# Обогащение полезных ископаемых

**Относится к циклу общеобразовательных дисциплин и изучает вещественный состав полезных ископаемых, методы и процессы их обогащения.**

**«Обогащение полезных ископаемых» – базовая дисциплина при подготовке специалистов в области горного дела**

**Кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых**
**Автор: доц., канд. техн. наук Челпанова Елена Владимировна**

| | |
|---|---|
| Трудоемкость | 216 часов |
| Лекции | 36 часов |
| Лабораторный практикум | 14 часов |
| Практические занятия | 24 часа |
| Самостоятельная работа | 102 часа |

*E-mail: rmpi@pstu.ru*

## *Цель курса:*
## ознакомление студентов с технологией переработки и обогащения полезных ископаемых

***Задачи дисциплины:***

•Изучение основных процессов подготовки сырья к обогащению, методов обогащения и вспомогательных процессов обогатительного производства;

•Формирование представлений о принципе действия применяемых машин и механизмов;

•Знакомство с перспективными направлениями развития техники и технологии переработки и обогащения полезных ископаемых.

•Формирование способности обосновывать проектные решения по обеспечению промышленной и экологической безопасности, экономической эффективности производств по переработке полезных ископаемых, разрабатывать мероприятия по управлению качеством продукции

## *Формы контроля:*

Текущая аттестация :

- выполнение лабораторных работ и их защита;
- выполнение заданий практических занятий и их защита;
- подготовка рефератов, выступление на практических занятиях.

Рубежная аттестация студентов производится по окончании модуля дисциплины в форме тестирования.

Итоговый контроль по результатам семестра - экзамен

## *Информационные ресурсы и образовательные технологии:*

все виды занятий проводятся с использованием мультимедийной техники, элементов технологий интерактивной формы и блочно-модульного обучения, лабораторные занятия - на современном оборудовании.

## *Учебное пособие:*

Челпанова Е.В. Обогащение полезных ископаемых

## *Структура курса:*

***Модуль 1.***

**Раздел 1.** Полезные ископаемые как объекты обогащения

**Раздел 2**. Подготовительные обогатительные процессы

***Модуль 2.***

**Раздел 3**. Основные обогатительные процессы

***Модуль 3.***

**Раздел 4.** Вспомогательные обогатительные процессы

**Раздел 5.** Технологические схемы и режимы обогащения полезных ископаемых

**Раздел 6.** Предприятия по переработке и обогащению полезных ископаемых.

**Раздел 7.** Перспективы развития техники и технологии переработки и обогащения полезных ископаемых

***Модуль 1.***

**Раздел 1.** Полезные ископаемые как объекты обогащения

**Раздел 2**. Подготовительные обогатительные процессы

*ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЕТЕНЦИЙ*

*Знает*

- технологические свойства минерального сырья и требования к качеству полезных ископаемых обеспечивающие комплексную переработку горнорудного сырья и малоотходное производство
- основные процессы подготовки сырья к обогащению
-технику и технологию переработки твердых полезных ископаемых, в том числе обеспечивающие комплексную переработку горнорудного сырья;
- основные принципы разработки обеспечения подготовительных процессов обогащения твердых полезных ископаемых техническими средствами с высоким уровнем автоматизации управления;
- методы поиска и отбора технической литературы в области подготовки горнорудного сырья к обогащению

*Умеет* изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области подготовки горнорудного сырья к обогащению;

*Владеет*

-основными принципами выбора способа подготовки сырья к обогащению
- способностью изучать научно-техническую информацию в области в области подготовки горнорудного сырья к обогащению

# *Раздел 1. Полезные ископаемые как объекты обогащения*

## Тема 1. Полезные ископаемые как объекты обогащения

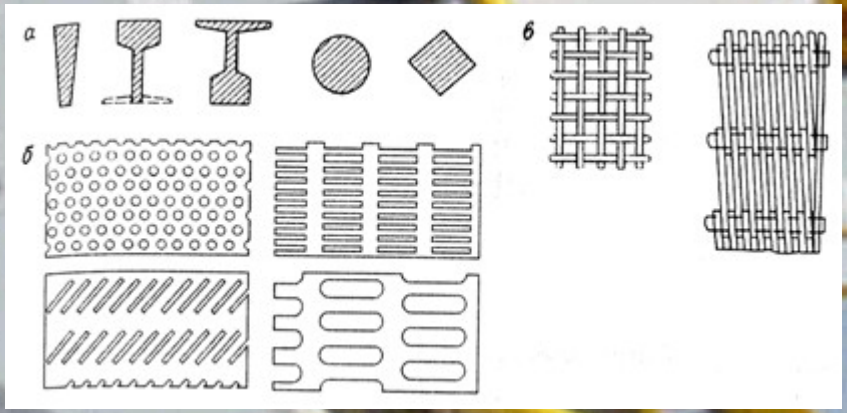
Объектами деятельности горно-обогатительных предприятий являются твердые полезные ископаемые Методы обогащения полезных ископаемых основаны на различии в физических свойствах минералов и обеспечивают извлечение полезных компонентов, слагающих минеральное сырье, без изменения их фазового состава.

***Обогатимость*** полезного ископаемого зависит от большого числа параметров, определяющих его качество, таких как

- Механическая прочность (крепость);
- Дробимость;
- Хрупкость,
- Твердость,
- Плотность,
- Излом ,
- Спайность,
- Химический состав,
- Различия в растворимости минеральных компонентов, Смачиваемость,
- Термохимические свойства минералов,
- Минералогический состав,
- Текстурные и структурные особенности строения полезного ископаемого,
- Условия образования полезных ископаемых,
- Магнитные свойства минералов,
- Спектроскопические и радиоспектроскопические свойства минералов

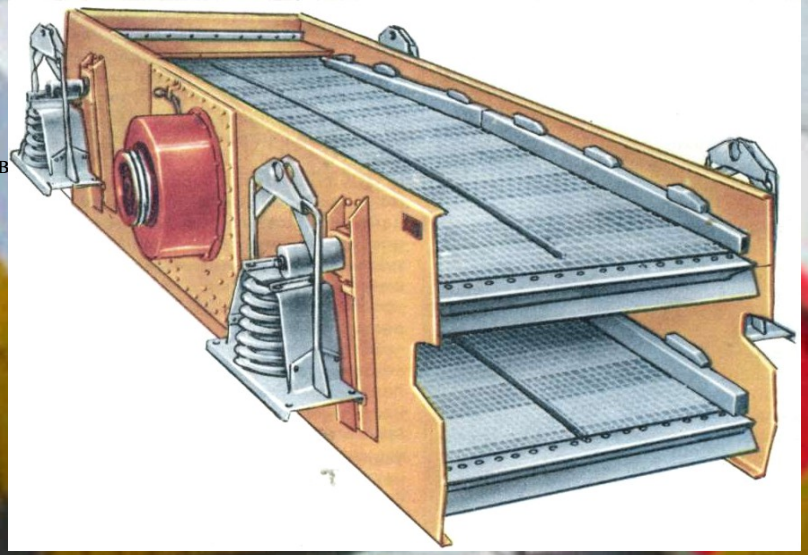
# *Раздел 2.* *Подготовительные процессы*

## **Тема 2.** Грохочение

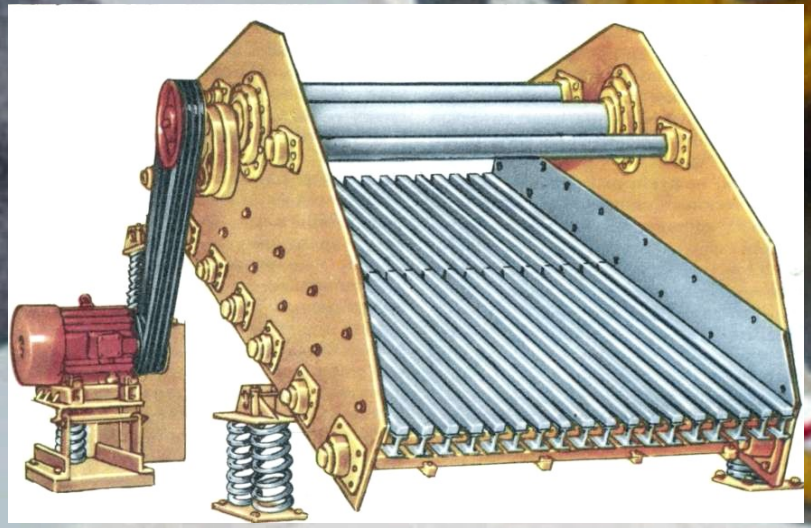



Просеивающие поверхности грохотов: *а* – поперечные сечения колосников *б* – листовые решета; *в* – проволоч-ные сита

**Грохочение** - это процесс разделения материалов на клас-сы крупности, осуществляемый на просеивающих поверхностях.



Инерционный грохот для щебня и гравия



Грохот самобалансный (самосинхронизирующийся)

# *Раздел 2. Подготовительные процессы*

## **Тема 3.** Классификация

**Классификацией** называют процесс разделения смеси мелких частиц разных размеров, формы и плотности на отдельные классы по скорости осаждения частиц в по-токе воды или газа.

Крупность материала, подвергаемого классификации, не превышает 13 мм для углей и 3–4 мм для руд.

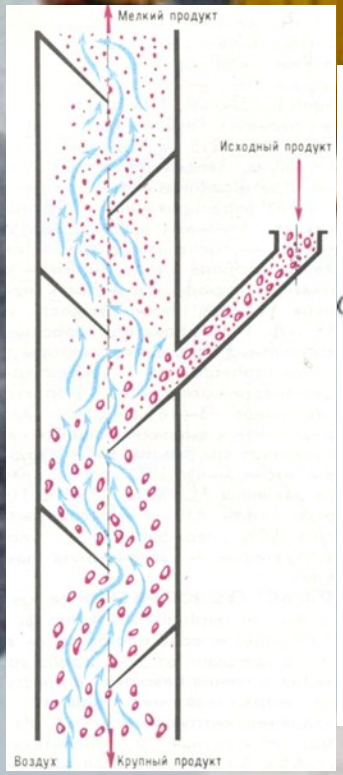
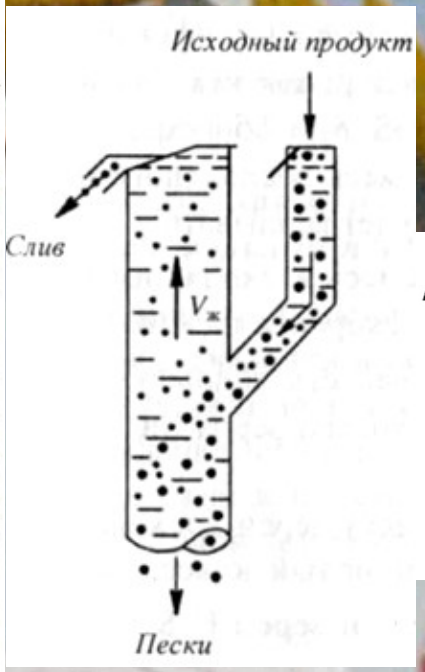



Схема классификации в вертикальном потоке жидкости и газа



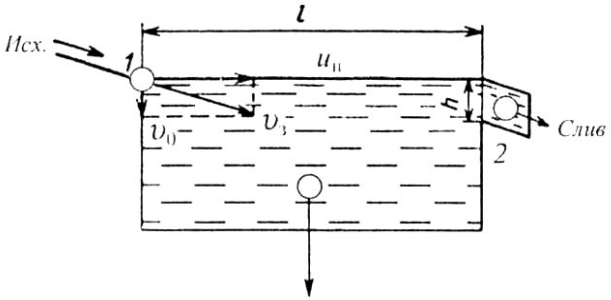




Схема классификации в горизонтальном потоке пульпы

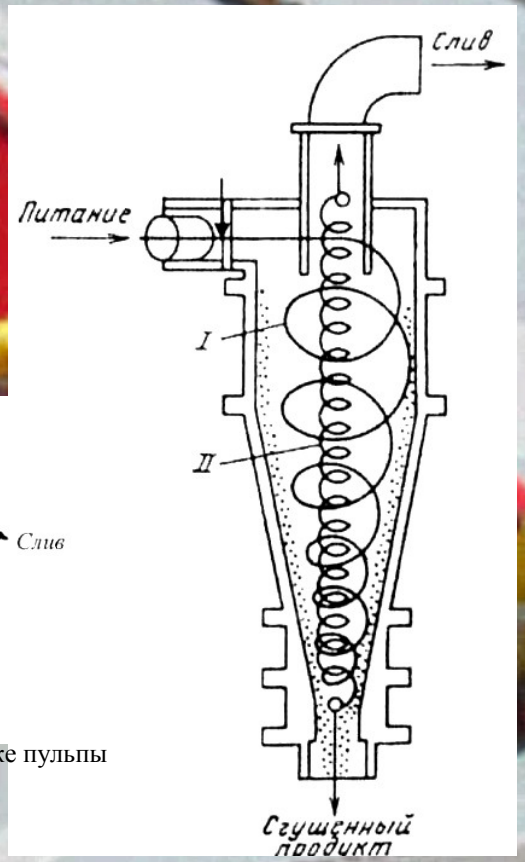
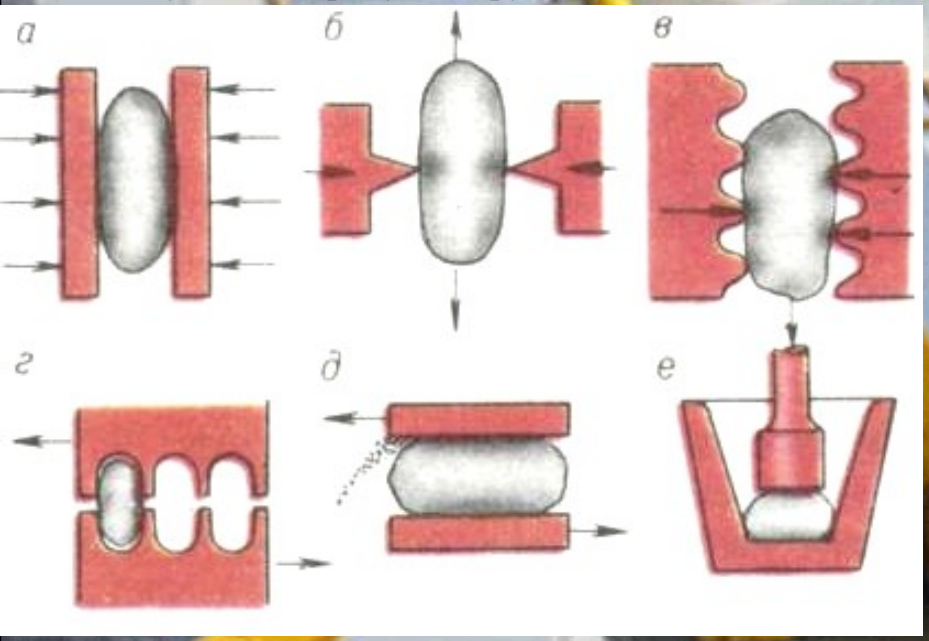



Схема движения пульпы в гидроциклоне

# *Раздел 2.* *Подготовительные процессы*

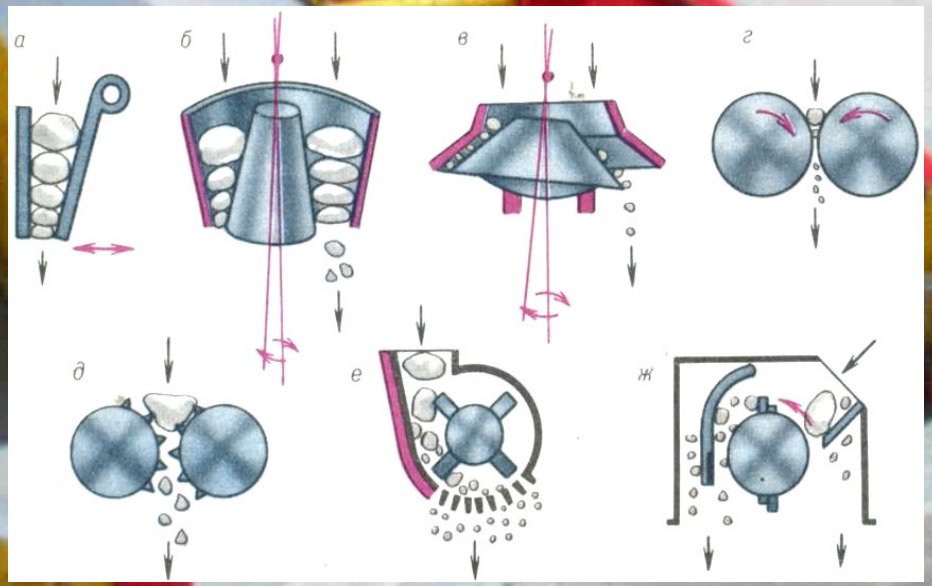
## Тема 4. Дробление

**Дробление и измельчение** – процессы разрушения полезных ископаемых под действием внешних сил до заданной крупности, требуемого гранулометрического состава или необходи-мой степени вскрытия минералов. Условно принято считать дроблением такой процесс разрушения, в результате которого получаются продукты крупностью более 5 мм, измельчением – менее 5 мм.




Способы дробления полезных ископаемых

Принципиальные схемы дробилок: *а* – щёковая; *б* – конусная крупного дробления; *в* –конуснаясреднего и мелкого дробления; *г* – валковая; *д* – валковая зубчатая; *е* – молотковая; *ж* – роторная



# *Раздел 2. Подготовительные процессы*

## **Тема 5.** Измельчение

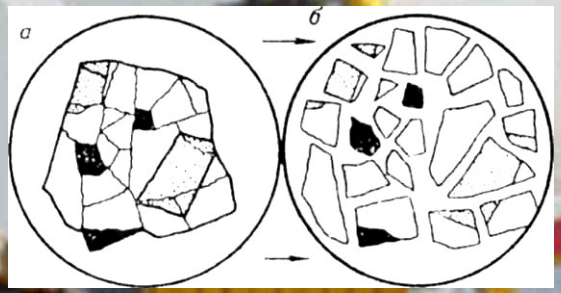
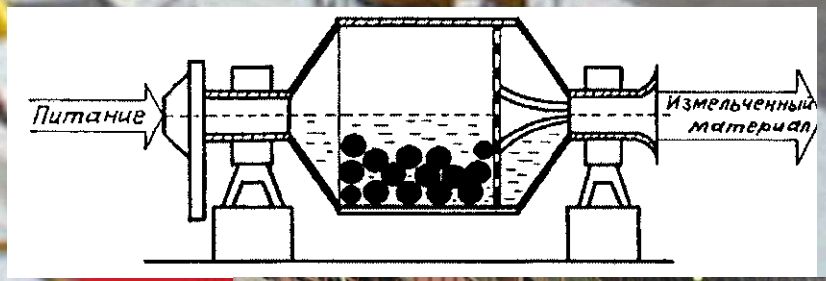
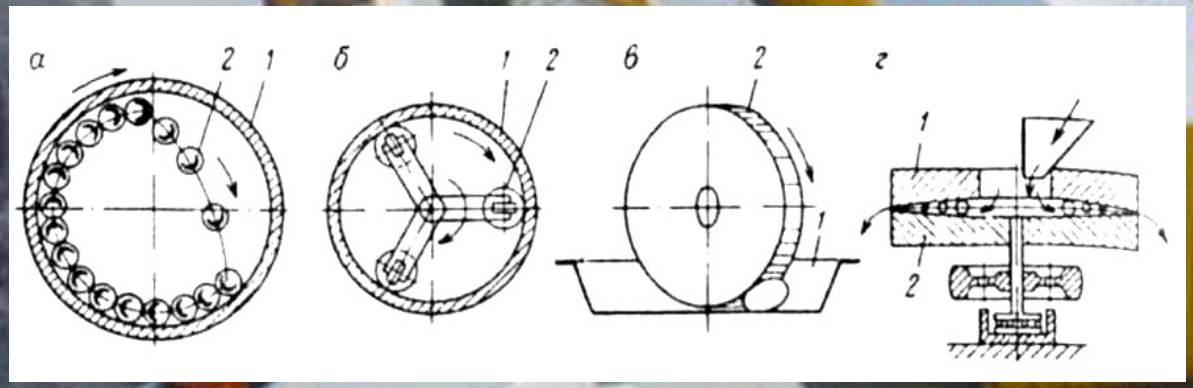



Схема разрушения куска руды при измельчении:
*а* – до измельчения; *б* – после измельчения

Принципиальная схема и внешний вид барабанной мельницы

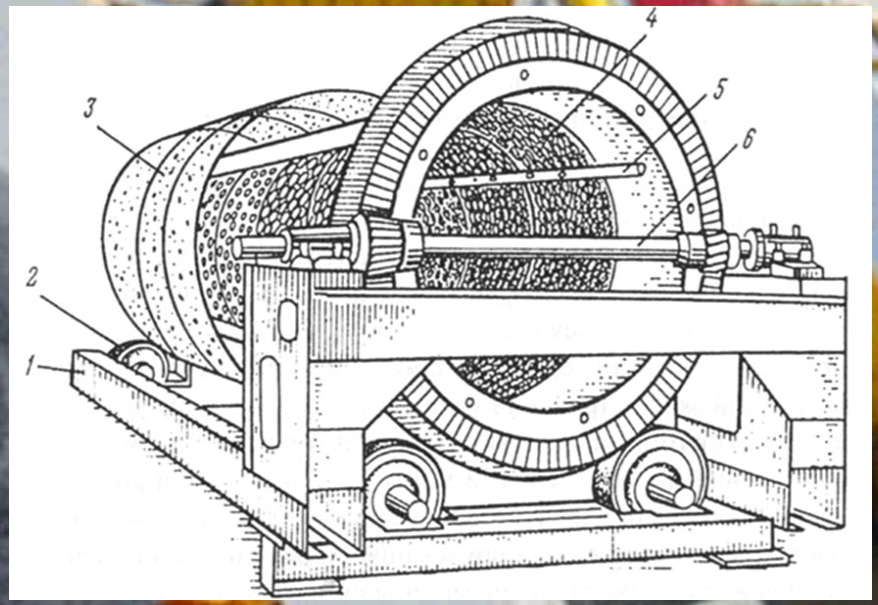





Механические мельницы

# Тема 6. Изменение свойств разделяемых минералов

**Промывка** – процесс отделения глинистых агрегатов от минерального сырья путем их дезинтеграции с одновременным удалением под действием воды и соответствующих устройств.




Барабанная мойка

В ряде случаев трудноизвлекаемые компоненты предварительно переводят в легкорастворимые соединения посредством следующих процессов:

- окислительного обжига сульфидного сырья;
- сульфатизирующего обжига или сульфатизации;
- восстановительного обжига; хлорирующего обжига;
- сплавления или спекания с содой;
- обжига с известью; сплавления с фторостикатами.

*Модуль 2.*

# **Раздел 3.** Основные обогатительные процессы

*ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЕТЕНЦИЙ*

*Знает*

-основные методы обогащения полезных ископаемых;

-основные принципы разработки обеспечения основных процессов обогащения твердых полезных ископаемых техническими средствами с высоким уровнем автоматизации управления

- технику и технологию переработки твердых полезных ископаемых, в том числе обеспечивающие комплексную переработку горнорудного сырья

-физико-химические основы обогащения полезных ископаемых;

-машины, механизмы и аппараты, применяемые при переработке твердых полезных ископаемых;

- перспективные направления развития техники и технологии переработки твердых полезных ископаемых

*Умеет*

- разрабатывать мероприятия по управлению качеством продукции при обогащении руд;

-изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области переработки твердых полезных ископаемых

-*Владеет*

- методами обогащения твердых полезных ископаемых

- методы поиска и отбора технической литературы касающуюся основных обогатительных процессов

- способностью изучать научно-техническую информацию касающуюся основных обогатительных процессов

– информацией о назначении и применения основных химических веществ и их соединений при обогащении полезных ископаемых

# Тема 7. Гравитационное обогащение

**Отсадка** – гравитационное обогащение в вертикальном пульсирующем потоке воды или воздуха.

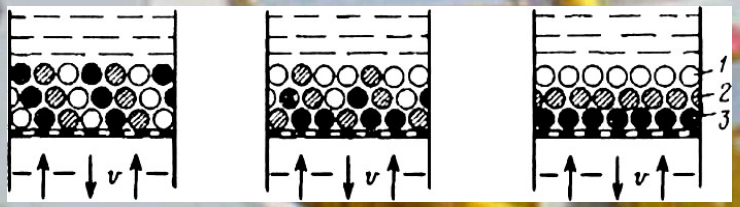
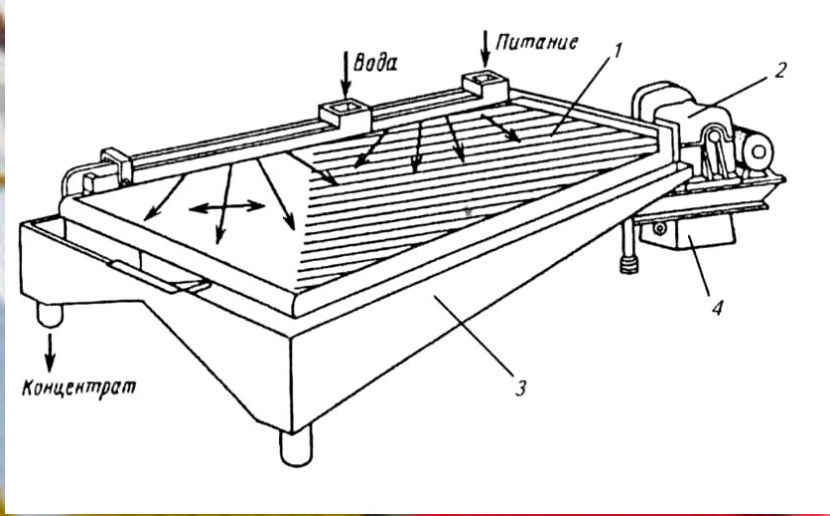


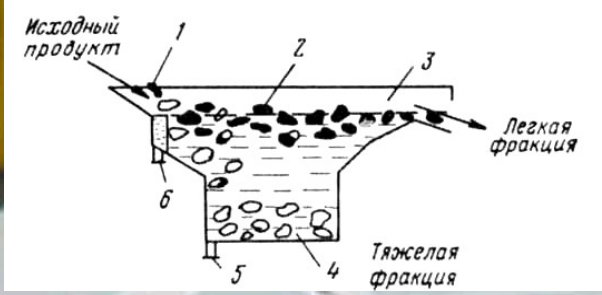

Схема расслоения смеси зерен минералов различной плотности в пульсирующем потоке воды: *а*, *б* и *в* – начальное, промежуточное, конечное состояние системы; *1* –зерна легкие; 2 и *3* – промежуточной плотности и тяжелые

**Концентрация на столе** – процесс разделения минеральных частиц на основе различий в их плотности и крупности в тонком слое воды, текущей по наклонной плоскости.



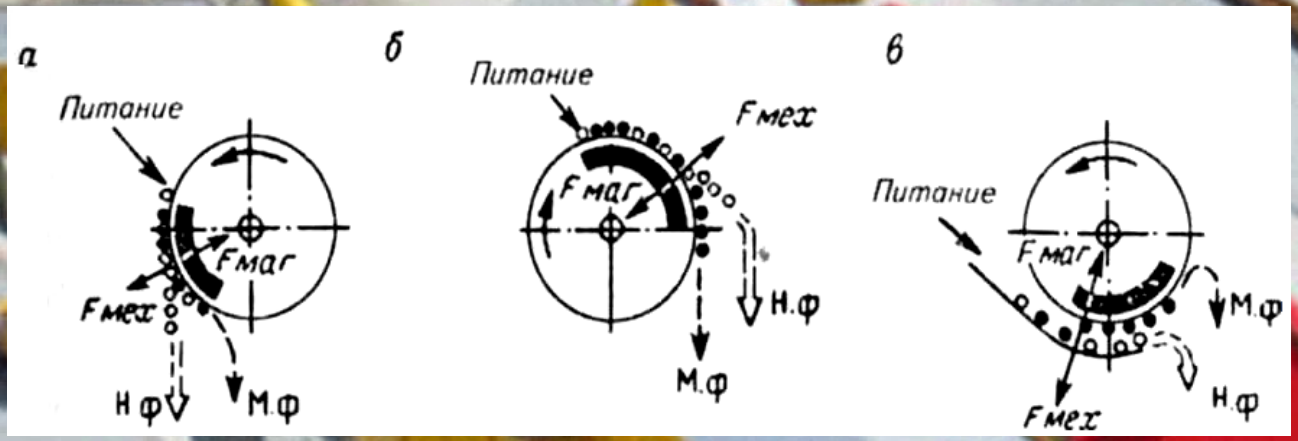
Отсадочная машина

**Процесс обогащения в тяжелых средах** основан на разделе-нии смеси зерен по плотности в гравитационном или центро-бежном полях в среде, плотность которой – промежуточная между плотностями разделяемых частиц.



# Тема 8. Магнитное обогащение

**Магнитное обогащение** – это обогащение в магнитном поле, основанное на различии магнитных свойств разделяемых компонентов.




Схемы разделения частиц по магнитным свойствам: *а–в* – соответственно отклонение, удерживание и извлечение магнитных частиц; М.ф. – магнитная фракция: Н.ф. – немагнитная фракция

Магнитное обогащение осуществляется в магнитных сепараторах, характерной особенностью которых является наличие в их рабочей зоне магнитного поля. При движении материала через рабочую зону сепаратора под воздействием магнитной силы притяжения минералы с различными магнитными свойствами перемещаются по различным траекториям, что позволяет магнитные минералы выделять в отдельный – магнитный продукт, а немагнитные – в немагнитный

# Тема 9. Электрическое обогащение

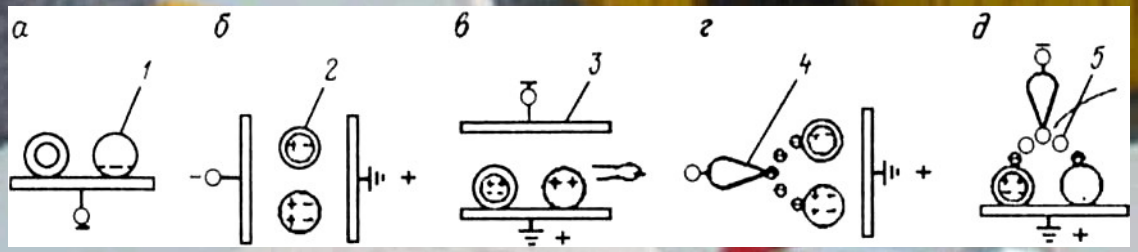
**Электрическая сепарация** – это процесс разделения минеральных частиц, основанный на различии величин их электрических зарядов, путем изменения траектории движения этих частиц в электростатическом поле или электрическом поле ко-ронного разряда.

**Электростатическая сепарация** – это процесс разделения частиц по электрическим свойствам, в зависимости от которых под действием электростатического поля изменяется траектория движения этих частиц.

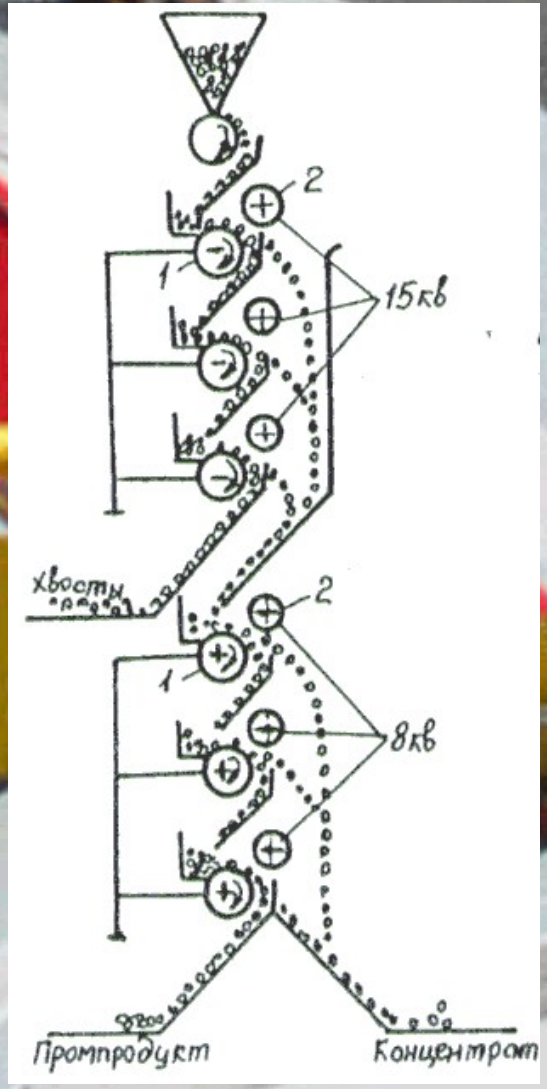
**Диэлектрическая сепарация** – это процесс разделения минеральных частиц, основанный на различии в их диэлектри-ческой проницаемости.

**Трибоэлектрическая сепарация** – это процесс сепарации минеральных частиц, основанный на явлении трибоэлектрического эффекта, проявляющегося при электризации трением или контактом.

**Трибоадгезионная сепарация** – это процесс сепарации, основанный на различии сил адгезии частиц к электроду, в частности, на различии электрических составляющих в адгезии.

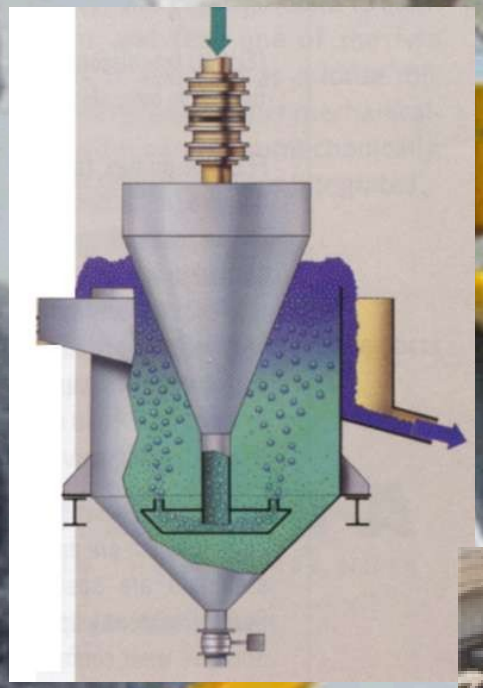


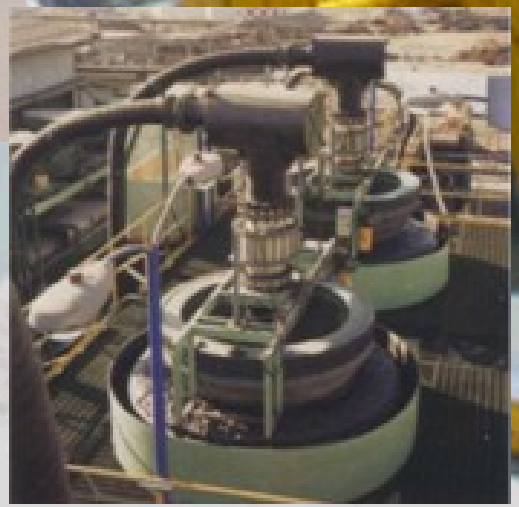

Основные способы зарядки частиц в процессах электрической сепарации:
*а* – касанием; *б* – индукцией; *в* – комбинированный; *г* – газовыми ионами; *д* – газовыми ионами и разрядкой



# Тема 10. Флотационное обогащение

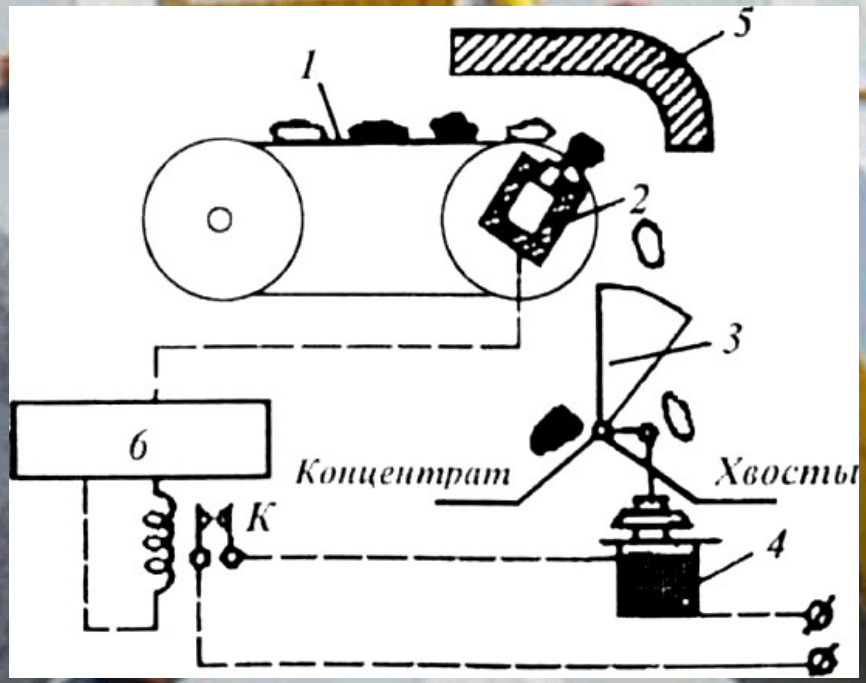
**Флотационное обогащение (флотация)** – это процесс обогащения полезных ископаемых, основанный на избирательном прилипании частиц минералов к поверхности раздела двух фаз: жидкость – газ; жидкость – жидкость и др.





# Тема 11. Радиометрическое обогащение

**Радиометрическая сепарация** – процессы разделения минералов на основе различий в интенсивности испускания, отражения или поглощения ими различных видов ядерно-физических излучений путем механического изменения траекторий выведения частиц из потока материала специальными исполнительными механизмами.




Принципиальная схема радиометрического сепаратора: *1* – ленточный конвейер; *2* – датчик излучений; *3* – шибер; *4* – электро-магнит; *5* – защитный экран; *6* – радиометр

В работе сепараторов последовательно автоматически осуществляются следующие операции:

- формирование потока исходного материала и подача его в зону облучения;
- облучение;
- регистрация и оценка вторичного излучения;
- разделение по этому признаку материала на продукты, различающиеся по содержанию ценных компонентов или вещественному составу.

# Тема 12. Химическое обогащение

**Химическое обогащение** – область технологии переработки полезных ископаемых по комбинированным схемам, включающим в начале, середине или конце химические процессы. При этом используются следующие процессы: гидрохимические, термохимические, пирометаллургические, хлоридо- и фторидовозгонка, сульфатизирующий, восстановительный, окис-лительный, сегрегационный обжиг и др. Наибольшее промышленное применение получили гидрохимические процессы.

**Гидрохимические процессы** – это процессы извлечения ценных компонентов или удаления вредных примесей из руд и продуктов обогащения путем селективного растворения их водными растворами химических реагентов. При последующем выделении из раствора ценных компонентов получают высококачественные продукты, часто называемые химическими концен-тратами. При этом выделяют физическое и химическое растворение.

Внешний вид штабеля кучного выщелачивания

Внешний вид зумпфа

# Раздел 3. Основные обогатительные процессы

## Тема 13. Обогащение по физико-механическим свойствам минералов

В группу процессов обогащения полезных ископаемых, использующих различия в эффектах взаимодействия кусков, разделяемых компонентов с рабочей поверхностью сепаратора, входят обогащение по упругости, трению, форме, термоадгезионная сепарация, методы, в основу которых положена комбинация нескольких эффектов взаимодействия с рабочей поверхностью.

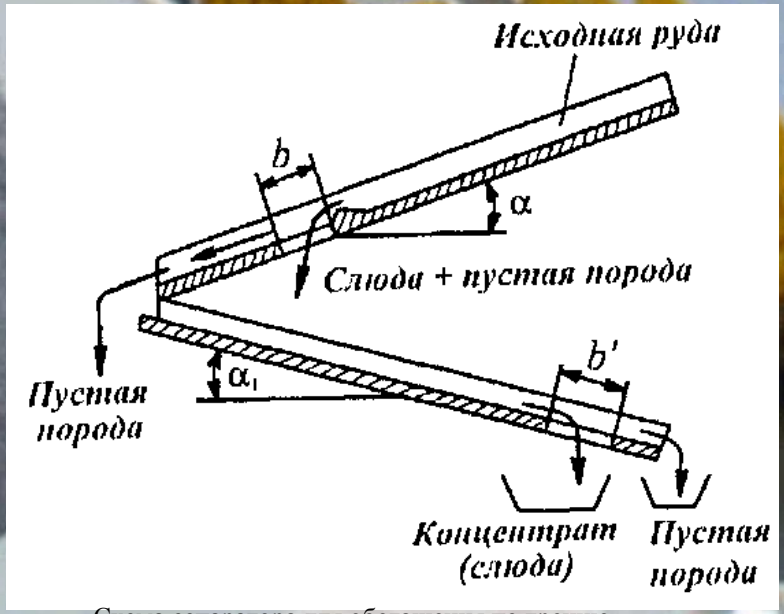



Схема сепаратора для обогащения по трению

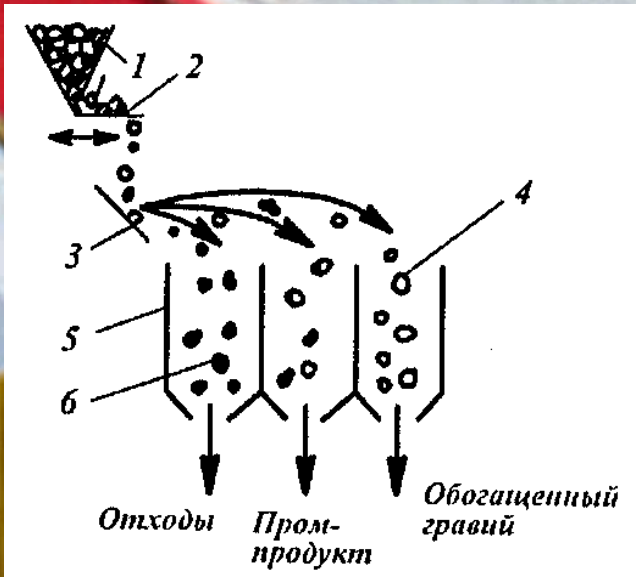



Схема сепаратора для обогащения по упругости

***Модуль 3.***

**Раздел 4.** Вспомогательные обогатительные процессы

**Раздел 5.** Технологические схемы и режимы обогащения полезных ископаемых

**Раздел 6.** Предприятия по переработке и обогащению полезных ископаемых.

**Раздел 7.** Перспективы развития техники и технологии переработки и обогащения полезных ископаемых

*ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЕТЕНЦИЙ*

*Знает* перспективные направления развития техники и технологии переработки твердых полезных ископаемых, в том числе обеспечивающие комплексную переработку горнорудного сырья и малоотходное производства

-вспомогательные процессы обогатительного производства;

-машины, механизмы и аппараты, применяемые при переработке твердых полезных ископаемых;

*Умеет*

-обосновывать решения по повышению эффективности производств по переработке полезных ископаемых

- выбирать последовательность процессов и аппаратов обогащения твердых полезных ископаемых

- изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области переработки твердых полезных ископаемых;

-выбирать или создавать технические решения в соответствии с формулированной технической задачей

– разрабатывать мероприятия по управлению качеством продукции;

– выбирать направления комплексной переработки минерального сырья

*Владеет*

-навыками разработки технологической схемы переработки твердых полезных ископаемых;

-природоохранными мероприятиями при переработке полезных ископаемых

- способностью изучать научно-техническую информацию в области переработки твердых полезных ископаемых;

– информацией о назначении и применения основных химических веществ и их соединений при обогащении конкретных видов горнорудного сырья

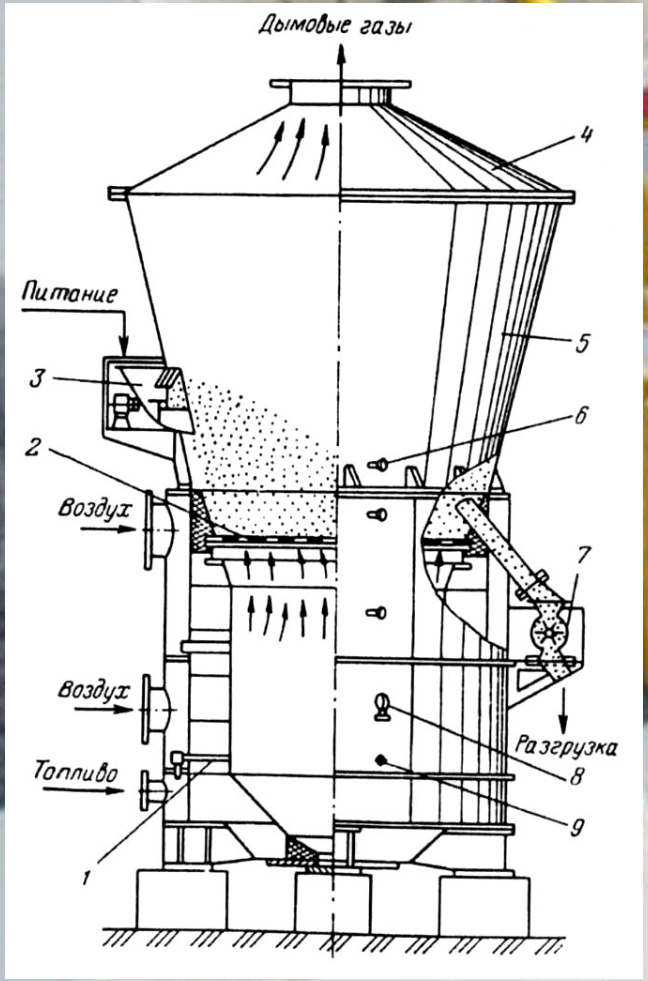
– методами комплексной переработки добытой рудной массы

# *Раздел 4.* Вспомогательные процессы

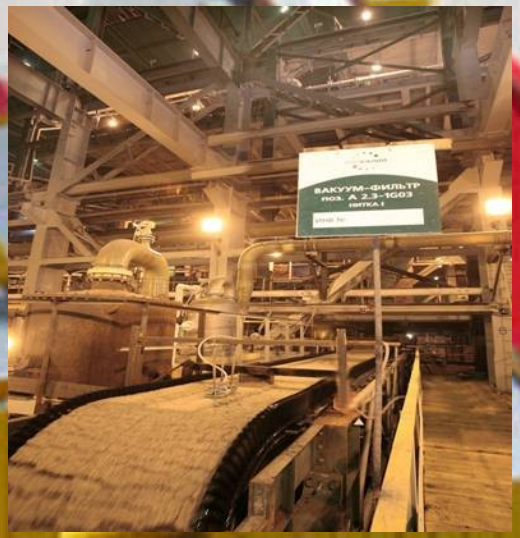
## **Тема 14.** Обезвоживание продуктов обогащения

Обезвоживание – процессы удаления избыточной влаги из продуктов обогащения.

Основными процессами обезвоживания являются дренирование, цен-трифугирование, сгущение, фильтрование и сушка.




Печь кипящего слоя




Ленточный вакуумный фильтр

Вакуум-кристаллизационная установка

Одноярусный радиальный сгуститель с центральным приводом

# *Раздел 4.* Вспомогательные процессы.

## Тема 15. Окусковывание полезных ископаемых и концентратов

**Окускование** – превращение мелких классов полезных ископаемых и продуктов обогащения в куски, гранулы или комки для подготовки их к дальнейшему более эффективному использованию. Окускование позволяет рационально использовать естественные пылеватые руды, концентраты, а также некоторые шламистые отходы горно-обогатительных и металлургиче-ских производств.

Применяют три способа окускования:

- агломерация,
- окомкование
- брикетирование.

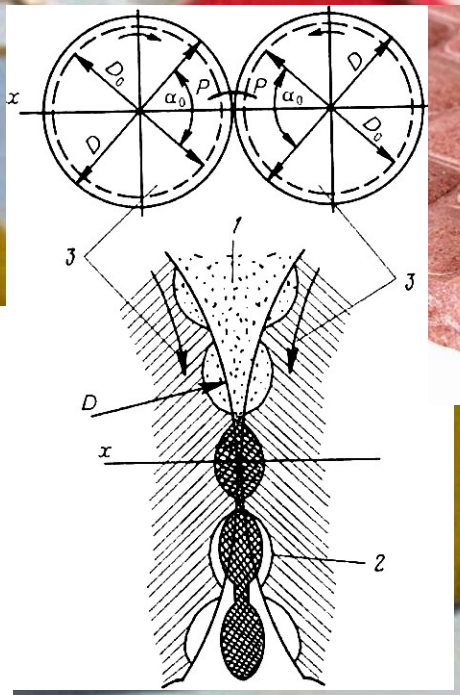


Схема прессования брикетной шихты в вальцовом прессе

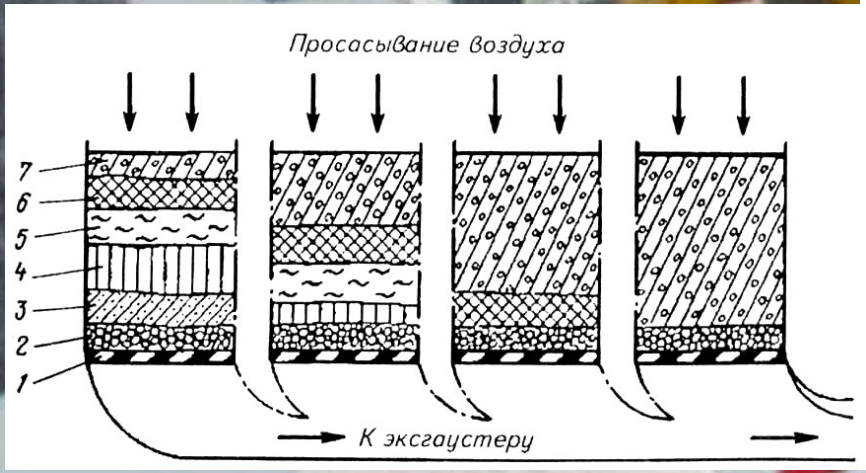



Схема процесса агломерации: *1* – колосниковая решетка; *2* – постель; *3* – зона переувлажнения; *4* – зона сушки; *5* – зона нагрева шихты; *6* – зона горения; *7* – зона готового агломерата

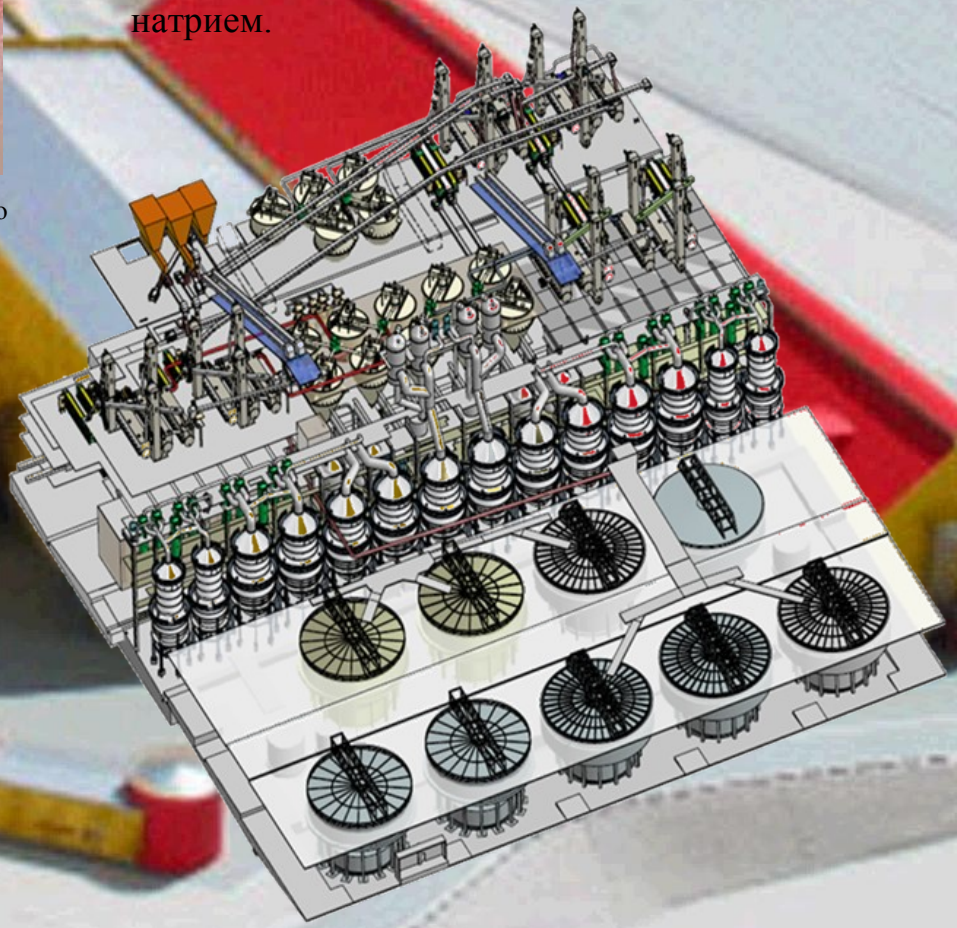
# Тема 16. Технология переработки и обогащения калийных руд

Продукт галургического производства
Массовая доля KCl – не менее 98%
(в пересчете на K2O – не менее 62%)

Продукт флотационного производства
Массовая доля KCl – не менее 95%
(в пересчете на K2O – не менее 60%)

**Переработка карналлитовых руд** осуществляется галургическим методом в основе которого лежит большая растворимость в воде хлористого магния по сравнению с хлористым калием и натрием.

Гранулированный продукт
массовая доля фракций:
свыше 4 мм – не более 3%
от 2 до 4 мм – не менее 87 %
менее 1 мм – не более 2 %



# Тема 17. Технологические схемы и режимы обогащения руд черных и цветных металлов

**Для железных руд** в основном применяют магнитное обогащение.

**Методы обогащения хромовых руд** определяются указанными свойствами. В качестве основного метода принято разделение минералов по плотности (в тяжелых суспензиях, отсадкой и концентрацией на столах) с предварительной рудоразборкой и избирательным дроблением.

**Фосфоритовые руды** обогащают промывкой и флотацией

**Алюминиевые руды.** Технология переработки бокситов различна. Она представляет собой обычно сочетание процессов дезинтеграции материала, грохочения и классификации его, высокоградиентной сепарации, флотации, флокуляции и обезвоживания, в результате чего получают высокомодульный бокситовый концентрат.

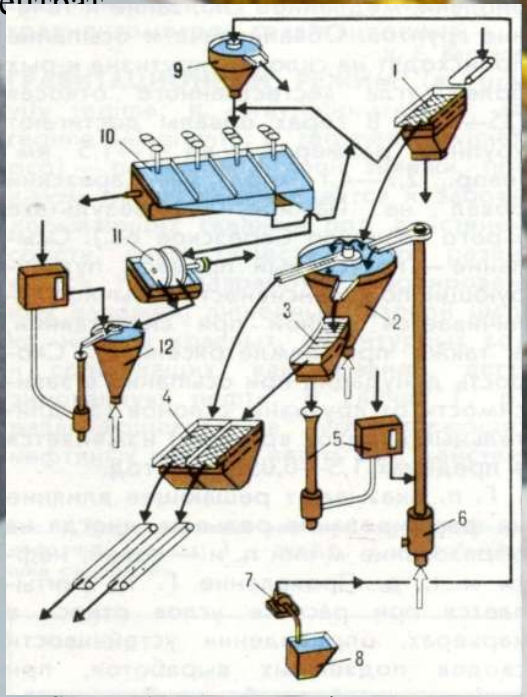



Схема обогащения сульфидных руд с флотационной регенерацией тяжелой суспензии

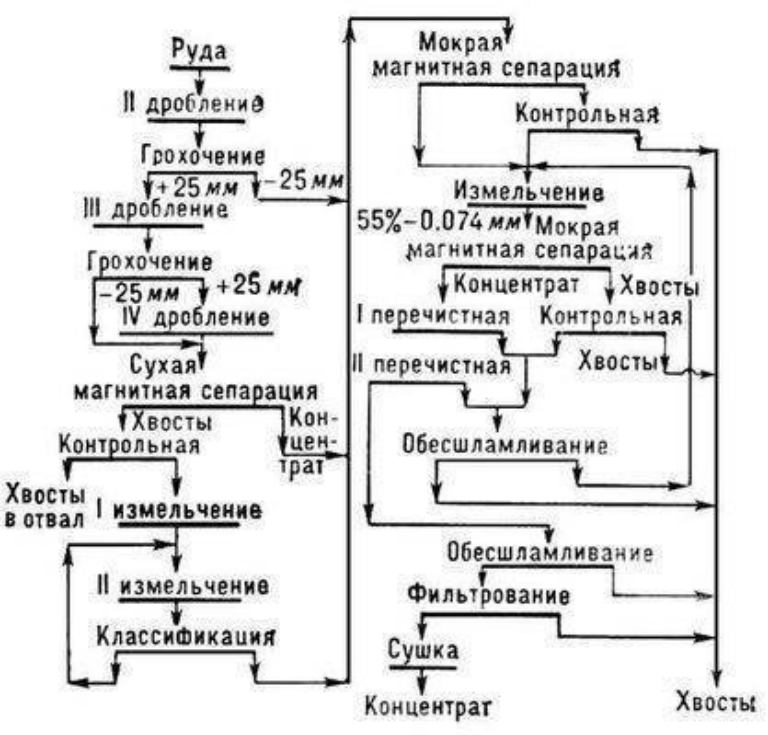



Схема магнитного обогащения

# Тема 18. Технологические схемы и режимы обогащения неметаллических полезных ископаемых, строительных горных пород

**Ископаемые угли и сланцы** (твердые горючие вещества органического происхождения) образовались из остатков на-земных растений (гумусовые угли), из водорослей и остатков животного планктона (сапропелевые угли), из мелководных органических илов (горючие сланцы). Основными процессами обогащения углей являются гравитационные: обогащение в тяжелых средах, в отсадочных машинах, на концентрационных столах и флотационные – пенная флотация.

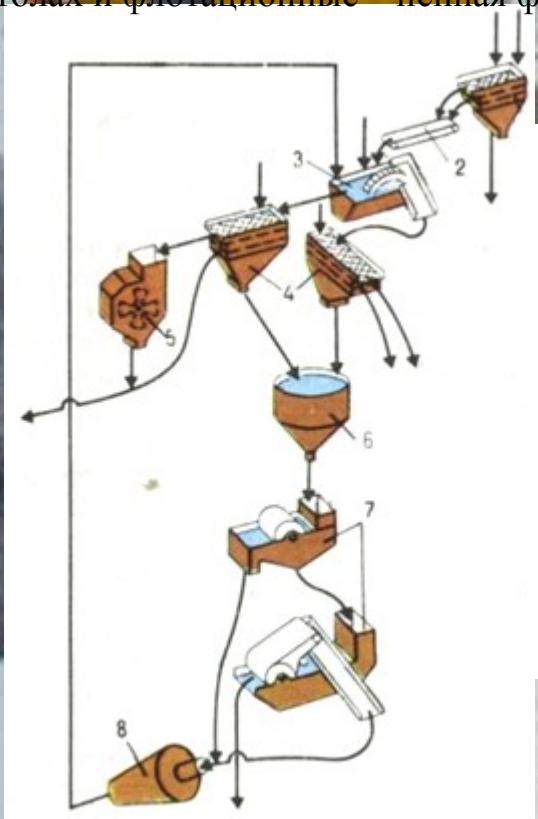
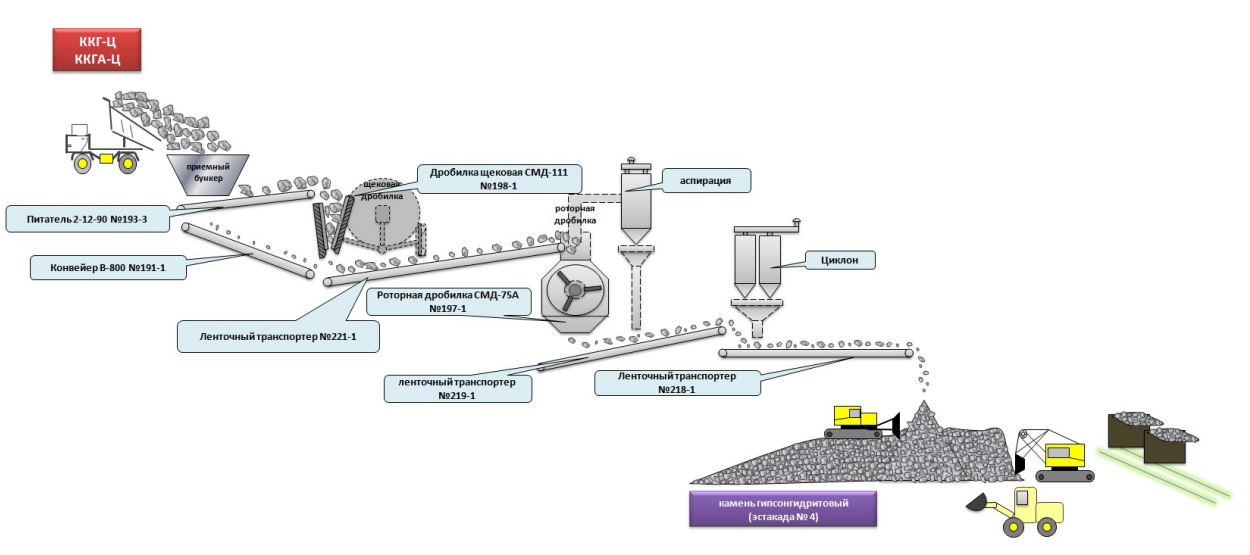



Схема обогащения углей на колесном сепараторе с магнитной регенерацией суспензии




Технологическая схема оборудования на дробильно-помольном узле (гипсоангидрит)

# *Раздел 6. Предприятия по переработке и обогащению полезных ископаемых.*

## Тема 19. Обогатительные фабрики

**Обогатительная фабрика** – горное предприятие для первичной переработки твердых полезных ископаемых с целью получения технически ценных продуктов, пригодных для промышленного использования.

**Основными подразделениями** обогатительных фабрик: отделение приема и усреднения сырья; цех крупногодробления и предконцентрации сырья, дозировочно-аккумулирующие бункеры, цех среднего и мелкого дробления, отделенияизмельчения, обогащения, обезвоживания и сушки, склад готовой продукции и ее отгрузки, цех удаления и складирования хвостов и кондиционирования оборотных вод.

К **вспомогательнымподразделениям** относятся механические и электроремонтные мастерские, реагентное отделение, складские помещения запасных частей, материалов и топлива,котельные участки водоснабжения и электроснабжения, управление фабрикой и административно-хозяйственная служба, научно-исследовательская лаборатория, отдел технического контроля. Ряд цехов и служб на той или иной обогатительной фабрике может отсутствовать или входить в состав других цехов иотделов.

В зависимости от применяемых технологических процессов различают:

-гравитационные обогатительные фабрики, на которых наиболее часто подвергают обогащению руды редких металлов, марганцевые руды и угли;

-флотационные обогатительные фабрики, на которых обогащают главным образом руды цветных и редких металлов, апатитовые и калийные руды, неметаллические полезные ископаемые;

-магнитообогатительные фабрики, на которых подвергают обогащению в основном магнетитовые и титаномагнетитовые руды;

-промывочные обогатительные фабрики, предназначенные для обогащения окисленных железных, марганцевых руд и фосфоритов;

-дробильно-сортировочные фабрики, на которых осуществляют дробление и грохочение богатых железных руд и известняков, сортировку горючих сланцев и углей, дробление, грохочение и классификацию строительных горных пород с получением различных видов и сортов строительных материалов.

# Тема 20. Опробование, контроль и управление технологическими процессами на обогатительных фабриках

Непрерывный оперативный контроль технологического процесса и качества продуктов обогащения позволяет осуществить оперативное регулирование отдельных агрегатов и технологического процесса в целом.

Непрерывный оперативный контроль параметров и процессов позволяет реализовать автоматизацию управления технологией на обогатительной фабрике. Контроль качества проводят в основном путем опробования, включающего операции по отбору проб и подготовке их к анализу.

По времени отбора различают следующие виды проб:

-разовые, отбираемые от исходного угля и продуктов обогащения только один раз;

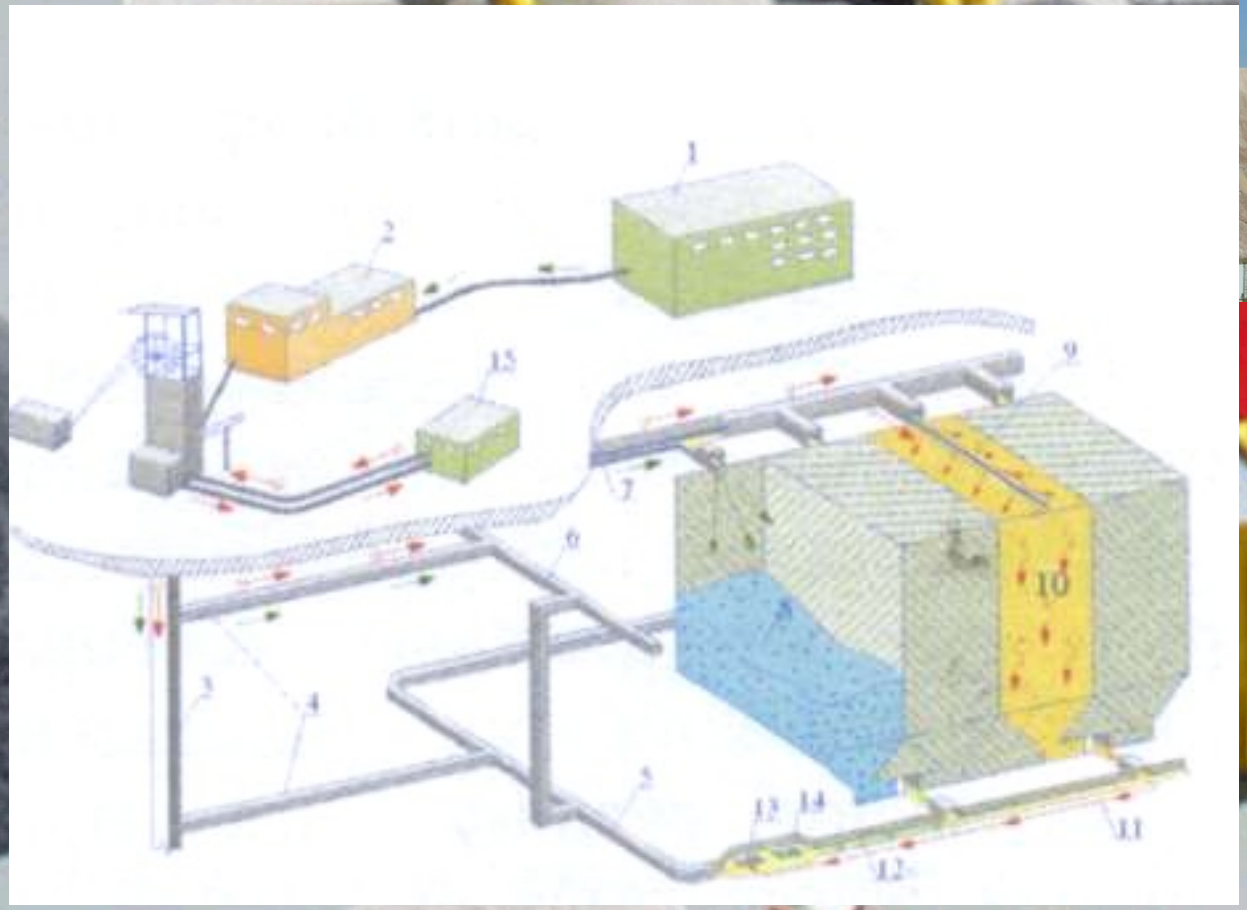
-часовые, отбираемые в течение 1 ч;

-сменные, составляемые из часовых проб;

-суточные, составляемые из сменных проб.

*Раздел 6. Предприятия по переработке и обогащению полезных ископаемых.*

# Тема 21. Охрана окружающей среды при переработке и обогащении полезных ископаемых



Внешний вид отвала на одном из рудников Верхнекамского месторождения калийных солей

По технологической схеме, представленной на рисунке отходы обогащения, заложенные в выработанное пространство подземных камер, с целью доизвлечения ценных компонентов подвергаются выщелачиванию.

## *Раздел 6. Предприятия по переработке и обогащению полезных ископаемых.*

# Тема 22. Основные технико-экономические показатели работы обогатительных фабрике

Работа обогатительной фабрики оценивается в первую очередь технологическими показателями, характеризующими эффективность обогащения, т. е. извлечением ценных компо-нентов в одноименные товарные концентраты и качеством последних. Такие технико-экономические показатели, как стоимость товарной продукции в оптовых ценах, прибыль предприятия, производительность на одного трудящегося, удельные расходы электроэнергии и материалов на 1 т руды (угля) или концентрата, дополнительно характеризуют техно-логический и организационно-технический уровень работы обогатительной фабрики.

Экономическое значение повышения эффективности обогащения полезных ископаемых обусловлено:

-снижением стоимости переработки обогащенного сырья, по сравнению с природным, поскольку при том же выпуске про-дукта уменьшается количество материалов, подлежащих пере-работке;

-повышением эффективности последующего металлурги-ческого, химического и других переделов за счет снижения по-терь, увеличения производительности и повышения качества продукции при переработке обогащенного сырья. Так, напри-мер, повышение содержания свинца в концентрате с 10 до 50 % обеспечивает увеличение производительности металлургическо-го передела примерно в 5 раз при снижении расхода кокса на каждую тонну свинца в 11 раз и сокращении потерь металла со шлаками на 30 %. Понижение содержания в нем вредной при-меси – цинка – с 20 до 10 % сокращает потери свинца при плавке почти в 2 раза. Еще больший экономический эффект достигается при обогащении бедных руд, содержащих редкие и благородные металлы;

-увеличением доли дополнительной прибыли, получаемой за счет попутного извлечения ценных спутников и минераль-ных компонентов;

-сокращением расходов на перевозку обогащенного сы-рья. Снижение, например, зольности донецких углей до 6–8 % позволило бы не только сократить на 20–25 % транспортные расходы, высвободить транспорт, необходимый для других нужд народного хозяйства, но и повысить эффективность работы ТЭЦ, улучшить охрану окружающей среды;

-возможностью резкого снижения стоимости добычи руд при осуществлении предварительной концентрации их мето-дами обогащения за счет применения более эффективных, но связанных со значительным разубоживанием руд систем от-работки месторождения.

# Тема 23. Перспективы развития техники и технологии переработки и обогащения полезных ископаемых

Обеспечение полноты извлечения полезных ископаемых при их переработке может быть достигнуто:

•Разработкой и внедрением технологических схем и методов обогащения и переработки сырья, обеспечивающих комплексное извлечение полезных компонентов

•Использованием методов предварительного обогащения (сортировка)

•Внедрением методов кучного выщелачивания металлов из забалансовых руд

•Переработкой отвалов карьеров и шахт, отходов обогатительных фабрик, доизвлечение полезных компонентов

•Очисткой шахтных и сточных вод и извлечение из них полезных компонентов

•Созданием комплексных производств, основанных на замкнутых циклах с организацией безотходного производства

•Разработкой мер экономического стимулирования более полного и комплексного использования добытых полезных ископаемых