тело);  $\theta = 180^\circ$  — полное отсутствие смачивания (гидрофобное тело). Различия в смачиваемости поверхности тонкоизмельченных минеральных частиц используют для разделения их методами флотационного обогащения.

**Растворимость** — способность минералов растворяться в неорганических и органических растворителях. Перевод твердой фазы в жидкое состояние можно осуществлять растворением в результате диффузии и межмолекулярного взаимодействия или за счет химических реакций.

Идеальную растворимость твердых тел в жидкости - уравнение И. Ф. Шредера:

$$\ln N = -\lambda(T_{\text{пл}} - T)/(RT_{\text{пл}})$$

где  $N$  — мольная доля растворенного вещества в растворе;  $\lambda$  — теплота плавления моля твердого вещества, кДж/моль,  $T_{\text{пл}}$  — температура плавления, К;  $T$  — температура растворения, К;  $R$  — универсальная газовая постоянная.

## **Лекция 6 Выбор технологической схемы обогащения. Методы и способы. Оформление результатов обогащения.**

**Выбор технологической схемы зависит от вида полезного ископаемого. Основные критерии выбора:**

- **Характеристика руды;**
- **Условия, связанные с выходом и качеством продуктов обогащения.**

**Основное правило: легче и дешевле получать бедные концентраты, при высоком извлечении и богатые концентраты при низком извлечении.**

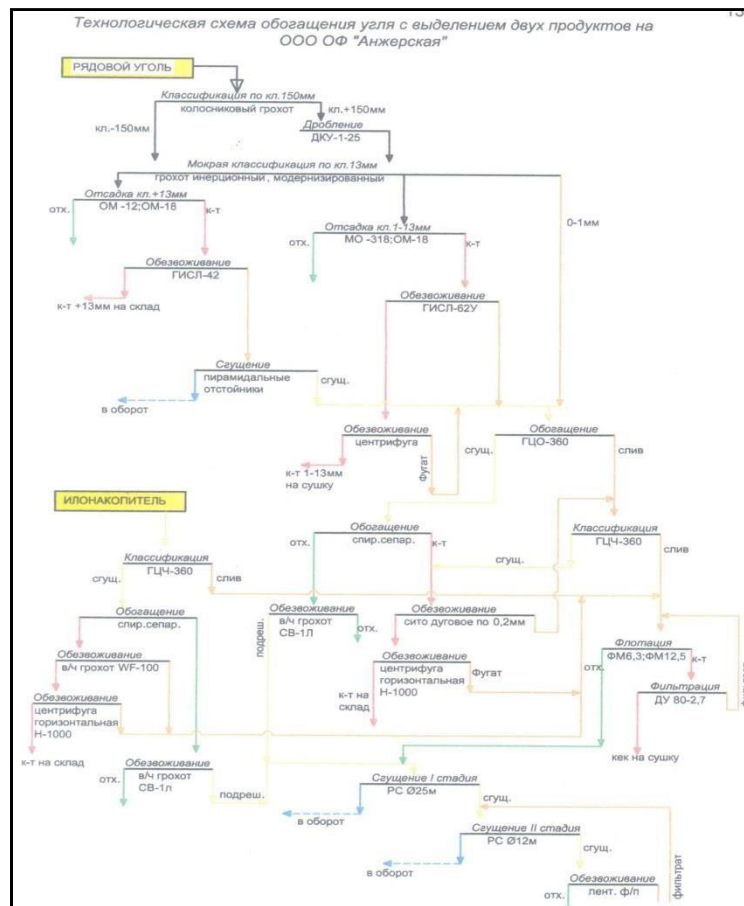
**Высокое извлечение в богатые концентраты, связано с высокими затратами; предел рентабельности обогащения колеблется в зависимости от технологических возможностей в каждом случае.**

- **Технологическая схема включает сведения о последовательности технологических операций по переработке полезного ископаемого на обогатительной фабрике.**
- **Качественная схема содержит сведения о качественных изменениях полезного ископаемого в процессе его переработки (изменение крупности продуктов и содержания отдельных компонентов), а также данные о режиме отдельных технологических операций.**



- **Количественная схема** включает количественные данные о распределении полезного ископаемого по отдельным технологическим операциям и выход получаемых продуктов. Количественные показатели выражаются в единицах массы (т/сут, т/ч) и в процентах от исходной руды, количество которой принимается за 100%.
- **Водно-шламовая схема** содержит данные о соотношении воды и твердого в продуктах обогащения. В водно-шламовых схемах указывается количество твердого (т/сут, т/ч) и количество жидкого (м<sup>3</sup>/сут, м<sup>3</sup>/ч), поступающих в каждую технологическую операцию и уходящих с получаемыми продуктами.
- **Схема цепи аппаратов** — графическое изображение пути движения полезного ископаемого и продуктов обогащения через аппараты. На таких схемах аппараты, машины и транспортные средства изображаются условно и указывается их число, тип и размер. Движение продуктов от агрегата к агрегату обозначается стрелками.

Пример.

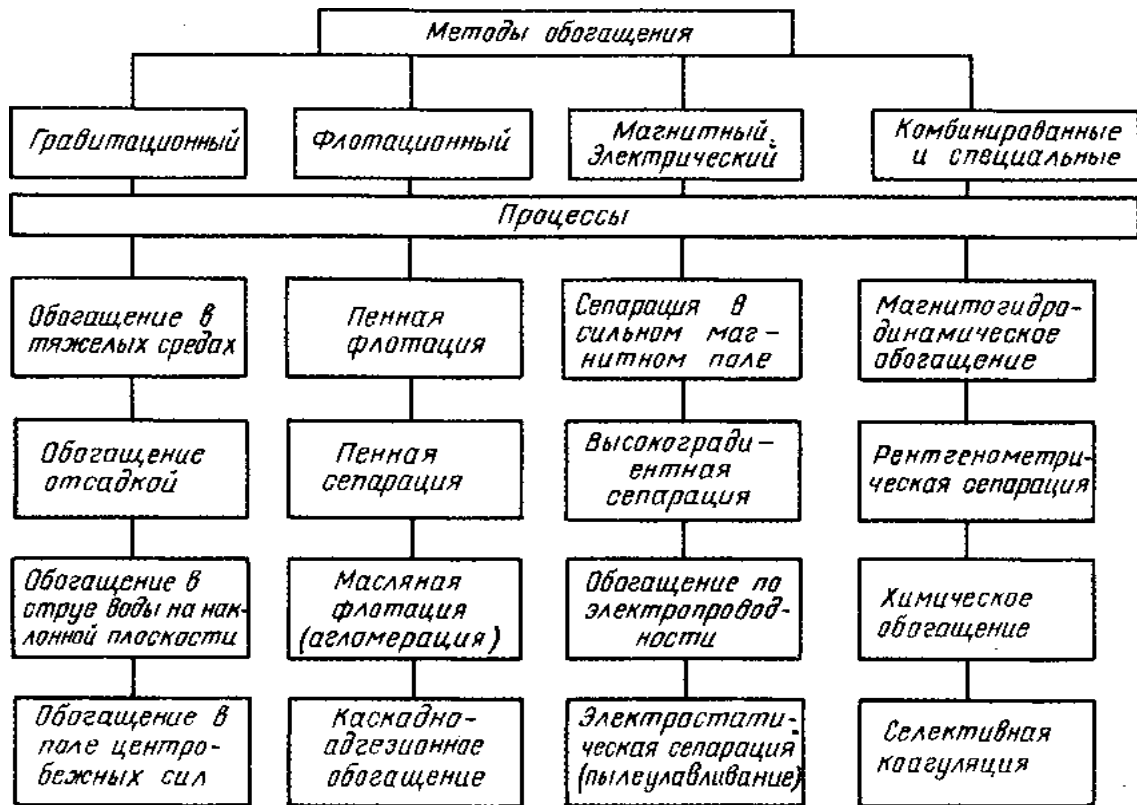


В настоящее время применяют ряд методов и критериев (аналитических, графических и графоаналитических) для оценки разделительных процессов обогащения МС.

Одни методы и формулы можно применять для любых процессов обогащения, другие - только для некоторых из них (например, для гравитационных процессов). Часть их может быть использована только для определённых условий.

**Критерии эффективности** предназначаются для: оценки и выбора оптимальных процессов, технологических схем и обогатительных машин; технологической оценки работы машин, аппаратов или фабрики в целом; оптимизации систем автоматического управления процессами обогащения; контроля качества продуктов обогащения, контроля смешивания (усреднения) и контроля качества продуктов готовой продукции.

Наиболее простой способ оценки гравитационных процессов обобщения — определение их эффективности по содержанию в продуктах обогащения посторонних фракций.



**Классификация углей по размеру кусков  
(ГОСТ 19242-73)**

Класс		Размер кусков, мм
Наименование	Обозначение	
Плитный	П	100-200 (300)
Крупный	К	50-100
Орех	О	25-50
Мелкий	М	13-25
Семечко	С	6-13
Штыб	Ш	0-6
Рядовой	Р	0-200 (300)

**Классификация по фракционному составу**

Плотность фракций $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Выход, %			Средняя плотность фракции $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Разделительное число, %	
	исходного угля $\gamma_i$	концентрата $\gamma_k$	отходов $\gamma_o$		для кон- центрата $\epsilon_k$	для отхо- дов $\epsilon_o$
< 1350	51,8	81,1	3,1	1250	97,76	2,24
1350-1400	5,2	7,5	1,3	13750	90,50	9,50
1400-1500	4,7	6,0	2,4	1450	90,75	10,25
1500-1600	4,3	3,2	6,0	1550	47,00	53,00
1600-1750	4,9	1,3	11,1	1675	16,30	83,70
1750-1900	4,8	0,4	12,1	1812	5,20	94,80
> 1900	24,3	0,5	64,0	2000	1,30	98,70
Итого	100	100	100	-	-	-

**Категории обогатимости каменных углей (ГОСТ 10100-84)**

Категория обо- гатимости	Степень обога- тимости	Относительный выход фракции промежу- точной плотности $T$ , %
I	Легкая	$\leq 4$
II	Средняя	$\geq 4 \leq 10$
III	Трудоемкая	$\geq 10 \leq 17$
IV	Очень трудная	$> 17$

## Эффективность обогащения

Расчёт выхода концентрата

$$\eta = \frac{\varepsilon - \gamma k}{100 - \alpha} * 100$$

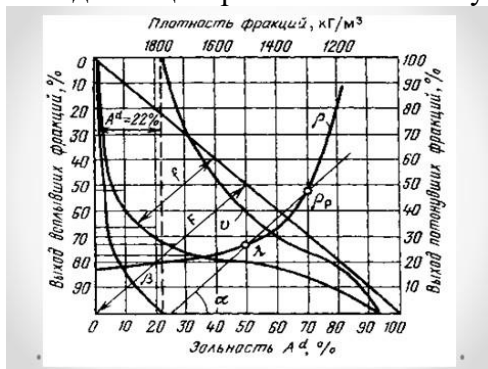
$\varepsilon$  — извлечение в концентрат фракций, плотность которых ниже плотности разделения, %;

$\gamma k$  — выход концентрата, %;

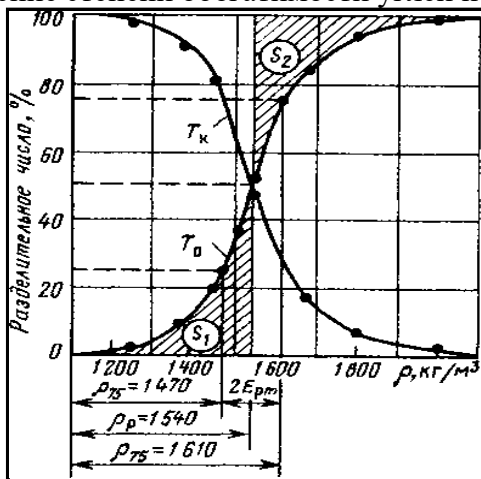
$\alpha$  — содержание в исходном угле фракций, плотность которых менее плотности разделения, %.

Пример.

Определение выхода концентрата от зольности угля по графику



Определение степени обогатимости углей по графику



## Лекция 7, раздел 1. Подготовительные процессы обогащения. Виды дробления и измельчения:

- Самодробление (само измельчение) за счёт трения кусков и зёрен разной твёрдости и прочности;

- Электрогидравлическое — под действием волн электрического заряда, пропускаемого через жидкость;
- Взрывное — под действием сил растяжения после снятия нагрузки давлением;
- Вибрационное — под действием вибрации;
- Центробежное — в центробежном поле;
- Струйное — за счёт кинетической энергии движущихся навстречу друг к другу частиц.
- Степень дробления или измельчения  $i$  — отношение диаметра максимального куска исходного материала  $D_{max}$  к диаметру максимального куска продукта дробления или измельчения

$$D_{max i} = D_{max} / d_{max}.$$

### Предельные значения крупности по стадиям дробления и измельчения

Стадия	$D_{\max}$ питания, мм	$D_{\max}$ дробленого продукта, мм	$i = D_{\max}/d_{\max}$
Дробление:			
крупное	1500—500	350—100	4,3—5
среднее	350—100	100—40	3,5—2,5
мелкое	100—40	30—10	3,3—4,5
Измельчение:			
грубое	30—10	5—2	6—5
тонкое	5—2	1—0,5 и менее	5—40 и более

Конечная крупность дробленого и измельченного материала, направляемого на обогащение, определяется размером вкрапленности полезных минералов, представляющей собой крупность зерен и агрегатов в массиве.

Эффективность работы  $\mathcal{E}$ , т/(кВт•ч), дробилок и мельниц характеризуется отношением массы дробленого и измельченного продукта  $M$ , т, к израсходованной энергии  $Q$ , кВт•ч:

$$\mathcal{E} = M/Q. \quad (1)$$

Величина обратная  $\mathcal{E}$  называется удельным расходом энергии, кВт•ч/т:  $E_{уд} = Q/M$ . (2)

Энергия, расходуемая на дробление и измельчение, поглощается упругими и пластическими деформациями, преобразуется в поверхностную энергию вновь образуемых поверхностей измельченных зёрен и рассеивается в окружающей среде в виде тепловых, звуковых и других потерь.

Известно несколько закономерностей дробления, характеризующих зависимость работы, которую затрачивают на дробление и измельчение, от результатов дробления и измельчения, т. е. от крупности конечного продукта:

$$A = KDm, \quad (3)$$

где  $K$  — коэффициент пропорциональности, Дж/м<sup>2</sup>;  $D$  — характерный размер куска, м;  $m$  — показатель степени по Кирпичеву—Кику равен 3, по Реттингеру — 2, по Бонду — 2,5.

Все предложенные законы дробления практически описывают различные участки графика изменения удельного расхода энергии на дробление и измельчение

$$E = f(S), \quad (4)$$

где  $S$  — площадь вновь образованной поверхности.

### Грохочение

Колосниковые решетки набирают из колосников, параллельно скрепленных между собой со строго определенными зазорами (250 мм). Зазор между соседними колосниками определяет максимальный размер зерен подрешетного продукта.

Решета применяют для грохочения по крупности от 10 до 100 мм. Изготавливают их из стальных листов методом штамповки, они бывают также сварные. Отверстия в решетке — круглые, квадратные, а также овальные и прямоугольные располагают в шахматном порядке и «в елочку».

Сита бывают тканые, плетеные, струнные и шпальтовые. Тканые и плетеные сита изготавливают преимущественно с квадратными прямоугольными отверстиями размером от 100 до 0,04 мм из стальной, латунной, бронзовой, медной или никелевой проволоки. В последнее время производят резиновые, капроновые и капроносталевые сита.

**Коэффициент живого сечения** - отношение суммарной площади отверстий к общей площади просеивающей поверхности

**Крупность продуктов** принято выражать в миллиметрах и микронах.

**Размер отверстий** тканых сит в зарубежной и часто в отечественной практике характеризуется числом меш — числом отверстий, приходящихся на один линейный дюйм сетки.

**Эффективность грохочения**  $E$  — показатель, характеризующий точность разделения материала по крупности при грохочении в реальных условиях.

Для вычисления показателя эффективности грохочения имеется несколько формул.

В простейшем случае, когда зерна крупнее заданного размера не попадают в подрешетный продукт при исправной просеивающей поверхности, эффективность грохочения, %, может быть получена из выражения

$$E = \beta_{\text{п}} \alpha - 1,$$

где  $\beta_{\text{п}}$  — содержание нижнего класса крупностью менее  $d_{\text{мм}}$  в подрешетном продукте, %;  $\alpha$  — выход подрешетного продукта крупностью менее  $d_{\text{мм}}$ , %;  $\alpha$  — содержание класса крупностью менее  $d_{\text{мм}}$  в поступающем на грохочение материале, %.

**Гидравлическая классификация** — разделение смеси минеральных частиц на классы различной крупности по скоростям их падения в жидкой среде. Гидравлическая классификация может быть в горизонтальном или восходящем потоке с разделением частиц в условиях свободного или стесненного падения под воздействием силы тяжести или центробежных сил.

Процесс гидравлической классификации обусловлен закономерностями движения минеральных частиц в водной среде, зависящими от размеров, формы, плотности частиц, динамического и вязкостного сопротивлений среды.

Конечную скорость свободного падения в воде  $v_0$  шарообразных частиц крупнее 1 мм определяют

**Формула Риттингера:**  $v_0 = R[d/(\delta - 1000)]^{0,5}$ ,

где  $R$  — числовой коэффициент;  $d$  — диаметр частицы, мм;  $\delta$  — плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>.

Конечную скорость  $V_{\text{ст}}$  стесненного падения частиц крупностью от 0,1 до 12,5 мм, происходящего в условиях массового падения частиц в ограниченном пространстве.

**Формуле Ханкока:**  $V_{\text{ст}} = v_0 \theta^2$ ,

где  $\theta$  — коэффициент разрыхления массы частиц,  $\theta < 1$ .

#### **Эффективность классификации**

**формула Ханкока- Луйкена:**  $\eta = [(\epsilon - \gamma)/(100\alpha)]100\%$ ,

где  $\epsilon$  — извлечение;  $\gamma$  — выход продукта;  $\alpha$  — содержание расчётного класса в исходном материале.

## **Лекция 7, раздел 2. Основные процессы обогащения.**

**Гравитационное** — процессы разделения минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером или формой, что обуславливает различие параметров их движения в среде под действием силы тяжести и сил сопротивления. В качестве среды используют воду, воздух, тяжёлые суспензии и жидкости.

**Обогащение в тяжёлых суспензиях** — процесс разделения смеси минеральных частиц по плотности в гравитационном или центробежном поле в суспензии, имеющей промежуточную плотность между тяжелой и легкой фракциями. Минералы меньшей плотности, чем плотность тяжелой суспензии, всплывают, а минералы большей плотности погружаются.

### **Сепараторы:**

1. **Колёсные** для обогащения углей и антрацитов крупностью -300 + 6 мм в магнетитовой суспензии.

2. **Конусные** для обогащения углей, руд и неметаллических полезных ископаемых крупностью -100 + 2 мм.

3. **Барабанные** спиральные и с элеваторной разгрузкой (СБС) для обогащения руд цветных, черных металлов и неметаллических полезных ископаемых.

**Суспензионные гидроциклоны** применяют для обогащения мелкозернистых руд и углей крупностью  $6(35) \div 0,2$  мм.

**Отсадка** — разделение смеси минеральных частиц по плотности на основе различия скоростей их движения в вертикальном пульсирующем потоке воды или воздуха.

**Закономерности** — при движении минеральных частиц в период действия восходящего потока воды с определённой скоростью материал взвешивается и происходит его перегруппировка по слоям плотности в соответствии со скоростями падения различных частиц. То же самое в период действия нисходящего потока происходит аналогичный процесс, но материал опускается и уплотняется. В результате частицы с большей плотностью концентрируются в нижнем слое.

**Отсадочные машины** — принцип действия состоит из двух сообщающихся между собой отделений концентрации и пульсаций. Обогащаемое МС попадает на решето вместе с водой, которая транспортирует его вдоль машины, распределяя равномерным слоем, называемым постелью.

Машины различаются по принципу среды и действия:

- от вида среды разделения на гидравлические — с водной рабочей средой и пневматические — с воздушной рабочей средой.
- по принципу работы привода - на поршневые, диафрагмовые, воздушно-пульсационные — беспоршневые и с подвижным решетом.

**Обогащение в потоке воды на наклонной плоскости.** Минеральные частицы, транспортируемые потоком воды по наклонной плоскости, имеют сложную траекторию движения, скользят и перекатываются по наклонной плоскости, подхватываются вихревыми потоками и перемещаются вместе с водным потоком, затем опускаются вниз и т. д.

**Концентрация на столе** — процесс разделения минеральных частиц на основе различий в их плотности и крупности в тонком слое воды, текущей по наклонной плоскости. Он представляет собой плоскую поверхность трапециевидной формы — деку с узкими рифлями. Деки изготавливают из дерева или алюминия и покрывают линолеумом (полиуретаном) или другими материалами. Деку устанавливают под углом 1—10° в поперечном направлении, и под действием привода она совершает возвратно-поступательное движение в продольном направлении.

**Промывка** — процесс отделения глинистых агрегатов от минерального сырья путем их дезинтеграции с одновременным удалением с помощью воды и соответствующих устройств. Под **промывистостью** материала понимают способность освобождения ценного компонента от содержащихся в нем глинистых примесей в промывочной машины. Характеризуется временем для диспергирования до 90 % имеющейся комовой глины.

**Промывочные машины и аппараты** различают по конструктивным признакам и способам гидравлической или механической дезинтеграции. Дезинтеграцию и промывку полезных ископаемых осуществляют в аппаратах барабанного, корытного, комбинированного и башенного типа, а также с использованием плоских просеивающих поверхностей.

Наиболее производительными и распространёнными в настоящее время дезинтегрирующими аппаратами являются **барабанные мойки: бутары, скрубберы, скрубберы-бутары**.

Для промывки гравия, щебня, флюсов, руд и химического сырья применяют барабанные, вибрационные, корытные и комбинированные мойки.

Промывку песка осуществляют в спиральных классификаторах.

Для промывки руд черных металлов применяют промывочные башни.

## Процессы флотационного обогащения

**Флотационное обогащение** — процессы, в которых разделение минеральных частиц основано на избирательном прилипании их к поверхности раздела двух фаз. В зависимости от участвующих в процессе фаз флотация может быть пенной, масляной, на гидрофобной твёрдой поверхности, на жировой поверхности.

**Пенная флотация** — процесс разделения минеральных частиц в аэрированной суспензии на основе различий в смачиваемости их водой, при этом гидрофобные частицы прилипают к пузырькам воздуха и, поднимаясь, образуют пену, а гидрофильные частицы остаются в суспензии во взвешенном состоянии.

Основной принцип, чем больше краевой угол смачивания, тем выше прочность прилипания частицы минерала к пузырьку. *Краевой угол смачивания* для различных минералов может изменяться в широких пределах и составляет у природно-гидрофильного кварца около  $0^\circ$ , у каменного угля —  $60\text{—}90^\circ$ , у сульфидов —  $75\text{—}85^\circ$ .

**Флотационную способность** минералов, т. е. степень смачиваемости водой, можно изменять искусственно, обрабатывая их поверхность флотационными реагентами. В зависимости от назначения флотационные реагенты классифицируют следующим образом.

**Собиратели** — органические соединения, избирательно действующие на поверхность частиц определенных минералов, уменьшают смачиваемость их водой. В качестве собирателей применяют жирные кислоты, ксантогенаты и амины.

**Модификаторы** — химические соединения, регулирующие действие собирателей. Активаторы усиливают, депрессоры ослабляют действие собирателей. В качестве модификаторов применяют кислоты, основания, соли и другие соединения.

**Пенообразователи** — представляют собой поверхностно-активные вещества, которые применяют для тонкого диспергирования пузырьков воздуха и образования пены. В качестве пенообразователей используют сосновое масло, пирановые спирты, терпениол.

**К вспомогательным реагентам относят**

- регуляторы рН среды,
- модификаторы пены, флокулянты и диспергаторы.

Ассортимент флотационных реагентов, применяемых в настоящее время для флотации полезных ископаемых очень разнообразный и среди них встречаются органические и неорганические вещества, естественные продукты и синтетические соединения, хорошо растворимые и практически нерастворимые в воде.

## Лекция 8 Особенности обогащения руд.

### **Цветных металлов**

Руды цветных металлов весьма разнообразны по своему составу и свойствам. В современных условиях источником получения 74 элементов из 104 элементов периодической системы.

Промышленные типы руд классифицируют по химическому и минеральному составу, степени окисленности, текстурно-структурными особенностями и виду вкраплённости, крепости, дробимости, обогатимости.

От содержания основных ценных компонентов руды различают: медные, медно-молибденовые, медно-никелевые, медно-цинковые, молибденовые, свинцовые полиметаллические, вольфрамовые, молибдено-вольфрамовые и др.

От соотношения минеральных форм основных металлов различают руды

- сульфидные — содержат более 80 %
- сульфидных минералов,
- окисленные — содержат менее 50 %
- сульфидных минералов и смешанные.

Основная масса цветных металлов (80—85 %) находится в сульфидных рудах.

При содержании в рудах более 50 % сульфидов их относят к массивным, при содержании сульфидов < 25 % руды называют вкрапленными.

По крупности вкрапленности различают руды крупновкрапленные — размер зерен ценных компонентов  $d > 0,4$  мм; средней вкрапленности  $d = 0,15 \div 0,4$  мм и тонкой вкрапленности  $d < 0,15$  мм.

Руды считают мягкими при коэффициенте крепости по шкале М. М. Протодяконова  $f < 10$ , средней крепости при  $f = 10 \div 14$ , крепкими при  $f = 14 \div 18$  и весьма крепкими при  $f > 18$ .

В связи с комплексным составом, мелкой и тонкой вкрапленностью ценных компонентов в рудах цветных металлов основным методом обогащения этих руд является **флотация**.

При обогащении руд цветных металлов получают более 35 видов концентратов и продуктов. Требования к качеству концентратов и продуктов регулируются ГОСТами и техническими условиями,

Например, к медным концентратам различных марок содержание меди устанавливают не менее 20—40%, примесей цинка — не более 2—10%, свинца — 2,5—8%. Для цинковых концентратов: не менее 15—60% цинка и примесей, не более 4—18% железа, 0,9—11% меди, 0,05—9% мышьяка и 2—18% кремнезема.

Некоторые данные о содержании металлов в рудах и концентратах для металлургической промышленности приведены в таблице

Металл	Cu	Pb	Zn	Sn	Mo	W
В руде, %	0,4-2,0	1,3-3	2-4	0,3-1,0	0,1-0,5	0,05-0,3
В концентрате, %	5-40	40-73	45-56	45-60	45-51	50-65

Основными элементами технологии переработки руд цветных металлов являются рудоподготовка, дробление и измельчение, обогащение, обезвоживание продуктов обогащения.

### Железных руд

Обогащение железных руд для получения кондиционных концентратов и продуктов для металлургической промышленности и других производств.

Сырьё для железорудных концентратов: магнетитовые, гематитовые, гематитомагнетитовые и в меньшей мере бурожелезняковые и сидеритовые руды.

Требования к качеству, например для месторождений КМА, на магнетитовый концентрат: крупность 0,1—0 мм, влажность 10,5%, содержание железа не менее 64%.

Для ряда концентратов регламентируется содержание вредных примесей: фосфора не более 0,08%, серы не более 0,8%.

Наиболее широко распространённую группу руд представляют магнетитовые кварциты. Основной рудный минерал магнетит  $Fe_3O_4$  и в незначительных содержаниях гематит, мартит  $Fe_2O_3$  и сидерит  $FeCO_3$ . Пустая порода представлена кварцем  $SiO_2$ .

Обогащение гематитомагнетитовых, гематитовых, бурожелезняковых и сидеритовых руд, в основном, комбинированное по магнитно-гравитационным, магнитно-флотационным и гравитационным схемам.

Отходы обогащения пригодны для получения щебня, песка, в ряде случаев для извлечения сопутствующих полезных компонентов, цветных и редких металлов.

### Угли

Основное обогащение ископаемых углей для коксохимического производства используют каменные угли, признающиеся коксующимися углями.

Требования к концентрату: зольность  $A^d < 10,5\%$ ; влаги  $W_t \leq 7,5 \div 9\%$ ; серы  $St < 1\%$ .



Требования к качеству потребляемых углей и продуктов обогащения регламентируются ГОСТами и техническими условиями в зависимости от целей использования.

Основными процессами обогащения углей являются **гравитационные**: обогащение в тяжелых средах, в отсадочных машинах, на концентрационных столах и **флотационные** — пенная флотация.

**Способы:**

- **обогащение в тяжелых средах** крупных классов углей (150— 13 мм) осуществляют на различных типах сепараторов, а мелких классов — в тяжелосредних гидроциклонах.
- **отсадку** применяют для обогащения крупных (> 13 мм), мелких (< 13 мм) и неклассифицированных углей.
- **флотацию** применяют для обогащения мелких классов менее 1 мм и угольных шламов для повышения извлечения горючей массы в концентрат и очистки оборотной воды.

### **Нерудных полезных ископаемых**

Нерудные полезные ископаемые представлены изверженными, осадочными и метаморфическими горными породами, которые являются источником получения строительных материалов: **бутового камня, щебня, гравия, песка, облицовочных изделий, пильного камня, компонентов цементного, керамического и стекольного производства.**

Бутовый камень — это куски размером 150—300 мм с регламентируемыми содержанием глины в комах (2 %), маркой прочности 1400—2000, морозостойкостью и петрографическим составом.

Щебень — продукт механического дробления природных каменных материалов. Гравий — обломки горных пород разной степени окатанности. Регламентируются четыре основные фракции щебня и гравия по крупности: -70+40; -40+20; -20+10; -10+5 мм.

Строительные пески по ГОСТу подразделяют на следующие виды: **природный** обогащенный или фракционированный; **дробленый** из отсевов и обогащенный дробленый из отсевов. Основной показатель качества - зерновой состав (-5+0,14 мм), характеризующийся модулем крупности (от 2,5 до 1,0) и содержанием глинистых частиц (от 0,5 до 3 %).

## **Лекция 9. Контроль технологических процессов. Товарные балансы.**

**Цель.** Обеспечение стабильных условий обогащения и качества получаемых конечных продуктов обогащения.

**Требование.** Необходимость систематического оперативного контроля за теми параметрами, которые определяют качество перерабатываемого сырья и продуктов, получаемых в данный момент, а также контроль параметров, характеризующих режим технологических процессов фабрики.

**Основные контролируемые параметры** являются:

- крупность, гранулометрический и вещественный состав перерабатываемого сырья (содержание влаги, химический, минералогический, фракционный состав и т. п.);
- отношение Ж : Т в питании флотации, магнитной сепарации (отсадки), фильтрования и сгущения;
- степень аэрации и концентрация водородных ионов во флотации;
- расход и качество используемых реагентов; расход и давление воды и воздуха;
- температура пульпы и т. д.

**Параметры результатов обогащения:**

- крупность и гранулометрический состав получаемых: продуктов;
- содержание ценных компонентов и примесей в продуктах обогащения;
- содержание твердого в сливах и очищенных газах и др.

### **Контроль влажности:**

- высушиванием — применяется для определения содержания влаги в любых продуктах (кроме чрезмерно обводненных) и заключается в выдерживании анализируемой пробы в сушильном шкафу при температуре не выше 105—110° до абсолютно сухого состояния.

Влажность пробы вычисляется по результатам взвешивания пробы до и после сушки по формуле

$$W = \frac{q_1 - q_2}{q_1} 100, \%$$

где  $w$ —содержание влаги в пробе, %;

$q_1$  и  $q_2$  — масса пробы соответственно до и после высушивания, г

Влажность кека рассчитывается по формуле

$$W = \frac{100 \left( \delta - \frac{q}{V - V_B} \right)}{\delta - 1}, \%$$

где  $W$ — влажность кека,

$\delta$  — плотность твердого, кг/л;

$q$  — масса пробы кека, кг;

$V_B$  — количество добавленной воды, л;

$V$  — общий объем, занимаемый кеком вместе с добавленной водой, л.

Плотность пульпы по одной из приведенных ниже формул

$$\beta_{ТВ} = \frac{\delta (q - V)}{q (\delta - 1)} 100, \%$$

$$C = \frac{\delta (q - V)}{V (\delta - 1)}, \text{ г/л};$$

$$Ж : Т = \frac{V \delta - q}{\delta (q - V)},$$

где  $\beta_{ТВ}$ —содержание твердой фазы в пульпе, %;

$q$  — масса пульпы в объеме пробника, кг;

$V$ — масса воды в том же объеме, кг;

$C$  — содержание твердого в пульпе, г/л;

Ж : Т — отношение количества твердого к количеству жидкого в пульпе.

**Контроль крупности продуктов измельчения и классификации** имеет большое значение для оперативного регулирования процессами обогащения флотацией, магнитной и электрической сепарации и др. Осуществляется контроль методом рассева пробы с помощью набора стандартных сит.

**Контроль гранулометрического состава** заключается в определении содержания классов заданной крупности в анализируемой пробе. Этот вид анализа называется ситовым, если проводится с целью определения выхода классов крупнее 0,074 мм; если в анализируемой пробе определяется содержание классов крупностью менее 0,074 мм, анализ называется седиментационным или дисперсионным.

**Ситовый анализ** крупнокусковой пробы большой массы (представительная проба) производится вручную (в полевых условиях), или на лабораторных грохотах со сменными стандартными ситами. При рассеве пробы на грохоте необходимо обеспечить

эффективность разделения 100%, не допуская существенного измельчения и истирания материала.

**Метод отмучивания** заключается в том, что анализируемая проба декантацией последовательно делится на фракции различной крупности в зависимости от конечной скорости их осаждения.

## ТОВАРНЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ БАЛАНСЫ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ

- **Технологический баланс** составляется по данным учета количества переработанной руды и результатам химических анализов руды и полученных продуктов обогащения. Он позволяет контролировать и оценивать состояние процесса обогащения на фабрике путем сравнения полученных технологических данных с показателями, принимаемыми за эталон (с плановыми показателями либо с результатами исследования на обогатимость).
- **Товарный баланс** учитывает не только массовое количество переработанной руды, но и выход всех основных продуктов, определяемый по фактической массе: по массе отгруженных товарных продуктов, по замеру продуктов в незавершенном производстве (в сгустителях, в бункерах, на промежуточных складах), по количеству хвостов в отвалах. Кроме того, учитываются фактические потери во всех циклах схемы обогащения. Качество продуктов, учитываемых товарным балансом, определяется химическими анализами.
- **Расхождения между технологическим и товарным балансами** возникают за счет недостаточной точности химических анализов, в результате возможных ошибок при взвешивании, определении влажности исходного сырья и продуктов обогащения, но главным образом вследствие механических потерь ценных компонентов на разных стадиях обогащения полезного ископаемого.

## Лекция 10 Управление технологическим процессом обогащения руд. Виды технологического опробования и методы контроля товарной продукции

Под управлением понимается совокупность воздействий направленных на стабилизацию процессов, сущность управления заключается в выработке управляющих решений на основе сравнений получаемых результатов, характеризующие технологический процесс со значениями параметров технологической карты (документации).

Регулирующее воздействие можно выразить формулой:

$$\rho_i = \rho_{it} - \rho_{in} > \alpha$$

где  $\rho_{it}$  – текущее значение;  $\rho_{in}$  – заданное значение;  $\alpha$  – допустимое отклонение.

Для практической реализации управления необходимо:

- выбрать критерий управления; - информация о входных и выходных значениях; - информацию о внутреннем состоянии объекта; составить алгоритмы контроля и управления; оснастить технологический процесс техническими средствами.

Качество управления производством зависит от достоверности.

Для практической реализации управления необходимо:

- выбрать критерий управления;  
- получить информацию о выходных и входных значениях параметров;  
- получить информацию, характеризующую внутреннее состояние объекта;  
- составить алгоритмы - совокупность математических операций, выполняемых в определенном порядке для решения задач контроля и управления;  
- оснастить технологический процесс техническими средствами.

В схеме обогащения наиболее трудоемкая операция **это измерение контролируемого параметра**. В основном оно определяет время запаздывания получения информации, а следовательно, эффективность регулирования.

В связи с этим время измерения контролируемого параметра должно быть сведено к минимуму, что может быть достигнуто применением инструментальных автоматических методов измерения, например, рентгеноспектральных анализаторов и др.

Качество управления производством зависит от достоверности информации, получаемой путем измерения или контроля параметров.

**Техническим контролем называют проверку соответствия продукции или процесса, от которого зависит ее качество, ТУ или ГОСТам, а также оценку фактического состояния управляемого процесса.**

Наиболее важной задачей технического контроля является своевременное обнаружение дефектов в объектах контроля и предотвращение выпуска некондиционной продукции.

## **КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Виды контролируемых параметров технологического процесса на обогатительных фабриках определяются как методами обогащения, так и технологической схемой.

Наиболее разнообразные параметры, рассматриваемые ниже, контролируются на флотационных фабриках.

Различают две группы контролируемых параметров: ***основные и вспомогательные.***

**Основными параметрами являются:**

- гранулометрическая характеристика руды, а также промежуточных продуктов, хвостов и концентратов.

По гранулометрической характеристике судят об эффективности действия размольных и классифицирующих аппаратов, о степени раскрытия полезных минералов, необходимого для обогащения. Эффективность обезвоживания в основном зависит от гранулометрической характеристики обезвоживаемого продукта;

содержание металла в исходной руде, промежуточных и конечных продуктах обогащения и зольность углей. Контролируя этот параметр по фазам процесса, судят об эффективности той или иной операции, а по содержанию металла и зольности конечных продуктов составляют технологические и товарные балансы по фабрике;

- содержание влаги находят для установления сухой массы руды или концентратов, а также для определения степени эффективности работы дробильно-размольных аппаратов и грохотов. Влажность в значительной мере определяет качество железного концентрата, направляемого на брикетирование;

- ионный состав пульпы влияет на диссоциацию флотационных реагентов и на химические свойства поверхностей минералов, а также на взаимодействие их между собой;

плотность пульпы в цикле измельчения влияет на гранулометрический состав продуктов измельчения и классификацию, а при обогащении — на производительность машин и технологические показатели обогащения. По содержанию влаги в исходной руде и продуктах обогащения, плотности пульпы в различных точках технологического процесса составляется количественно-шламовая схема, которая используется для определения степени загрузки аппаратов, времени флотации и выхода продуктов обогащения;

- минеральный состав руды, промежуточных и конечных продуктов обогащения изучают для установления степени раскрытия минералов, наличия сростков и засоренности продуктов минеральными компонентами, а также для выяснения причин потерь полезных минералов в хвостах;

концентрация флотационных реагентов влияет на извлечение полезных минералов, качество концентрата и степень селекции;

- температура пульпы заметно влияет на флотацию, когда применяются малорастворимые реагенты. Она влияет на про-парку грубого шеелитового концентрата, проводимую для де-сорбции собирателя и депрессии пустой породы перед флотационной доводкой, а

также при селекции коллективных концентратов. Температура также играет существенную роль при восстановительном обжиге слабомагнитных минералов;

- степень аэрации пульпы значительно влияет на извлечение минерала и на производительность флотационной машины, для каждой флотационной машины она остается более или менее постоянной, поэтому ее можно контролировать периодически;
- расход руды, концентратов и пульпы учитывают для контроля и регулирования производительности секций, аппаратов и составления товарного баланса.

#### **К вспомогательным параметрам относятся:**

- уровень материала в бункерах — контролируется для предупреждения перегрузки или полного опорожнения их и составления баланса металлов;
- уровень жидкости или пульпы в чанах — определяется для предотвращения перелива и поддержания его в заданных пределах;
- давление жидкости и газов в трубопроводах — измеряется для контроля работы аппаратов и хода процесса;
- содержание твердого в сливе сгустителей и фильтрате — определяется для предотвращения потери концентратов и обеспечения чистоты оборотной воды;
- время простоев или рабочее время машин — учитывается для определения эффективности работы, для установления коэффициента движения механизмов;
- расход воды и растворов — измеряется одновременно с плотностью пульпы для определения производительности аппаратов, расхода воды на тонну переработанной руды и потери растворов в процессах обработки руды;
- вязкость суспензии — контролируется при обогащении в тяжелых средах;
- запыленность воздуха в цехе — контролируется для определения санитарного состояния атмосферы.

Контроль перечисленных параметров производится вручную или автоматически.

### **СХЕМЫ ОПРОБОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Контроль технологического процесса обогащения проводится по определенной схеме. В зависимости от назначения различают схемы:

- опробования и контроля, предназначенные для оперативного управления технологическим процессом;
- опробования, предназначенные для составления технологического и товарного баланса металлов;
- полного опробования, в которых предусматривается опробование всех фаз технологического процесса с целью составления количественно-шламовой схемы;
- опробования и контроля, предусматривающие изучение отдельных фаз производства в связи с испытанием и внедрением новых схем, реагентов, отдельных агрегатов и т. д.

В зависимости от назначения одни и те же параметры в одних фазах производства контролируются непрерывно, в других — периодически.

Отнесение того или иного параметра к группе непрерывно или периодически контролируемых параметров в известной степени является условным, так как характер процесса может вызвать перевод параметра из одной группы в другую.

#### **Основные понятия**

**Опробованием** называют процесс отбора и обработки проб. Опробование проводится для определения физических свойств, химического состава, содержания одного или нескольких компонентов в исследуемых веществах и является одной из важнейших операций при разведке, добыче и переработке полезных ископаемых.

**Проба** это порция материала, взятая из общей исходной массы с сохранением свойств (например, содержание компонентов) требуемой точностью. **Средняя проба** это составленная частичных проб, взятых в разных местах опробуемой массы в один прием при одной отсечке.

При опробовании углей различают *первичные лабораторные и аналитические пробы*.

Первичной (или товарной) называют пробу, составленную из частичных проб, отобранных от партии топлива.

Лабораторная проба, которую получают в результате обработки первичной пробы, предназначена для лабораторных испытаний и подготовки аналитической пробы.

Аналитическая проба служит для определения химического состава полезного ископаемого.

Технологическую схему переработки полезных ископаемых и возможность их комплексного использования устанавливают на основании технологических проб, отобранных из исходного сырья.

Технологическая проба служит для исследования минерального сырья с целью установления рациональных методов обработки и технологической схемы обогащения полезных ископаемых.

Большое значение имеет опробование при контроле технологического процесса. Степень налаженности технологического процесса отражается в материальном (технологическом) балансе предприятия, который составляется на основании анализов сменных и суточных проб.

Достоверность такого баланса зависит от точности опробования и точности химического анализа проб. Неточное опробование искажает показатели работы предприятия, что может быть связано с большим материальным ущербом.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОБ

Классифицируются пробы по назначению:

**Минералогическая проба.** При переработке минерального сырья минералогическое исследование проб дает возможность выяснить структурные и текстурные особенности и состав полезных ископаемых, а также характер ассоциации минеральных компонентов и их взаимное прорастание, крупность кристаллизации или вкрапление.

**Химическая проба.** Химические пробы предназначаются для установления содержания полезных компонентов и вредных примесей, а также для составления балансов металлов по фабрике.

**Проба для определения содержания влаги.** Определение влажности в руде и продуктах обогащения имеет двойное значение.

**Проба для ситового и седиментационного анализов.** Ситовой и седиментационный анализы применяют для определения гранулометрического состава сыпучего материала и шламов.

### Способы опробования

**Валовой способ** применяется при выдаче из забоя и выдачи готовой продукции.

**Выборочный способ отбора пробы** из добытой руды или продукции производится при разгрузке и погрузке вагонеток лопатой. В пробу откидывают первую, пятую, десятую лопаты.

### Особенности опробования при обогащении.

При обогащении опробуемый материал находится в потоке или струе в следующих случаях:

- когда добытое полезное ископаемое выпускается при разгрузке вагонов в бункер, при разгрузке из бункера в железнодорожные вагоны и при разгрузке этих вагонов в бункера заводов или при складировании в штабель;
- когда сыпучий материал, пульпа и жидкость, находящиеся в процессе обработки на фабрике, транспортируются конвейерами, по закрытым и открытым желобам, насосами по трубам и т. п.;
- при погрузке или разгрузке готовой продукции из транспортных сосудов.

Для опробования движущегося материала чаще всего применяют **метод сечений**. Сущность метода заключается в том, что некоторая часть струи опробуемого материала непрерывно или периодически, но через определенные и равные промежутки времени, отсекается в пробу.

Этот метод является одним из наиболее точных, так как он позволяет опробовать всю массу равномерно и менять частоту отсеканий струи в соответствии с характеристикой материала. Различают методы продольных и поперечных сечений.

**Метод продольных сечений** заключается в том, что поток материала делится на ряд непрерывных полос вдоль потока (рис. 1), при этом в пробу отводится одна или несколько чередующихся полос. Этот метод может быть применен только при опробовании достаточно однородного материала, в особенности в поперечном сечении струи и при малой мощности струи.

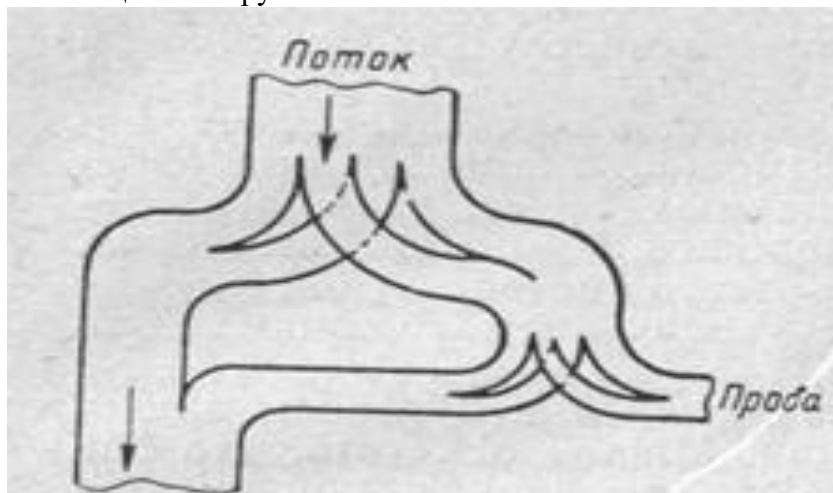


Рис. 1. Продольное сечение потока

Частота отсекания зависит от изменения содержания компонента вдоль потока. Можно установить следующие положения по выбору частоты отсекания потока.

1. При равномерном содержании определяемого компонента вдоль потока любая частота отсекания будет давать достаточно точную пробу (однако равномерное распределение полезных компонентов вдоль потока представляет редкое явление).

2. При изменении содержания вдоль потока частота отсекания пробы будет зависеть от резкости изменения содержания полезных компонентов: чем резче изменяется содержание полезных компонентов, тем больше должна быть частота отсекания.

3. Если содержание полезных компонентов изменяется вдоль струи незакономерно и скачкообразно, то чем больше частота и скорость отсекания, тем выше точность опробования.

На точность опробования оказывает также влияние форма сечения струи пульпы. Идеальным является перпендикулярное к оси струи сечение, представленное двумя параллельными плоскостями. При таком сечении будет отбираться минимальное количество материала и не будет сказываться сегрегация.

### Виды пробоотборников

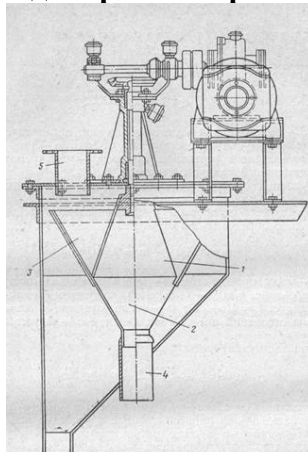


Рис. 2. Секторный пробоотборник с редукторным приводом

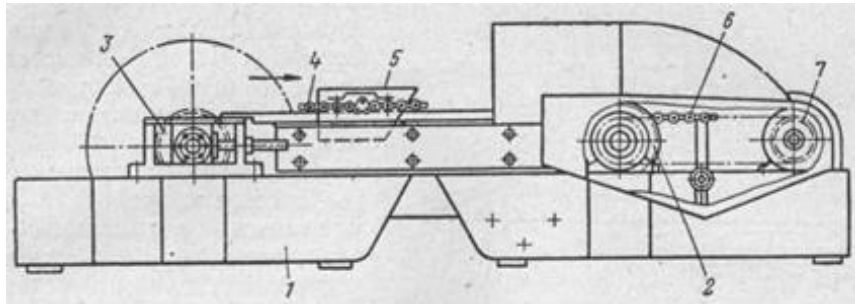


Рис. 3. Ковшовый пробоотборник типа ПК

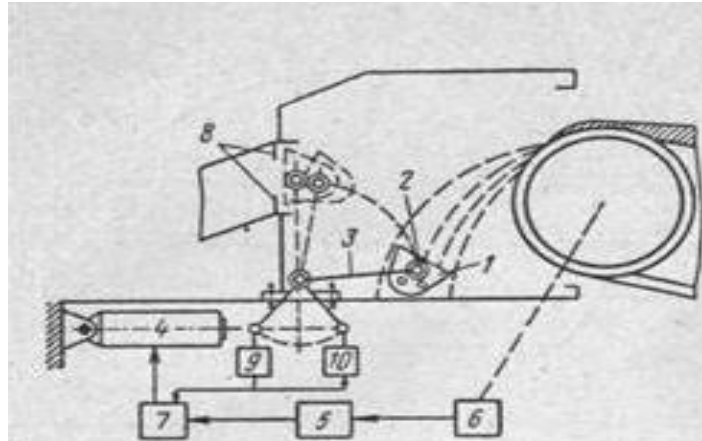


Рис. 4. Ковшовый пробоотборник

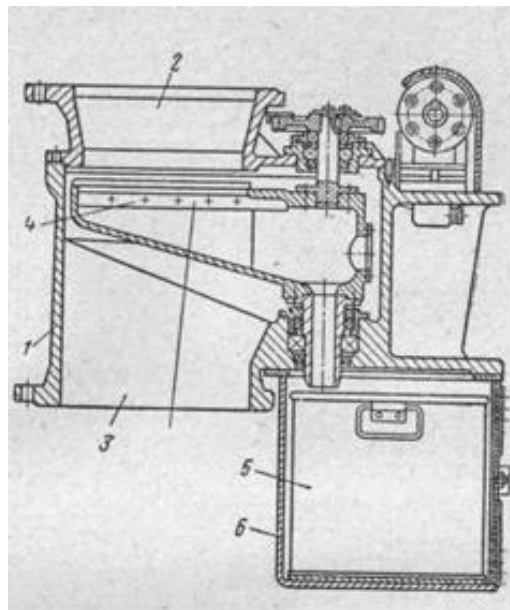


Рис. 5. Щелевой пробоотборник типа ПЩ

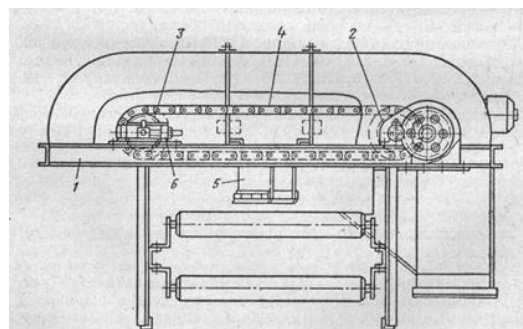


Рис. 6. Скреперный пробоотборник типа ПС



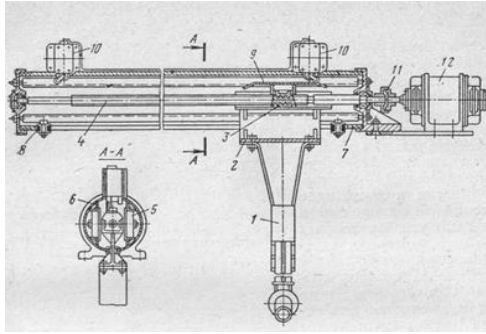


Рис. 7. Винтовой пробоотборник типа АП

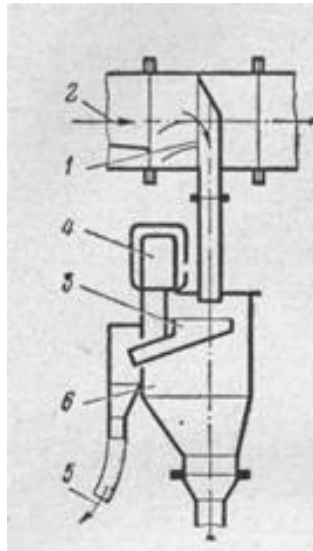


Рис. 8. Пробоотборник АВК для отбора проб из закрытых напорных трубопроводов

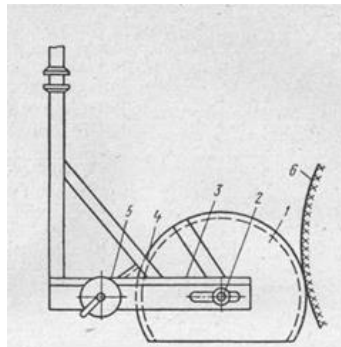


Рис. 9. Пробоотборник для кека

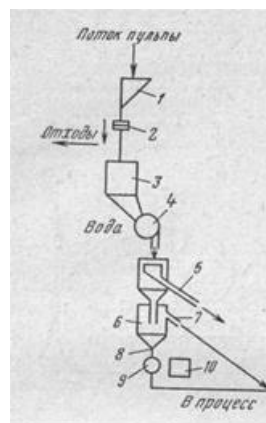


Рис. 10. Система отбора, доставки и подготовки проб пульп к рентгеноспектральному анализатору на фабрике

## **Лекция 11 Охрана окружающей среды при переработке полезных ископаемых**

Основными источниками вредного воздействия обогатительных фабрик на окружающую среду являются газовые и пылевые выбросы, породные отвалы и хвостохранилища, производственные сточные воды.

**Газовые и пылевые выбросы** производят аспирационные системы, котельные установки, сушильные агрегаты, отвалы отходов обогащения, объекты хозяйственного и бытового назначения. Выделением пыли и газов сопровождаются дробление, измельчение, транспортирование сухого материала, сушка, окускование, обжиг исходного сырья и продуктов обогащения.

**Организованные выбросы** отводят от мест образования системами газоотводов, воздухопроводов, труб и т. п.

**Неорганизованные выбросы** обусловлены негерметичностью технологического и транспортного оборудования, перегрузочных станций, выделением пыли из породных отвалов.

**Для снижения выбросов пыли и газов** на обогатительных фабриках применяют трехступенчатые системы пылеулавливания и очистки газов.

**Сточными водами** обогатительных фабрик называют удаляемые за пределы фабрик воды, загрязненные отходами и вредными примесями. Сточные воды различают поверхностные и производственные.

**Поверхностные сточные воды** обогатительных фабрик содержат в основном взвешенные вещества, минеральные соли и нефтепродукты. Средний объем стоков составляет 2,6—4,0 тыс. м<sup>3</sup>/год с 1 га промплощадки фабрики. Среднее содержание взвешенных веществ в дождевой воде, стекающей с промплощадки фабрики, равно 2300 мг/л, нефтепродуктов — от 2,5 до 500 мг/л, флотореагентов — до 400 мг/л.

**Производственные сточные воды** представлены в основном отходами флотации, гравитации, магнитной сепарации и шламовыми водами, отводимыми с фабрик. Количество их зависит от мощности обогатительной фабрики и колеблется в пределах 100—1000 м<sup>3</sup>/ч.

**Производственные сточные воды** представлены в основном отходами флотации, гравитации, магнитной сепарации и шламовыми водами, отводимыми с фабрик. Количество их зависит от мощности обогатительной фабрики и колеблется в пределах 100—1000 м<sup>3</sup>/ч.

**Очистку сточных вод от вредных примесей** осуществляют механическими, химическими, физико-химическими и биологическими способами.

**Химическая очистка** - основана на реагентных методах, осуществляемых с применением гашеной извести, гипохлорида кальция, хлора, железного купороса и других химических веществ. Вредные примеси нейтрализуются или осаждаются в виде труднорастворимых в воде соединений.

**Физико-химические методы** очистки сточных вод включают в себя озонирование, электролиз, ионный обмен, сорбцию и экстракцию.

**Биохимическая очистка** сточных вод основана на разрушающем воздействии микроорганизмов на растворенные органические и минеральные