

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет»  
им. Т. Ф. Горбачева

Л. А. СУСЛИНА

## **ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебное пособие

Кемерово 2012

Суслина Людмила Алексеевна. Обогащение полезных ископаемых: учебное пособие [Электронный ресурс]: для студентов очной и заочной формы обучения специальностей горного профиля: 130405 «Обогащение полезных ископаемых» и 280102 «Безопасность технологических процессов и производств», изучающих дисциплину «Основы обогащения полезных ископаемых»; 130403 «Открытые горные работы», изучающих дисциплину «Обогащение полезных ископаемых»; 130404 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», изучающих дисциплину «Переработка и комплексное использование сырья»; 080502.14 «Экономика и управление на предприятиях в горной промышленности», изучающих дисциплину «Технология обогащения» / Л. А. Суслина. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); зв.; цв.; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows 2003; (CD-ROM-дискковод); мышь. – Загл. с экрана.

В учебном пособии представлен материал, предназначенный для формирования у студентов представлений о методах обогащения полезных ископаемых, подготовки сырья к обогащению и обезвоживанию продуктов обогащения; о комплексном использовании сырья по безотходной технологии горного производства. Учебное пособие содержит информацию, позволяющую освоить методы расчета и составления баланса металлов, методики проведения ситового и фракционного анализов сырья и продуктов обогащения. Знания, полученные с использованием пособия «Обогащение полезных ископаемых» необходимы при выполнении лабораторных и дипломных работ студентов и организации работы на производстве в области обогащения полезных ископаемых.

Учебное пособие по содержанию соответствует рабочей программе дисциплины и ГОС.

## Содержание

1.	Введение	6
1.1.	Технологические показатели процесса обогащения	8
1.2.	Технологические схемы обогащения	10
1.3.	Усреднение полезных ископаемых	12
1.3.1.	Методы усреднения:	14
	Вопросы для самопроверки	17
2.	Подготовительные процессы переработки полезных ископаемых	18
2.1.	Грохочение	18
2.1.1.	Факторы, влияющие на производительность и эффективность грохочения	19
2.1.2.	Виды грохочения по технологическому назначению	24
2.1.3.	Методы определения гранулометрического состава	25
2.1.4.	Методика проведения ситового анализа	26
2.1.5.	Грохоты	29
2.1.5.1.	Классификация грохотов	29
2.1.5.2.	Неподвижные грохоты	31
2.1.5.3.	Грохоты механического типа	33
	Практическое задание	39

Вопросы для самопроверки	43
2.2.    Классификация	44
2.2.1.  Классификаторы	45
Вопросы для самопроверки	52
2.3.    Дробление	52
2.3.1.  Назначение операций дробления	53
2.3.2.  Способы, степень, стадии дробления	53
2.3.3.  Схемы дробления	54
2.3.4.  Дробилки	56
2.3.4.1. Щековые дробилки	56
2.3.4.2. Конусные дробилки	60
2.3.4.3. Валковые дробилки	70
2.3.4.4. Дробилки ударного действия	73
Вопросы для самопроверки	81
2.4.    Измельчение	82
2.4.1.  Барабанные мельницы	84
2.4.2.  Сухое и мокрое измельчение. Достоинство и недостатки	91
2.4.3.  Режим работы мельницы	91
2.4.4.  Схемы измельчения	93

	Вопросы для самопроверки	94
3.	Основные процессы переработки	95
3.1.	Гравитационные процессы обогащения	97
3.1.1.	Классификация гравитационных процессов обогащения	97
3.1.2.	Фракционный анализ	97
3.1.3.	Отсадка	104
3.1.3.1.	Закономерности падения минеральных зерен в воде и воздухе	104
3.1.3.2.	Устройство и принцип действия отсадочных машин	106
3.1.3.3.	Классификация отсадочных машин по способу создания пульсаций воды	111
	Вопросы для самопроверки	113
3.1.4.	Обогащение в тяжелых средах	114
3.1.4.1.	Тяжелосредный сепаратор с вертикальным элеваторным колесом	115
3.1.4.2.	Тяжелосредные гидроциклоны	118
3.1.4.3.	Схемы регенерации разбавленной суспензии	119
	Вопросы для самопроверки	122
3.1.5.	Обогащение в потоках воды на наклонных плоскостях	123
3.1.5.1.	Спиральный сепаратор	125
3.1.5.2.	Концентрационный стол	126

	Вопросы для самопроверки	127
3.2.	Флотационные методы обогащения полезных ископаемых	127
3.2.1.	Флотационные реагенты	129
3.2.2.	Флотационные машины	125
3.2.2.1.	Механические флотационные машины «Механобр»	132
3.2.2.2.	Механические флотационные машины угольные	134
3.2.2.3.	Пневмомеханические флотационные машины	136
3.2.2.4.	Пневматические флотационные машины	138
	Вопросы для самопроверки	140
3.3.	Магнитные методы обогащения	141
3.3.1.	Магнитные сепараторы	143
3.3.2.	Классификация магнитных сепараторов	145
3.3.3.	Расшифровка типоразмеров магнитных сепараторов	147
	Практическое задание	148
	Вопросы для самопроверки	152
3.4.	Электрические методы обогащения	152
3.4.1.	Классификация минералов по электрическим свойствам	153
3.4.2.	Виды электросепарации	153

3.4.3.	Электрические сепараторы	153
	Вопросы для самопроверки	156
3.5.	Специальные методы обогащения	157
	Вопросы для самопроверки	163
4.	Вспомогательные процессы переработки	164
4.1.	Обезвоживание продуктов обогащения	164
4.1.1.	Виды влаги	164
4.1.2.	Методы обезвоживания	165
4.1.3.	Дренирование	166
4.1.4.	Сгущение	168
4.1.5.	Центрифугирование	174
4.1.6.	Фильтрование	178
4.1.7.	Термическая сушка	181
	Вопросы для самопроверки	186
5.	Комплексное использование минерального сырья	187
5.1.	Окускование полезных ископаемых	187
5.2.	Использование отходов обогащения	189
	Вопросы для самопроверки	190
	Рекомендуемая литература	191

## 1. ВВЕДЕНИЕ

*Обогащение полезных ископаемых* – это ряд процессов переработки полезных ископаемых, конечным результатом которых является получение товарных продуктов или продуктов, пригодных для последующей химико-металлургической или другого рода переработки.

Переработка полезных ископаемых осуществляется на обогатительных фабриках, представляющих собой сегодня мощные высоко-механизированные предприятия со сложными технологическими процессами.



*Полезные ископаемые* – минеральные образования земной коры, химический состав и физические свойства которых позволяют эффективно использовать их в сфере материального производства (например, в качестве сырья или топлива).

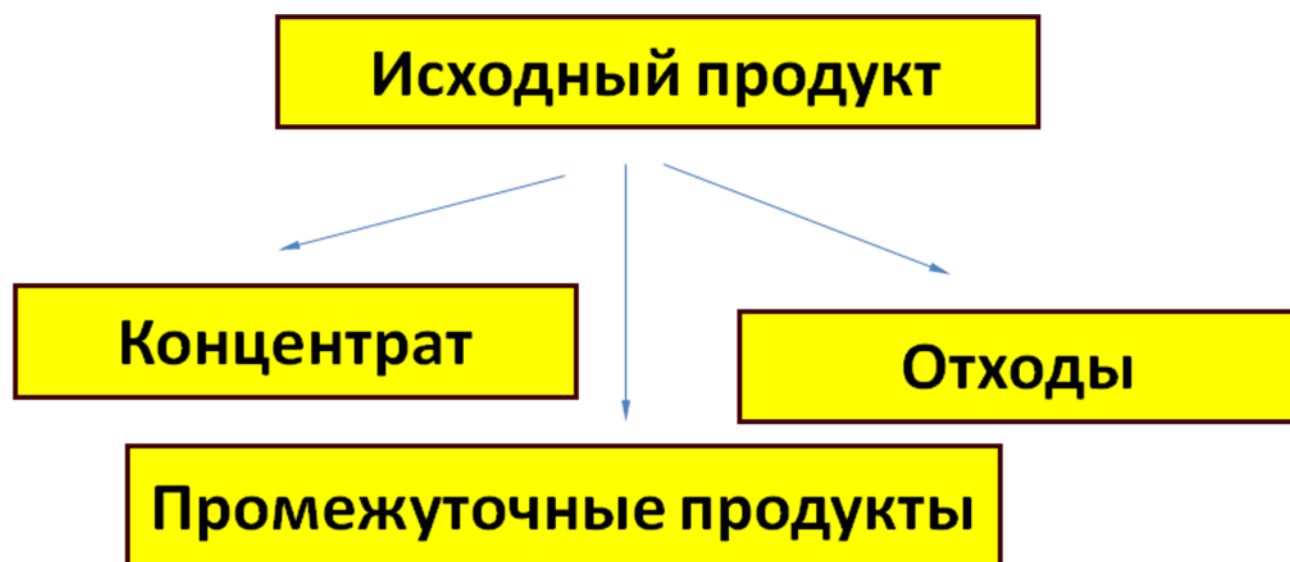
Обогащение – очень важное промежуточное звено между добычей полезных ископаемых и использованием извлекаемых веществ.



Применение извлекаемых из недр полезных ископаемых без процесса обогащения, чаще всего, невозможно.

Обогащение позволяет существенно увеличить концентрацию ценных компонентов в концентрате. Обычно, содержание цветных металлов – меди, свинца, цинка – в рудах составляет 0,3-2 %, а в их концентратах – 20-70 %. Концентрация молибдена увеличивается от 0,1-0,01 % до 47-50 %, вольфрама – от 0,1-0,2 % до 45-65 %, зольность угля снижается от 25-35 % до 2-10 %. При обогащении удаляется также часть вредных примесей минералов, например, такие как сера, фосфор, мышьяк. Извлечение ценных компонентов в концентрат в процессах обогащения составляет от 60 до 95 %.

Обогащение руды представляет собой совокупность методов разделения металлов и минералов друг от друга по разнице их физических или химических свойств. Полученные *продукты обогащения* разделяются на два продукта и более, отличающихся по качеству. Более богатый полезным компонентом продукт называют *концентратом*, самый бедный, состоящий в основном из пустой породы – *отходами* (хвостами), продукты со средним содержанием полезного компонента называют промежуточными, они обычно возвращаются на переработку.



*Полезный (ценный) компонент* – элемент или минерал, с целью извлечения которого добывается полезное ископаемое.

*Полезные примеси* – это химические элементы или минералы, присутствующие в продуктах обогащения и улучшающие их свойства.

**Вредные примеси** – это химические элементы или минералы, присутствующие в продуктах обогащения, ухудшающие их свойства.

Процесс обогащения основан на различии минералов в определенных свойствах. Чем контрастнее эти различия, тем выше эффективность разделения минералов. Свойства, благодаря которым идет разделение минералов, называются **технологическими** или **разделительными**. К свойствам минералов, положенным в основу разделения, относятся: плотность; смачиваемость водой; магнитная восприимчивость; электропроводность и другие.

Процесс обогащения и качество производимых продуктов можно количественно охарактеризовать рядом технологических показателей: содержание полезного компонента в исходном сырье и продуктах обогащения; выходы продуктов обогащения; извлечение полезного компонента в продукты обогащения; степень сокращения, степень обогащения, эффективность обогащения.

### 1.1. Технологические показатели процесса обогащения

Технологические показатели измеряются в процентах или долях единиц.

**Выход продукта обогащения** определяется как отношение массы продукта обогащения к массе исходного сырья и обозначается греческой буквой  $\gamma$  (гамма) и измеряется в долях единиц или процентах.

$$\gamma_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{исх}}} 100 \%,$$

где  $Q_i$  – масса продукта обогащения (концентрата, отходов или промежуточных продуктов обогащения);  $Q_{\text{исх}}$  – масса исходного продукта.

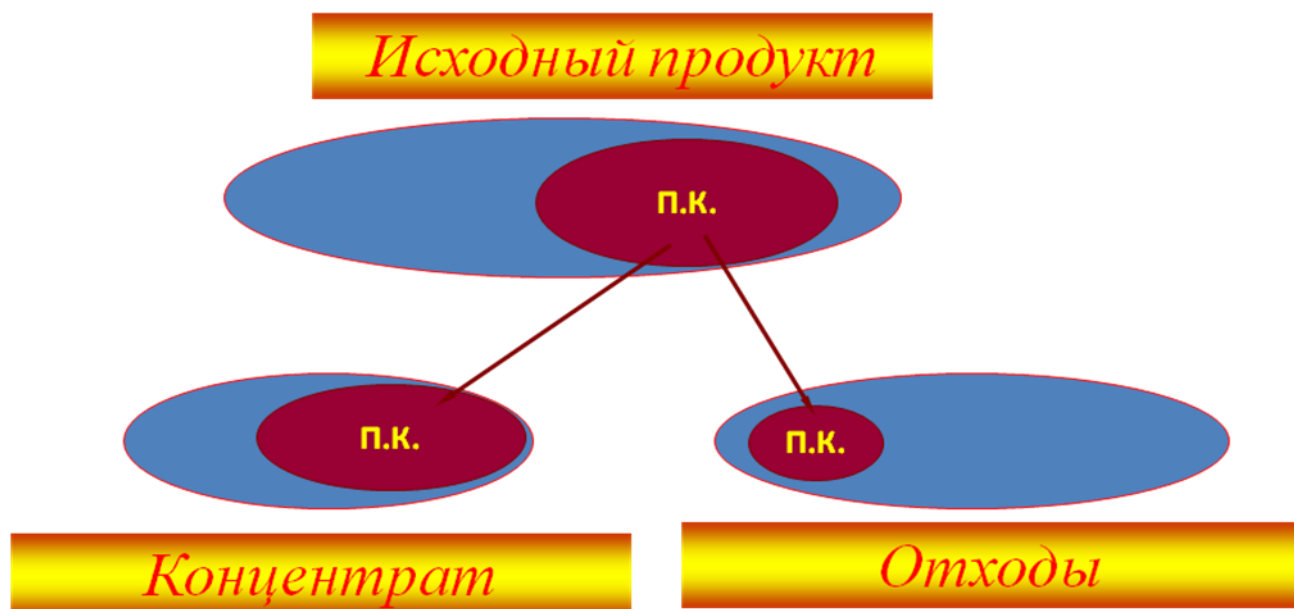
**Содержание полезного компонента** определяется как отношение массы полезного компонента в продукте обогащения к массе продукта обогащения, в котором он находится. Содержание полезного компонента (ПК) обозначается греческой буквой  $\alpha$  (альфа), если речь идет о содержании ПК в исходной руде и  $\beta$  (бета), если отражает содержание ПК в продуктах обогащения.

$$\beta_i = \frac{Q_{\text{ПК}i}}{Q_i} 100 \%,$$

где  $Q_i$  – масса продукта обогащения (концентрата, отходов или промежуточных продуктов обогащения);  $Q_{\text{ПК}i}$  – масса полезного компонента в  $i$ -том продукте обогащения.

Содержание полезного компонента отражает качество продукта. Оно определяется с помощью химического анализа, выражается в процентах или долях единицы (для драгоценных металлов в граммах на тонну (г/т)).

**Извлечение полезного компонента** в продукты обогащения определяется как отношение массы ПК в продукте обогащения к массе этого компонента в исходном продукте. Извлечение измеряется в долях единиц или процентах единицы и обозначается греческой буквой  $\varepsilon$  (эпсилон).



Извлечение полезного компонента в продукт обогащения отражает полноту его перехода в этот продукт.

Технологические показатели обогащения полезных ископаемых взаимосвязаны. Их взаимосвязь можно выразить в балансовых уравнениях. Например, для двух продуктов они имеют вид (для расчетов в %):

$$\gamma_{\text{к}} + \gamma_{\text{отх}} = 100,$$

$$\gamma_K \beta_K + \gamma_{\text{отх}} \beta_{\text{отх}} = 100\alpha$$

$$\varepsilon_K + \varepsilon_{\text{отх}} = 100,$$

$$\varepsilon_i = \frac{\gamma_i \beta_i}{\alpha},$$

для углей:

$$\gamma_K A_K + \gamma_{\text{отх}} A_{\text{отх}} = 100 A_{\text{исх}},$$

$$\varepsilon_i = \frac{\gamma_i (100 - A_i)}{A_i},$$

## 1.2. Технологические схемы обогащения

Графическое изображение последовательности операций переработки полезных ископаемых отображается в технологических схемах обогащения. Обогащительная фабрика имеет одну технологическую схему обогащения, которая может быть представлена в нескольких видах.

**Принципиальная схема** обогащения (рис. 1.2.1.) описывает последовательность обогащительных процессов и наименование конечных продуктов;



Рис. 1.2.1. Принципиальная схема обогащительной фабрики № 2 «Листвянская»

**Качественно-количественная схема** (рис. 1.2.2.) содержит информацию о качественных и количественных изменениях характеристик продуктов полезного ископаемого в процессе переработки по крупности кусков, по содержанию полезного компонента, а также содержит данные о распределении продуктов и полезного компонента по отдельным технологическим операциям в массовом (т/сут, т/ч) и процентном отношениях.

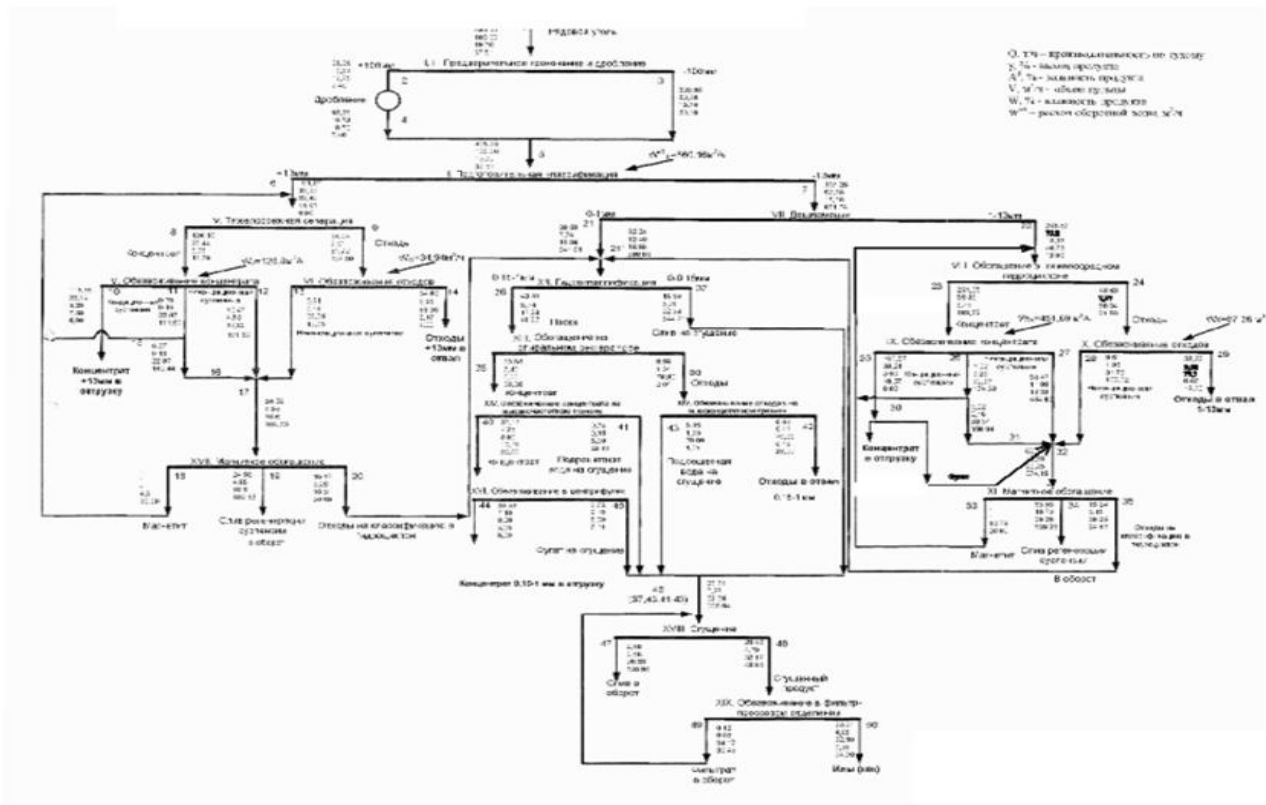


Рис. 1.2.2. Качественно-количественная схема обогатительной фабрики «Спутник» ОАО «Шахта Заречная»

**Водно-шламовая схема** содержит данные о количестве воды ( $m^3/сут$ ,  $m^3/ч$ ) и твердого (т/сут, т/ч) в каждой операции, а также соотношение воды и твердого в продуктах обогащения в виде удельного расхода ( $m^3/т$ ) или в массовых процентах. Качественно-количественная схема может дополняться данными, содержащими информацию по перемещению воды и твердого по технологической схеме фабрики.

**Схема цепи аппаратов** (рис. 1.2.3.) изображает аппараты и транспортные средства с указанием их числа, типа и размера (в экспликации) по всему пути следования продуктов обогащения от по-

ступления исходного сырья на фабрику до выдачи товарного концентрата и отходов.

Пример: Углеобогащительная установка с отсадочной машиной БАТАК®

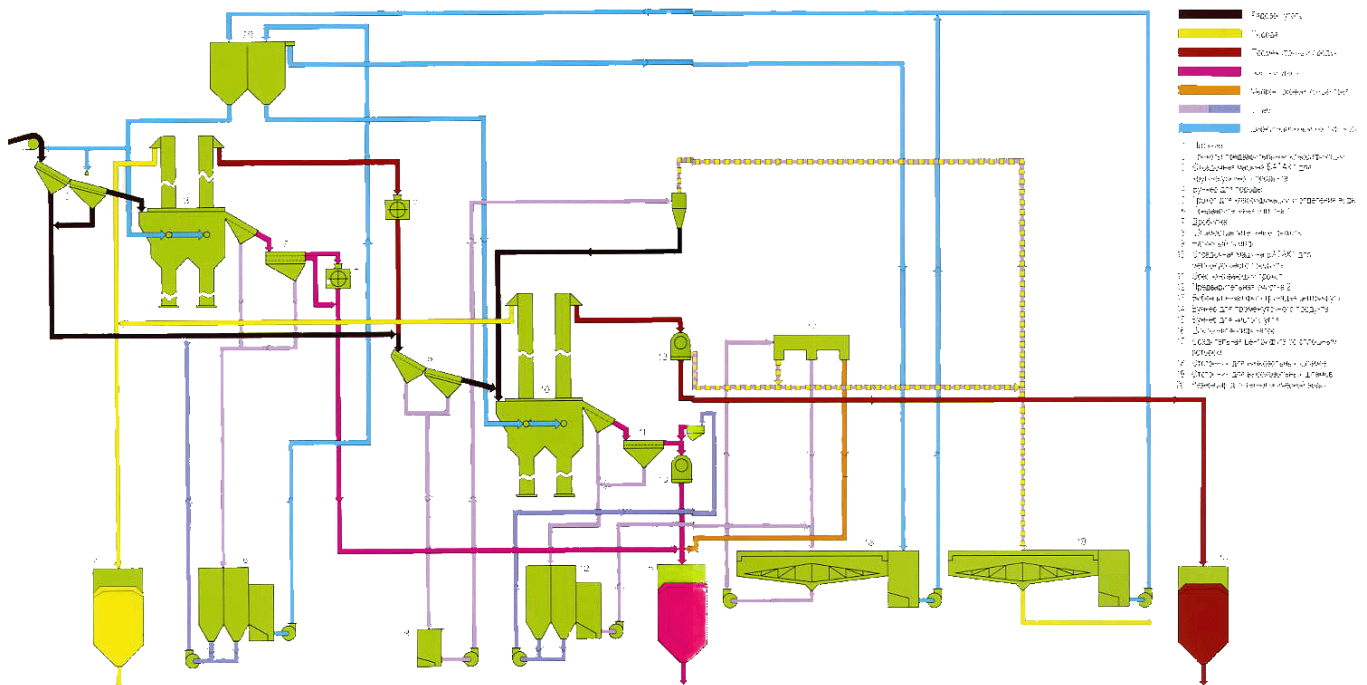


Рис. 1.2.3. Схема цепи аппаратов обогатительной фабрики

**Комбинированные схемы** предусматривают комбинирование операций механического и химико-металлургического обогащения.

### 1.3. Усреднение полезных ископаемых

Обогатительные процессы на фабрике проводятся по одной технологической схеме обогащения с получением концентратов заданного качества, но это возможно лишь тогда, когда поступающий продукт имеет качество, заложенное в «голову» технологической схемы. Однако исходное сырье может поступать на фабрику разного качества. Для того, чтобы полученный продукт выходил с фабрики с заданными показателями качества, необходимо поступающее сырье усреднять по качеству до исходного, соответствующего схеме фабрики.

Процесс *усреднения полезных ископаемых* – это совокупность операций, в результате которых уменьшаются и стабилизируются в определенных пределах амплитудные колебания показателей качества сырья или продуктов обогащения.

Усреднение качества руд и углей положительно сказывается на результатах технологического процесса переработки полезных ископаемых. Этот процесс по ряду показателей осуществляется с момента добычи полезного ископаемого и продолжается в процессе подачи в приемные устройства фабрики.

Однородность руды необходимо обеспечивать по нескольким показателям качества: содержанию компонентов; крупности вкрапленности; минеральной форме зерен полезных компонентов; измельчаемости; вещественному составу рудных минералов и породы, текстурным и структурным особенностям компонентов, составляющих рудные минералы и др.

Усреднению подвергаются руды разного *сорта*.

*Сорт руды* – качественные разновидности руды, перерабатываемые по единой технологической схеме.

*Тип руды* – качественные разновидности руды, требующие особой технологии переработки по разным технологическим схемам.

На каждом месторождении, как правило, выделяется до пяти-шести технологических сортов руды, отличающихся вещественному составу рудных минералов, крупности вкрапленности и другим показателям. Совместное эффективное обогащение разного сорта руд, возможно, только при условии усреднения их качества. Резервировать мощность оборудования на предприятиях на 10-25 % или даже на 2-8 %, необходимого для сглаживания и компенсации колебаний качества руды обходятся дорого для обогатительной фабрики. Неуправляемо большие колебания качества руды наносят значительно больший вред, чем усреднение. Положительным эффектом усреднения является значительное снижение затрат на управление процессом обогащения.

Усреднение качества исходного сырья начинается еще в забоях шахт и продолжается на бункерах обогатительных фабрик, на усреднительных складах, а также на предприятиях, на которые направляются далее продукты обогащения.

### 1.3.1. Методы усреднения

- 1) управление качеством руды во время добычи;
- 2) сортовое усреднение;
- 3) перемешивание.

**Управление качеством руды** во время добычи осуществляется следующим образом:

изменением нагрузки на участок разреза или на забой при добыче руды

управление потоком руды путем изменения очередности подачи ее партий, например, на ленту транспортера или с помощью, так называемого «склада на колесах» – одновременной подачи двух вагонов для погрузки руды с одинаковыми отклонениями показателей качества от планового уровня в обе стороны.

**Сортовое усреднение** (шихтование) – разделение руды по сортам, накопление разных сортов руды и последующее ее дозирование для образования смеси с заданными показателями качества.

**Сортовые аккумуляторы** (рис. 1.3.1.1.) конструктивно представляют собой галерею бункеров, в которой размещены ленточный конвейер, устройства для спуска руды в бункеры с системой датчиков и сбрасывающих устройств. Осуществляется секционная загрузка бункеров различными сортами руды и «послойная» разгрузка в нужной последовательности на общий конвейер.

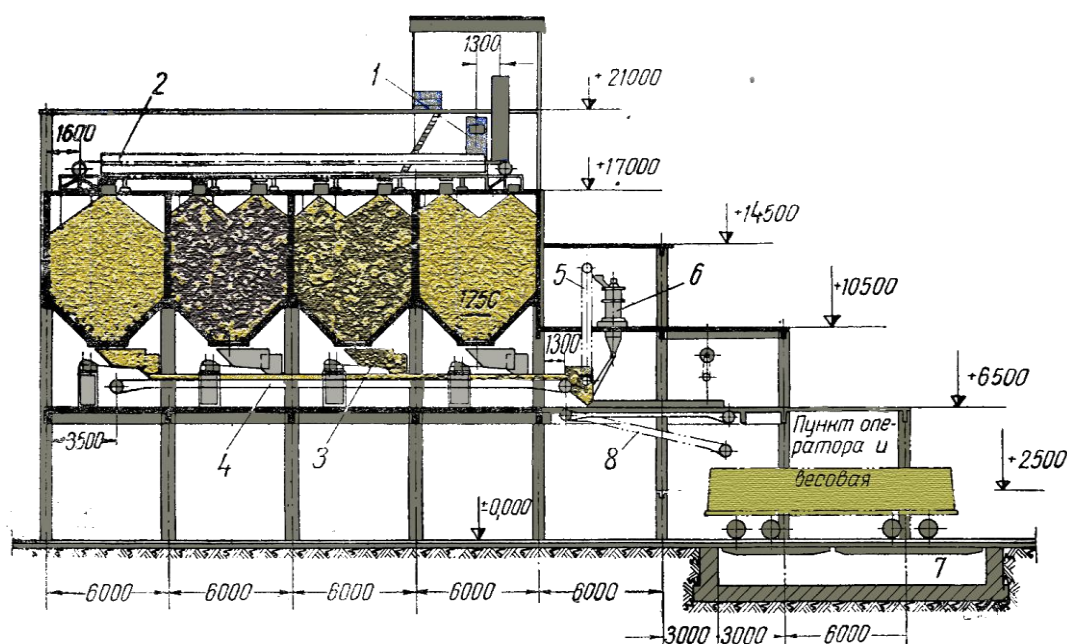


Рис. 1.3.1.1. Сортные аккумуляторы



**Сортовые усреднительные склады** (рис. 1.3.1.2.). Руда, разделенная на условные сорта, усредняется пропорциональным дозированием и смешиванием различных сортов в заданной пропорции. Загрузка сортов руды производится отвалообразователями; разгрузка – весовым дозированием пропорционально доле каждого сорта.

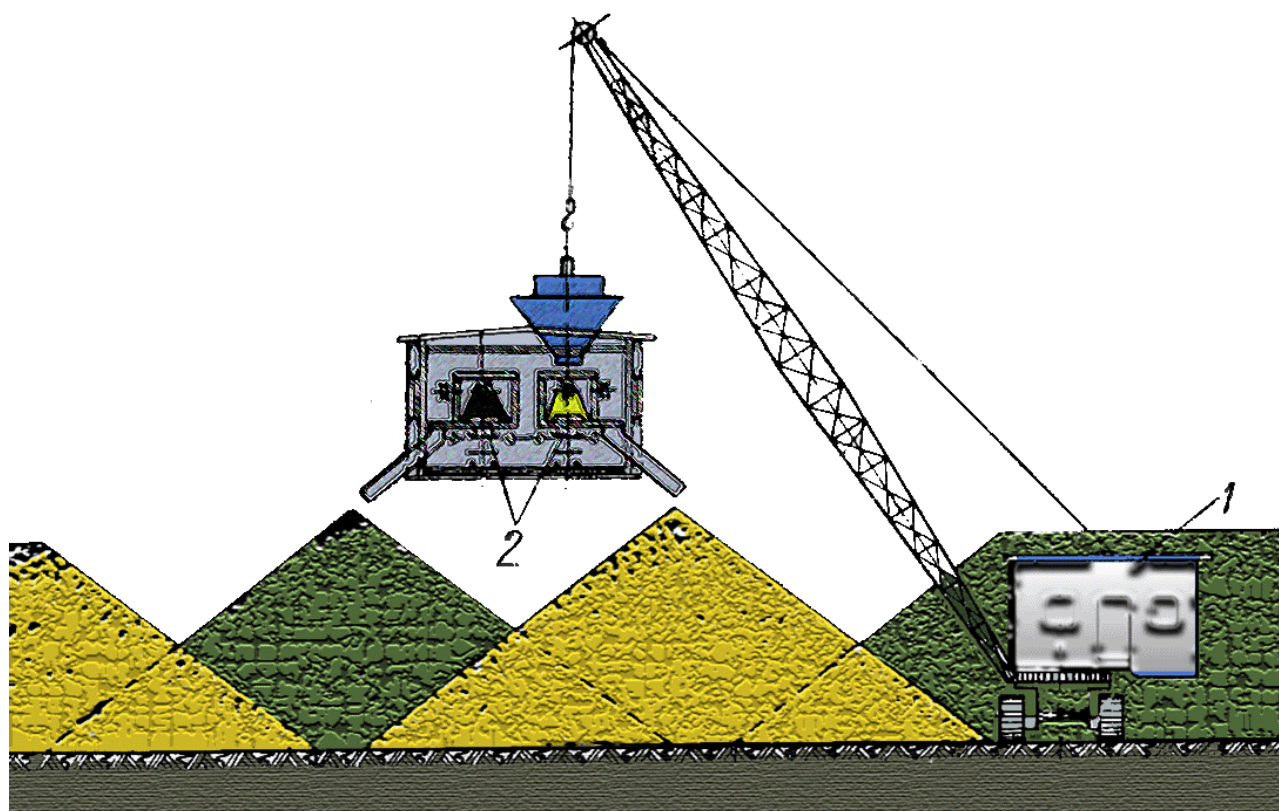


Рис. 1.3.1.2. Сортовой усреднительный склад

**Перемешивание** – деление партии на мелкие порции и смешивание в другой последовательности. Перемешивание производится на усреднительных штабельных складах-смесителях, бункерах-смесителях и на внутрикарьерных складах.

В усреднительные бункеры-смесители (рис. 1.3.1.3.) загрузка сортов руды осуществляется послойно, разгрузка секционная.

На усреднительных штабельных складах-смесителях загрузка различных сортов руды производится штабелеукладчиками тонкими слоями (800-1000 слоев), разгрузка по поперечному сечению.

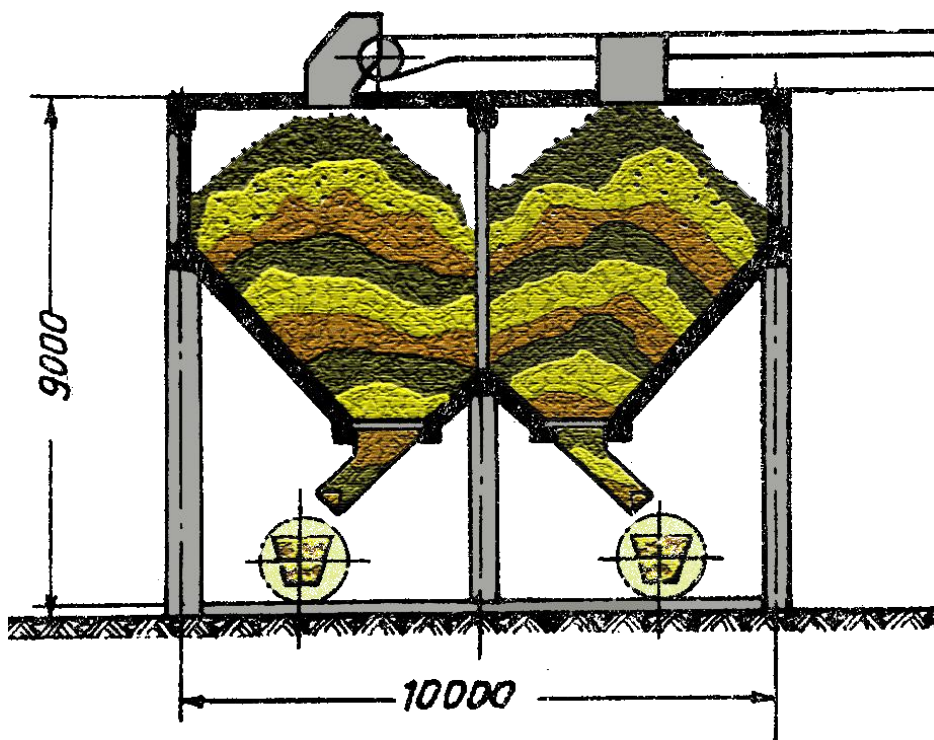


Рис. 1.3.1.3. Усреднительные бункеры-смесители

Усреднение перемешиванием производится и на внутрикарьерных складах. Например, на автомобильных усреднительных складах (рис. 1.3.1.4.), который образуется разгрузкой самосвалов на откос насыпи. В результате формируется совокупность наклонных слоев руды разного сорта. При черпании внахлест напластования слоев происходит усреднение руды в ковше экскаватора.

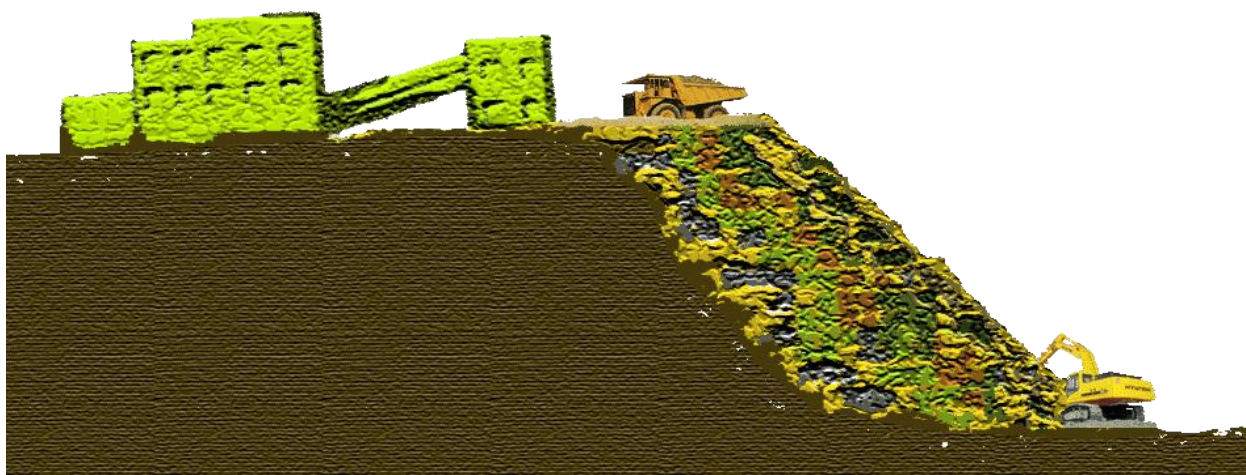


Рис. 1.3.1.4. Автомобильный усреднительный склад

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Дайте определение процессу обогащения полезных ископаемых.
2. Перечислите продукты, получаемые при обогащении сырья.
3. Назовите технологические показатели процесса обогащения.
4. Как определяется выход продукта обогащения, содержание полезного компонента, извлечение ПК в продукт обогащения.
5. Каким образом связаны между собой технологические показатели процесса обогащения?
6. Какие свойства минералов называются технологическими?
7. Назовите основные *разделительные* свойства минералов.
8. Какие технологические схемы обогащения вы знаете?
9. Какое значение имеет усреднение руды при добычи и обогащении полезных ископаемых?
10. Какие методы усреднения вы знаете?
11. Что представляют собой сортовые усреднительные склады и бункеры-аккумуляторы?
12. Что представляют собой усреднительные штабельные склады-смесители и бункеры-смесители?
13. Как осуществляется усреднение на внутрикарьерных складах?

## 2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Операции переработки сырья бывают основные (обогачительные), подготовительные и вспомогательные.

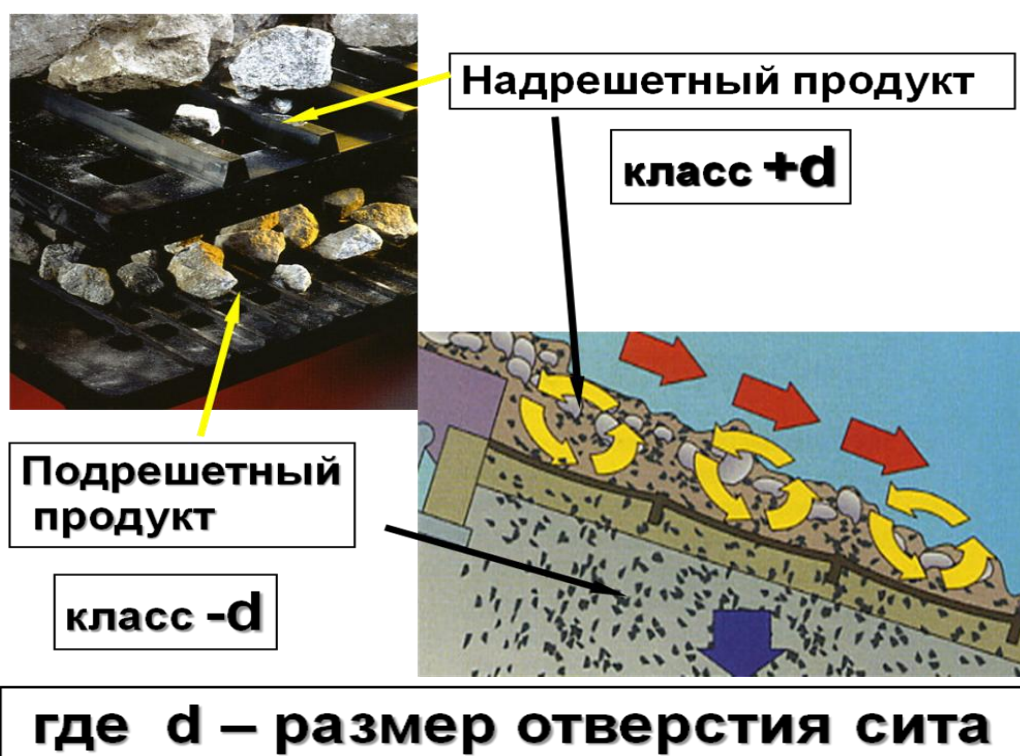
**Подготовительные.** К ним относятся: дробление, измельчение, грохочение и классификация. Они предназначены для раскрытия зерен минералов и образования смеси частиц различного минерального состава, разделения смеси на машинные классы крупности для того, чтобы осуществить их последующее разделение по свойствам.

**Основные:** гравитационные, магнитные, флотационные, электрические, специальные методы обогащения. Предназначены для разделения исходной руды на концентрат и отходы.

**Вспомогательные:** обезвоживание, окускование, классификация на товарные сорта, использование или утилизация отходов. Предназначены для доведения продуктов обогащения до кондиционного состояния.

### 2.1. Грохочение

Грохочение – процесс разделения сыпучего кускового материала на классы по крупности через просеивающую поверхность аппаратов, которые называются грохоты.



Материал, поступающий на грохочение, называется *исходным*. Он разделяется на *надрешетный* продукт, оставшийся на сите и *подрешетный (нижний)*, прошедший через сито. Группа зерен, проходящих через сито с отверстиями  $d_1$  и оставшихся на сите  $d_2$ , составляет класс крупности, размер которого указывают обычно так  $-d_1+d_2$ .

Число классов, получившихся в результате грохочения:  $N+1$ , где  $N$  – количество сит.

Часть мелочи всегда остается непросеянной и от ее количества зависит эффективность грохочения.

**Эффективность грохочения** – извлечение нижнего класса в подрешетный продукт, а именно отношение массы подрешетного продукта к массе нижнего класса в исходном продукте.

$$E = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{ни}}} \cdot 100 \%,$$

где  $Q_{\text{п}}$  – масса подрешетного продукта,  $Q_{\text{ни}}$  – масса нижнего класса в исходном.

Нижним классом называется материал, крупность которого меньше размера отверстия сита грохота.

Массу нижнего класса в любом продукте можно определить тщательным рассевом его на сите с отверстиями той же величины и формы, что и в сите грохота.

Эффективность грохочения по нижнему классу можно выразить через содержание нижнего класса в исходном материале  $\alpha$  и  $\beta$  – содержание нижнего класса в надрешетном продукте.

$$E = \frac{\alpha - \beta}{\alpha(100 - \beta)} \cdot 10^4 \%$$

В некоторых случаях результаты грохочения оценивают по содержанию  $\beta$  – нижнего класса в надрешетном продукте, т.е. по так называемому «замельчению».

### **2.1.1. Факторы, влияющие на производительность и эффективность грохочения**

На производительность и эффективность грохочения оказывают влияние ряд факторов.

**Гранулометрический состав** оказывает большое влияние на грохочение. Очень важно соотношение в пробе количества тех или иных зерен, имеющих определенное отношение к диаметру просеивающей поверхности.

Зерна, которые имеют размеры в диапазоне  $0-0,75$  мм от диаметра отверстия сита, называются *легкогрохочимыми* зернами. Легкогрохочимые зерна, т. е. зерна, диаметр которых меньше, чем три четверти отверстия сита легко проходят в промежутках между крупными зернами к поверхности сита и легко проваливаются через отверстие.

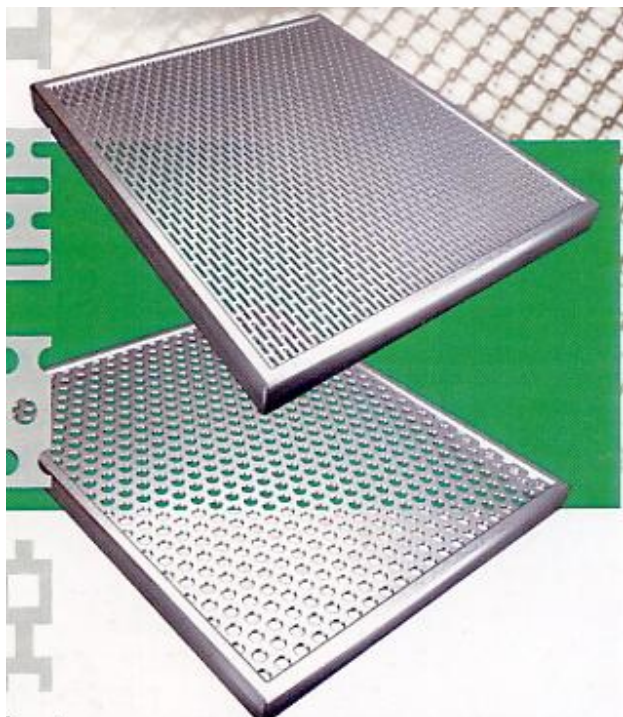
Зерна размером крупнее, чем  $0,75 d$ , но меньше  $d$  – *трудногрохочимые*, проходят с трудом в промежутках между более крупными зернами и через отверстия.

Зерна размерами равные размеру отверстий сита и более до  $1,5 d$  – *затрудняющие*. Они препятствуют прохождению мелких зерен к ситам и легко застревают в отверстиях.

Большое количество трудногрохочимых и затрудняющих зерен уменьшают эффективность грохочения.

**Коэффициент живого сечения** – отношение суммарной площади всех отверстий на просвет к площади сита. Чем больше коэффициент живого сечения, тем больше эффективность грохочения, но меньше износоустойчивость сит.

**Форма** частиц также важна при грохочении. Идеальная форма частиц, при которой эффективность грохочения максимальна – шар.



На грохочение частиц оказывает влияние также форма отверстий просеивающей поверхности. Выбор формы отверстий просеивающей поверхности круглые, квадратные, прямоугольные или щелевидные зависит от крупности продуктов и производительности грохота.

Прямоугольные отверстия такого же размера, что и квадратные, и круглые допускают прохождение зерен более крупных. Квадратные отверстия пропускают на 15-20 % больше крупных частиц, чем круг-

лые такого же размера.

Сита и решета с прямоугольными отверстиями имеют больший коэффициент живого сечения, чем с круглыми или квадратными отверстиями, имеют большую производительность, низкую массу и стоимость, меньше подвергаются забиванию при грохочении влажного материала, но на них нельзя получить точные по размеру зерен классы.

**Влажность** материала оказывает влияние на эффективность грохочения. Для грохочения имеет значение содержание именно внешней влаги – влаги смачивания. Например, угли сложно просеиваются при влажности  $W > 6\%$ , если влага внешняя, а пористые угли даже содержащие до  $45\%$  капиллярной влаги, за счет малой внешней влажности будут просеиваться хорошо.

Мелкие классы руды и углей удерживают большое количество влаги из-за большой удельной поверхности. А угли класса крупности  $+13$  мм, имеющие гидрофобные поверхности даже сушить не надо.

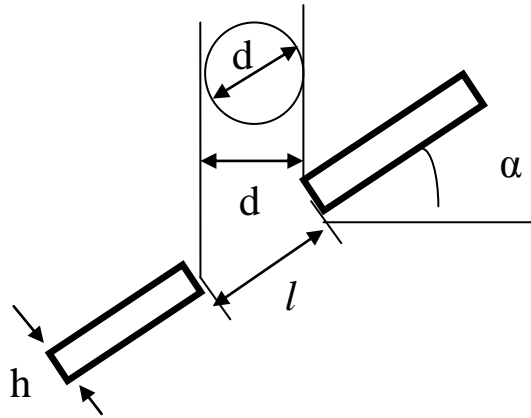
Внешняя влага вызывает слипание материала, залипание отверстий, образует пленки на ситах с мелкими отверстиями, в результате чего, мелочь остается в надрешетном продукте и эффективность грохочения падает.

При **наличии гли**н в исходном продукте приходится проводить



электрический обогрев сит для высушивания или производить грохочение мокрым способом, орошая материал водой. В противном случае глинистые частицы образуют комки и остаются в надрешетном продукте. Производительность грохотов при мокром грохочении возрастает.

**Угол наклона грохота** оказывает влияние, как на эффективность просеивания, так и на производительность грохота. При увеличении угла наклона сита уменьшается верхняя граница диапазона размеров проходящих зерен.



$$d = l \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha.$$

Если  $\alpha = 45^\circ$ , то  $d \approx 0,35l$ , а, значит, максимальный диаметр зерен нижнего класса уменьшится и при  $\alpha = 45^\circ$ , составит 1/3 от размера отверстий сита.

С увеличением угла наклона повышается скорость движения частиц руды, при этом производительность увеличивается, а эффективность падает.

На производительность и эффективность грохочения оказывает влияние **длина просеивающей поверхности**. Чем длиннее грохот, тем дольше частицы находятся на просеивающей поверхности, тем больше вероятность попадания зерен нижнего класса под решето, а значит выше эффективность грохочения.

Чем выше **нагрузка на сито**, тем больше высота слоя и ниже эффективность грохочения.

**Амплитуда колебаний и частота колебаний.** Амплитуда колебаний и частота колебаний – взаимозависимые величины и связаны с мощностью двигателя. При увеличении частоты колебаний поверхности сита увеличивается число контактов зерен с поверхностью, улучшаются условия самостоятельной очистки сита от зерен, застревающих в отверстиях, увеличиваются и производительность и эффективность. Поэтому на обогатительных фабриках все чаще применяются высокочастотные грохоты. Увеличение частоты колебаний ограничивается механической прочностью сита.

**Порядок расположения сит** оказывает влияние на грохочение.

**Каскадное** расположение сит (рис. 2.1.1.1.) (от большего к меньшему) отличается высокой эффективностью просеивания, компактностью, малым шламообразованием, но трудностью наблюдения за си-



тами, узким фронтом разгрузки.



Рис. 2.1.1.1. Грохот с каскадным расположением сит

*Последовательное* расположение сит (рис. 2.1.1.2.) (от меньшего к большему) отличается простотой в обслуживании и замене сит, большим фронтом разгрузки, но высоким шламообразованием, большой изнашиваемостью сит, низкой эффективностью просеивания



Рис. 2.1.1.2. Грохот с последовательным расположением сит

Иногда выгодно использовать смешанное расположение сит, например, перед грохотом с последовательным расположением сит устанавливать сито с крупными ячейками.

Технологическое назначение процесса грохочения различно.

### **2.1.2. Виды грохочения по технологическому назначению**

**Вспомогательное** – выделение кусков определенного класса крупности для последующей их обработки.

Вспомогательное грохочение бывает:

**предварительным** с выделением крупных кусков из основной массы перед дроблением, чтобы не дробить лишнее и

**контрольным (поверочным)**, которое применяется после дробления кусков для контроля крупности дробленого продукта.

**Подготовительное** – предназначено для разделения материала на технологические машинные классы перед обогащением (например, для углей). Разделение на машинные классы необходимо, так как обогатительные аппараты эффективно работают только в определенных диапазонах крупности.

**Окончательное (самостоятельное)**, которое применяется для разделения продуктов обогащения на кондиционные товарные сорта, например, для антрацитов и других энергетических углей, с получением готовой продукции.

**Избирательное** применяется для разделения продуктов на классы не только по крупности, но и по свойствам (процесс, аналогичный обогащению руды).

**Обезвоживающее** применяется с целью отделения продуктов от влаги и шламов после мокрых процессов, а также для отделения суспензии, например, магнетитовой, от продуктов обогащения после обогащения в тяжелых средах.

Различают *сухое* и *мокрое* грохочение. *Мокрое* грохочение применяют на фабриках, где процессы обогащения проводятся в водной среде.

Поскольку, раскрытие зерна полезного компонента зависит от крупности его вкрапленности, а также эффективная работа обогатительных аппаратов возможна лишь в определенных диапазонах крупности кусков руды, то необходимо знать дисперсность исходного продукта и продуктов обогащения.

Для этого определяют гранулометрический состав представительной пробы руды.

**Гранулометрический состав** – количественное распределение материала по классам крупности.

Для определения гранулометрического состава используют ряд методов.

### **2.1.3. Методы определения гранулометрического состава**

- 1) метод непосредственного измерения
- 2) ситовый анализ
- 3) седиментационный анализ
- 4) микроскопический анализ

Для определения гранулометрического состава крупных кусков руды используют метод непосредственного измерения и ситовый анализ.

**Метод непосредственного измерения** используется для крупных кусков руды, например, для определения степени дробления, т. е. изменения крупности кусков в результате дробления. Из представительной пробы отбирают несколько самых крупных кусков до дробления и после дробления. Производят измерения трех максимальных ортогональных размеров и усредняют результаты.

**Ситовый анализ** проводится с помощью рассева материала на стандартных ситах (рис. 2.1.3.1.) с размерами отверстий для руды, в соответствии со шкалой Тейлора: 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0.5 (мм), а для углей: 100, 50, 25, 13, 6, 3, 1, 0.5 (мм).

Последовательный ряд значений размеров отверстий сит называется шкалой классификации. Шкалы классификации различаются между собой различными модулями. Модуль шкалы классификации определяется как отношение размера ячеек предыдущей сетки к размеру ячеек последующей сетки. Модуль шкалы классификации для углей равен двум, а для руд –  $\sqrt{2}$ .



Рис. 2.1.3.1. Стандартный набор сит для ситового анализа

Для определения гранулометрического состава шламовых кусков руды с размерами частиц от 50 мкм и менее используют методы *седиментационного* и *микроскопического анализа*.

**Седиментационный метод анализа** гранулометрического состава руды основан на разделении частиц руды по крупности за счет различия их скоростей падения в средах.

**Микроскопический метод анализа** гранулометрического состава руды основан на визуальном наблюдении и измерении размеров частиц руды под микроскопом.

#### 2.1.4. Методика проведения ситового анализа

Проводится рассев материала на стандартных ситах и взвешивание каждого класса. Результаты взвешивания классов оформляются в виде таблицы (табл. 2.1.4.1.) и заносятся в колонку № 1.

Таблица 2.1.4.1.

Результаты ситового анализа

Класс крупности	Выход		Суммарный выход, %	
	Q, г	γ, %	по «+»	по «-»
+150	401,5	7,3	7,3	100
-150 +100	825,0	15,0	22,3	92,7
-100 +50	742,0	13,5	35,8	77,7
-50 +25	1100,0	20	55,8	64,2
-25 +13	671,0	12,2	68,0	44,2
-13 +6	467,5	8,5	76,5	32,0
-6 +3	467,0	8,5	85,0	23,5
-3 +1	297,0	5,4	90,4	15,0
-1 +0	598,0	9,6	100	9,6
Итого	5499	100		
№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5

В колонку № 2 записываются классы крупности, соответствующие

щие диапазонам размеров групп зерен, составляющих определенный класс. В ячейки колонок № 3 записывается выход каждого класса крупности. Затем рассчитывается суммарный выход по «+» и по «-» и заполняются колонки № 4 и № 5.

Суммарный выход по «+» показывает, какая часть пробы (в процентах) осталась бы на сите, будь оно первым в ряду.

Суммарный выход по «-» показывает, какая часть пробы (в процентах) прошла бы сквозь сито, будь оно последним в ряду.

По данным таблицы строят графики, которые называются суммарными характеристиками крупности. *Суммарные характеристики крупности* (рис. 2.1.4.1.) отражают зависимость между суммарным выходом частиц и размером отверстий сит.

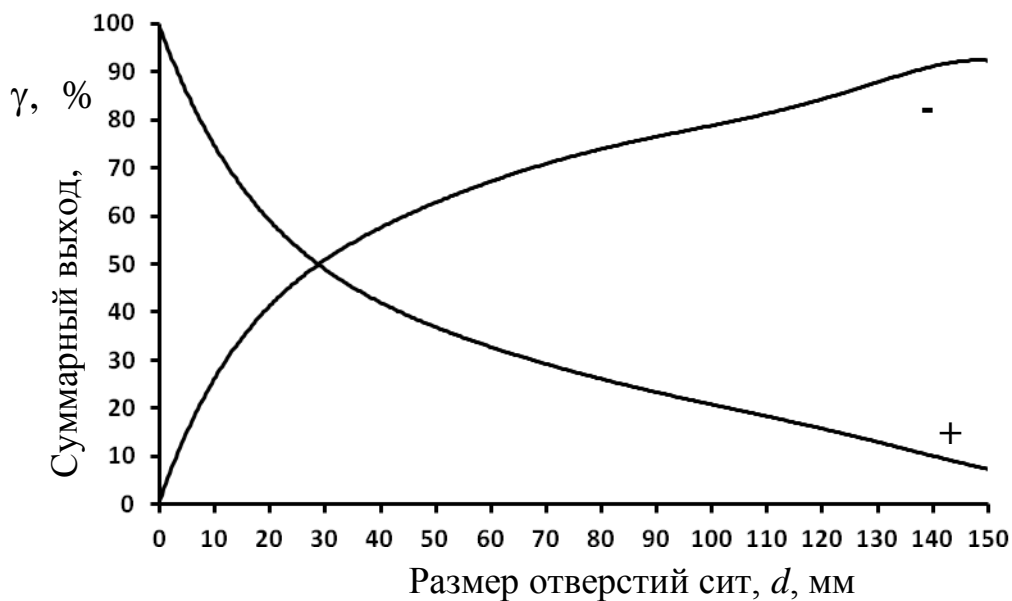


Рис. 2.1.4.1. Суммарные характеристики крупности.

### ***Построение суммарных характеристик крупности***

1. *Построение кривой по «+»:* кривая строится по данным колонки 4 (ось ординат) и плюсовым значениям колонки 1 (ось абсцисс).
2. *Построение кривой по «-»:* кривая строится по данным колонки 5 (ось ординат) и минусовым значениям колонки 1 (ось абсцисс).

### ***Анализ суммарных характеристик крупности***

1. По внешнему виду суммарной характеристики крупности по «+» можно определить преобладание того или иного класса в пробе.

Выпуклая кривая по «+» свидетельствует о преобладании крупных классов. Вогнутая кривая по «+» свидетельствует о преобладании мелких классов. Практически прямая «кривая» по «+» означает, что материал по крупности распределен равномерно.

2. С помощью суммарных характеристик крупности методом интерполяции (рис. 2.1.4.2.) можно определить выход любого класса.

Например, выход класса -85+10 равен

$$\gamma_{-85+10} = 73 - 24 = 49 \text{ \%}.$$

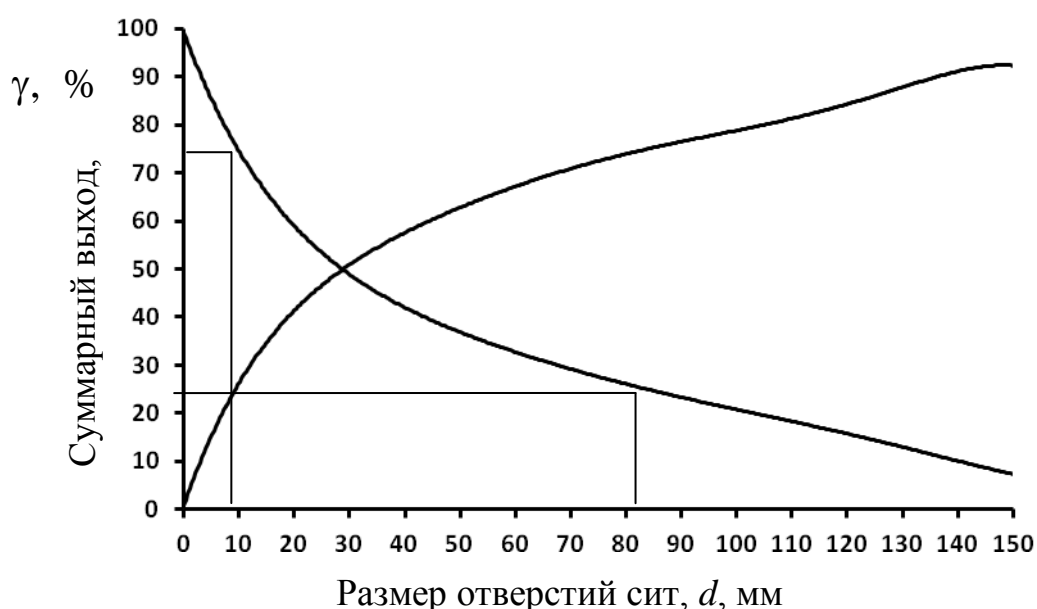


Рис. 2.1.4.2. Определение выхода класса -85+10 методом интерполяции

3. С помощью суммарных характеристик крупности можно определить средний размер куска в представительной пробе, а значит и в исходном материале. Проекция точки пересечения суммарных характеристик крупности по «+» и по «-» на ось абсцисс соответствует среднему размеру куска.

4. С помощью суммарных характеристик крупности можно определить максимальный размер куска в руде. Для этого необходимо экстраполировать кривую по «+» на ось абсцисс. Точка пересечения суммарной характеристики крупности по «+» с горизонтальной осью будет соответствовать условно наиболее вероятному максимальному размеру куска.

## 2.1.5. Грохоты

### 2.1.5.1. Классификация грохотов



*По типу просеивающей поверхности* грохоты классифицируются на аппараты, имеющие колосниковые решетки, решета перфорированные или стальные и с установленными проволочными сетками – ситами.

*Колосниковые решетки* применяют на грохотах в первой или второй стадии для крупного и среднего грохочения по крупности разделения от 50 до 300 мм.

Ширина зазора между колосниками не менее 50 мм. Во избежание забивания делают отверстия, расширяющиеся к низу с трапециевидным профилем. Изготавливают из колосников, а также можно делать из металлических балок, рельсов и т. д.

*Решета* применяют сварные и штампованные (перфорированные) (рис. 2.1.5.1.1.) для крупности разделения от 10 до 100 мм для среднего и мелкого грохочения. В настоящее время получили известность перфорированные решета из высокопрочной Шведской стали ХАРДОКС.

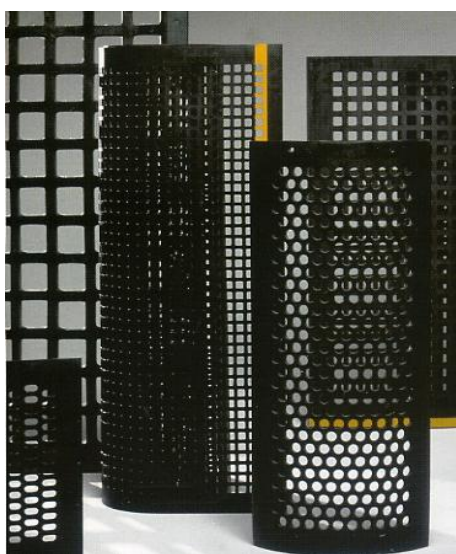


Рис. 2.1.5.1.1. Решета сварные и штампованные

Решета, как правило, имеют срок службы 4-6 месяцев. Для по-

вышения срока их гуммируют или полностью изготавливают из резины и полимерных материалов (рис. 2.1.5.1.2.).



Рис. 2.1.5.1.2. Решета из полимерных материалов

**Сита** – проволочные сетки бывают тканые и плетенные (рис. 2.1.5.1.3.) с отверстиями размером от 100 до 0,04 мм из бронзовой, медной, никелевой проволоки, а также полимерных материалов: резиновые, полиуретановые. В настоящее время можно проводить тонкий рассев в диапазоне от 10 мм до 38 мкм (400 меш), т. е. обесшламливание руды с применением тонкого грохочения, например, на высокочастотном грохоте модели 2SG48-60W-5STK «Стек Сайзер» корпорации Derrick.

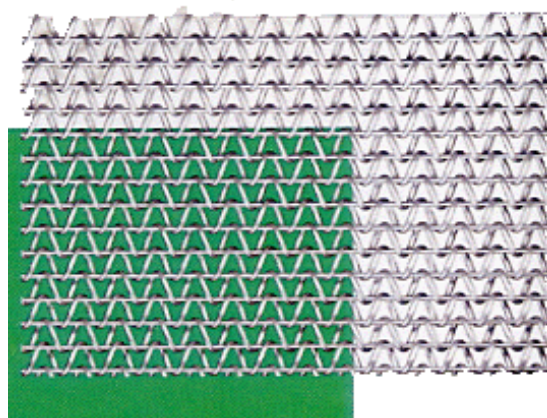


Рис. 2.1.5.1.3. Сита – проволочные сетки – тканые и плетенные

Широко применяются *шпальтовые* сита (рис. 2.1.5.1.4.) – щелевидные проволочные с размерами 200×(0,25-16 мм) из стальной, бронзовой, медной, никелевой проволоки, а также из полимерных материалов.



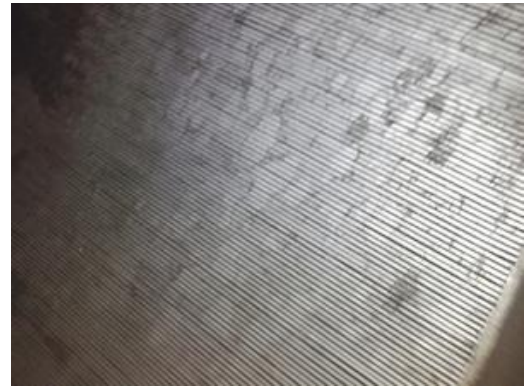
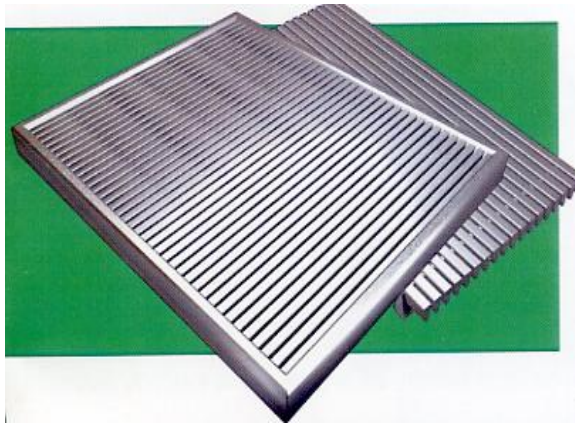


Рис. 2.1.5.1.4. Щелевидные проволочные – шпальтовые сита с прямолинейной и криволинейной поверхностью

**По форме поверхности** они бывают с *криволинейной* поверхностью и с *прямолинейной* поверхностью (рис. 2.1.5.1.4.).

**По способу разрыхления и передвижения материала** грохоты бывают *неподвижного* и механического типа (подвижного).

#### **2.1.5.2. Неподвижные грохоты**

Неподвижные **колосниковые грохоты** – представляют собой короб с колосниковой решеткой и механического типа (подвижного). Колосниковые решетки устанавливают под углом  $40-45^\circ$  для руды и  $30-35^\circ$  для угля. Для влажного материала угол увеличивают на  $5-10^\circ$ .

Преимущество грохота в простоте устройства и обслуживания, отсутствие энергетических затрат. Недостатком является низкая эффективность просеивания –  $50-60\%$ . Поэтому используют для выделения наиболее крупных классов: перед первой стадией дробления. Производительность в среднем:  $60 \text{ т/ч м}^2$ .

**Дуговые грохоты** (рис. 2.1.5.2.1.) предназначены для мокрого грохочения тонкого и мелкого материала ( $0,1-2,5 \text{ мм}$ ), для обезвоживания продуктов.

Дуговые грохоты широко применяются на обогатительных фабриках. Кривизна поверхности способствует появлению центробежных сил и, таким образом, увеличивают эффективность грохочения – до  $90\%$ .



Рис. 2.1.5.2.1. Дуговой грохот ОФ-2 «Листвянская»

Дуговой грохот (рис. 2.1.5.2.2.) состоит из короба (1), внутри которого установлено вертикально дуговое сито (2). Пульпа под напором подается тангенциально внутренней поверхности сита и, таким образом, осуществляются условия для появления центробежных сил. Условия просеивания можно менять напором пульпы и при помощи системы регулирования загрузочной щели (5).

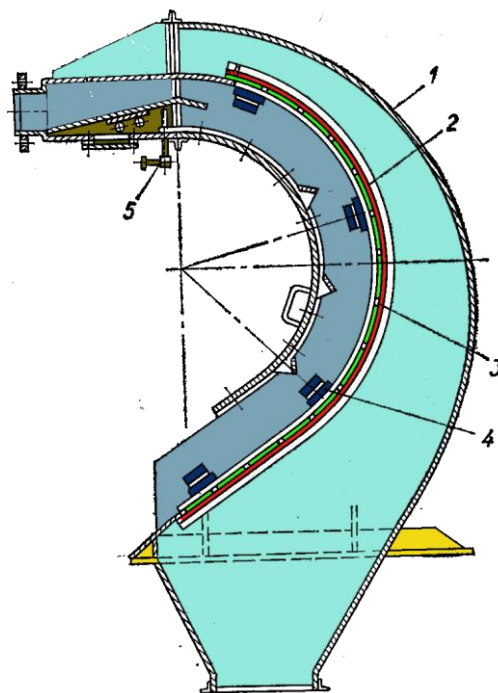


Рис. 2.1.5.2.2. Дуговой грохот  
1 – короб; 2 – полуцилиндрическое сито; 3 – опора из уголков; 4 – деревянные клинья; 5 – система регулирования загрузочной щели

Преимущество заключается также в том, что отсутствуют энергозатраты, поскольку дуговые грохоты неподвижны. Иногда дуговые сита снабжают вибратором типа «Рапифайн».

Недостаток: быстрый износ сита, особенно на абразивных пульпах.

Просеивающая поверхность грохота характеризуется коэффициентом живого сечения – отношением площади всех отверстий сита в свету к общей его площади.

Компания «Механобр-техника» выпускает *плоские гидравлические грохоты* с эластичным синтетическим ситом ГСС-0,8, ГСС-1,25 – для грохочения в потоке пульпы материалов крупностью до 3 мм по крупности разделения 0,07-1,0 мм.

Широко применяются **конусные** грохоты-сито (рис. 2.1.5.2.3.) (имеется их разновидность – цилиндрические) с размером отверстий 0,5-1,0 мм. Они аналогичны дуговым по принципу действия. Поверхность – шпальтовые сита. Пульпа подается под напором по касательной к верхней конической или цилиндрической части грохота.



Рис. 2.1.5.2.3. Конусный грохот ГК-1,5ЛИ  
Луганского машиностроительного завода

### **2.1.5.3. Грохоты механического типа**

**Валковые грохоты** (рис. 2.1.5.3.1.) предназначены для просеивания неметаллических ископаемых с верхней границей до 300 мм. Поверхность грохота представляет собой ряд параллельных вращающихся валков. Грохот устанавливается под наклоном  $-12-15^\circ$ . На валки насажены эксцентрично диски, образующие просеивающую поверхность с постоянно меняющимися свое положение отверстиями при вращении валков.



Рис. 2.1.5.3.1. Валковый (роликовый) грохот

Достоинства грохота состоит в невозможности заклинивания отверстий частицами из-за постоянной смены их положения. Недостатки: большой вес грохота, невозможность грохочения глинистых руд.

**Барабанные грохоты** (рис. 2.1.5.3.2.) предназначены для разделения потока рудного материала на фракции заданных размеров. Область размеров частиц, подвергаемых грохочению довольно широка от 3 до 300 мм за счет сменных просеивающих плит. Поверхности барабанных грохотов могут быть цилиндрические или конические. Ось под наклоном  $4-7^\circ$  для цилиндрического грохота, а для конического – горизонтальна.



Рис. 2.1.5.3.2. Барабанный грохот Lindemann

Интересны барабанные грохоты Lindemann благодаря высокой эффективности просеивания в результате каскадного движения материала.

Достоинства: простота конструкции и обслуживания, возмож-

ность мокрого грохочения сильноглинистых материалов за счет самоочистки просеивающих экранов в процессе непрерывного вращения барабана, отсутствие вибраций.

Недостатки: низкая производительность и эффективность.

**Плоские качающиеся** – самые простые по конструкции грохоты. Применяются на малых предприятиях. Крупность частиц подвергаемых грохочению 1-350 мм, оптимальная крупность 40-50 мм. Предназначены для разделения на классы крупности углей и неметаллических полезных ископаемых. Угол наклона  $\alpha = 8-12^\circ$ , монтируется на упругих опорах или подвесах. Движения в процессе грохочения возвратно-поступательные за счет вращения эксцентрикового вала.

**Инерционные грохоты** имеют простейшее устройство (рис. 2.1.5.3.3.) и предназначены для грохочения углей и руд, обезвоживания, обесшламливания, отмыва суспензии от продуктов обогащения. Они очень распространены в сфере обогащения углей. Крупность кусков обычно не больше 160 мм. Короб (1) имеет наклон под углом  $\alpha = 25^\circ$ . Колебания совершаются под действием неуравновешенных масс дебалансов (2), установленных на валу. Пружины амортизатора (3) уменьшают динамические нагрузки на раму грохота (5) и перекрытия здания.

Достоинства: простота конструкции и эксплуатации, надежность, высокая производительность и эффективность, малый расход энергии. Недостатком является зависимость амплитуды колебания от нагрузки и то, что требуется установка амортизаторов для уменьшения нагрузки и вибрации на раму грохота и перекрытия здания.

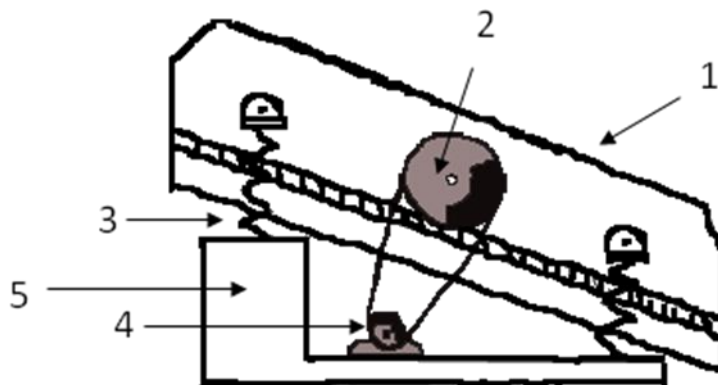


Рис. 2.1.5.3.3. Схема устройства инерционного грохота.

1 – короб с ситами; 2 – дебалансный вибратор; 3 – пружины амортизатора; 4 – привод клиноременной передачи

Типы: ГИЛ, ГИС, ГИТ – грохоты инерционные легкого, среднего и тяжелого исполнения, соответственно. Применение в зависимости от исполнения: ГИЛ – грохочение углей (до 1 т/м<sup>3</sup>), ГИС – грохочение нерудных материалов, ГИТ – грохочение руд; для предварительного разделения сырья по крупности.

**Самобалансные грохоты** (рис. 2.1.5.3.3.) применяются: для обезвоживания, обесшламливания, грохочения влажных, глинистых материалов и отмывки утяжелителя (отделение тяжелой суспензии от продуктов обогащения).

Грохот с самобалансным вибратором состоит из короба с ситами (1), установленного или подвешенного с помощью пружин амортизаторов (2) к опорной конструкции.

Дебалансный вибратор (3) установлен таким образом, что встряхивания производятся под углом 45-50° к плоскости сита навстречу продвижению материала. Колебания короба под углом к плоскости сита обеспечивают движение материала с подбрасыванием и встряхиванием.

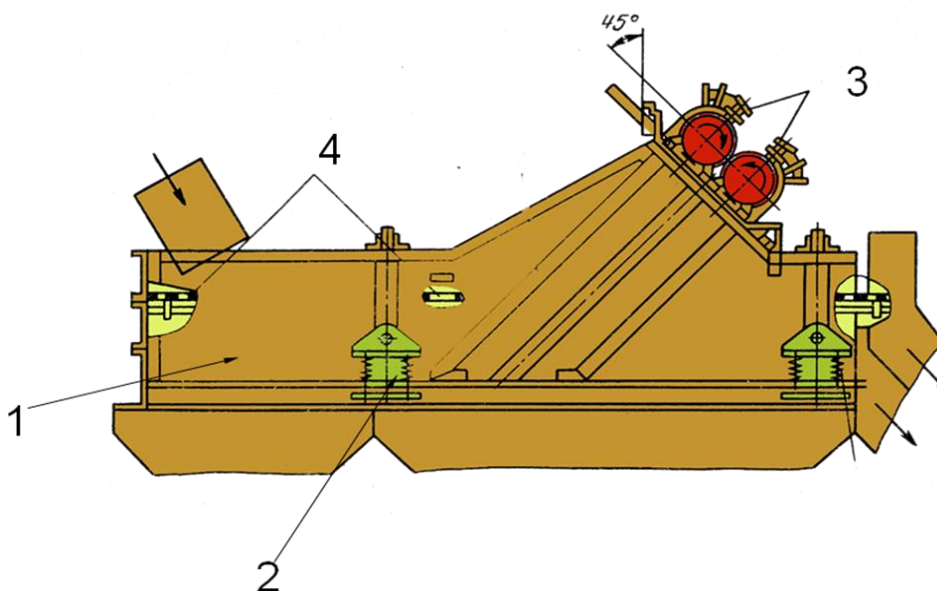


Рис. 2.1.5.3.3. Схема устройства инерционного грохота с самобалансным самосинхронизирующимся вибратором.

1 – короб с ситами; 2 – пружины амортизатора; 3 – дебалансный вибратор; 4 – сито

За счет самобалансных вибрирующих устройств колебания пере-

даются поверхности сита, но не передаются на раму грохота и перекрытия. Это достигается за счет особой конструкции вибратора. Самобалансный вибратор состоит из двух одинаковых дебалансов, вращающихся на параллельных валах с одинаковой скоростью в противоположные стороны. Величина равнодействующей силы в результате вращения дебалансов изменяется по величине от 0 до  $2P_0$  (рис. 2.1.5.3.4.).

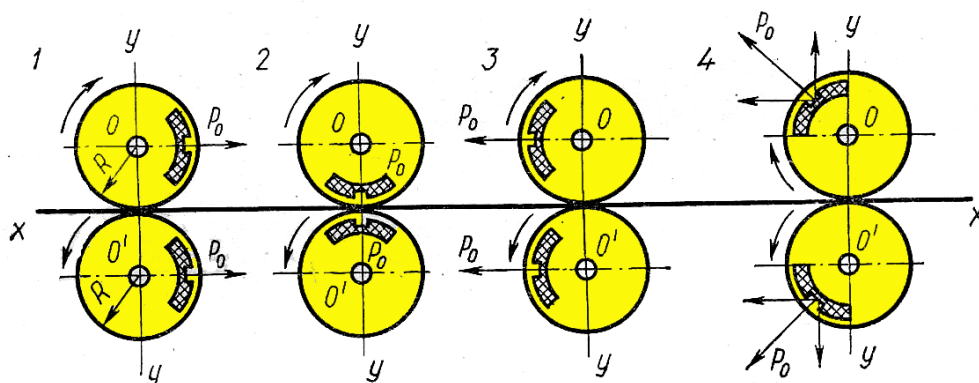


Рис. 2.1.5.3.4. Схема действия самобалансного вибратора

В любом положении дебалансов составляющие сил инерции, действующие вдоль оси  $y$ , уравниваются. Если в этом направлении находится рама грохота, то вибрация на нее передаваться не будет. В позициях 1 и 3 осуществляется максимальный толчок в направлении оси  $x$ .

Достоинства грохотов такого типа – малая высота, простота конструкции, надежность в работе, высокое качество сортировки при большой производительности, существенное уменьшение передачи вибраций на перекрытия здания и раму грохота, возможность грохочения влажных, глинистых материалов.

Площадь грохочения – от  $1,28 \text{ м}^2$  до  $12,5 \text{ м}^2$ , размеры отверстия сита – от 4 до 100 мм.

Типы грохотов: ГСЛ, ГСС, ГСТ – грохот самобалансный легкого, среднего и тяжелого исполнения, соответственно. Очень часто применяемый грохот на углеобогатительных фабриках – ГИСЛ инерционный с самобалансным самосинхронизирующимся вибратором.

**Резонансные грохоты** (рис. 2.1.5.3.5.) применяются для классификации и обезвоживания полезных ископаемых

Грохот состоит из двух масс: коробка (4) с ситами и подвижной

рамы (1), которые связаны между собой плоскими рессорами (5), пружинными опорами (6) и резиновыми буферами (7). Рама установлена на амортизаторах (8), которые гасят динамические нагрузки на опоры. При наклонной установке грохота применяются поддерживающие пружины (9). Эксцентриковый привод (2) установлен на раме с загрузочной стороны грохота и приводится во вращение от электродвигателя (10) посредством клиноременной передачи (11). Шатун привода имеет упругое резиновое соединение (3) с коробом. При наклонной установке грохота применяются поддерживающие пружины (9). Эксцентриковый привод (2) установлен на раме с загрузочной стороны грохота и приводится во вращение от электродвигателя (10) посредством клиноременной передачи (11). Шатун привода имеет упругое резиновое соединение (3) с коробом.

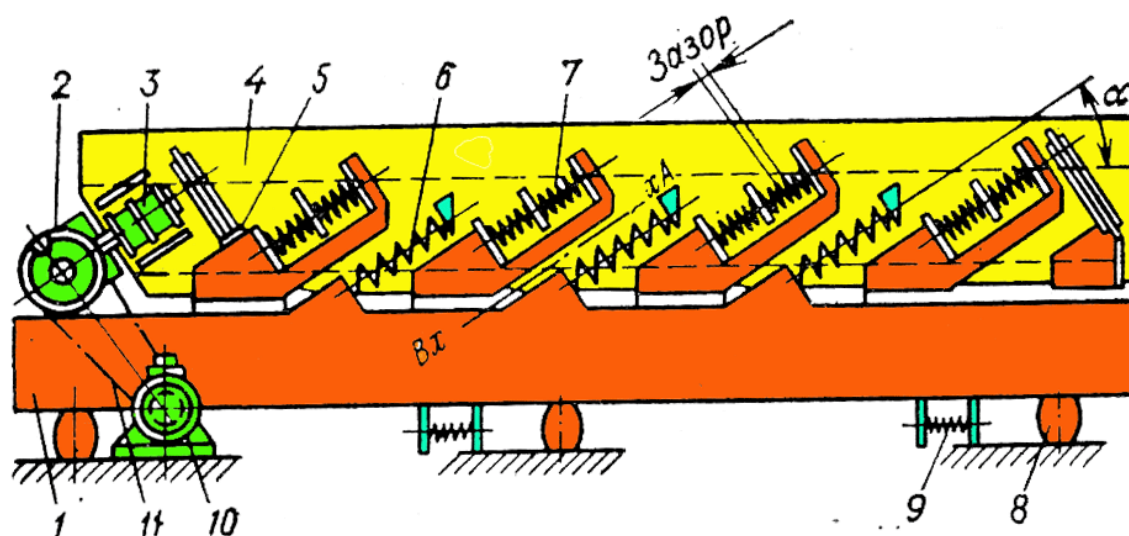


Рис. 2.1.5.3.5. Схема резонансного грохота.

1 – рама грохота; 2 – эксцентриковый приводной механизм; 3 – упругое резиновое соединение; 4 – короб; 5 – плоские рессоры; 6 – пружинные опоры; 7 – буфера; 8 – амортизаторы; 9 – пружины; 10 – электродвигатель; 11 – ременная передача

Плоские рессоры (5) обеспечивают направленные прямолинейные колебания рамы и короба под углом  $\alpha$  к плоскости сита. Режим колебания грохота регулируется изменением частоты вращения вала сменной шкивов клиноременной передачи и изменением зазора между буферами (7).

Частота колебаний настраивается в диапазоне: 550-620 об/мин.

Резонансные грохоты с электромагнитным вибровозбудителем – высокочастотные. Электромагнитный вибровозбудитель имеет возможность плавной регулировки амплитуды вибраций. Когда собственная частота колебаний становится равной вынужденной частоте, возникает резонансный режим. При режимах работы, близких к резонанс-



ному, увеличивается амплитуда колебаний при тех же энергетических затратах, а также производительность и эффективность грохота.

Достоинства: требует меньшей мощности из-за резонансного режима (энергия привода не тратится на сообщение кинетической энергии движущимся массам), можно изготавливать большие размеры сит – 10-20 м<sup>2</sup>.

Недостатки: сложность конструкции.

Грохоты механического типа (подвижного) бывают различных типоразмеров.

**Типоразмеры грохотов** имеют наименования, состоящие из букв и цифр. Первая означает Г – грохот, вторая – тип: Г – гирационный, И – инерционный, С – самобалансный, Р – резонансный, третья – исполнение: Л – легкий до 1,4 т/м<sup>3</sup>, С – средний 1,6 т/м<sup>3</sup>, Т – тяжелый 2,0 ÷ 2,8 т/м<sup>3</sup>. Цифры означают: первая – ширину просеивающей поверхности: 1 – 0,75 м, 2 – 1 м, 3 – 1,25 м, 4 – 1,5 м, 5 – 1,75 м, 6 – 2 м, 7 – 2,5 м, 8 – 3,0 м, вторая – число сит.



Например, ГИСЛ-82А – грохот инерционный легкого исполнения двухситный с шириной просеивающей поверхности – 3,0 м (буквы за цифрами означает определенную модификацию конструкции грохота).

### ***Практическое задание***

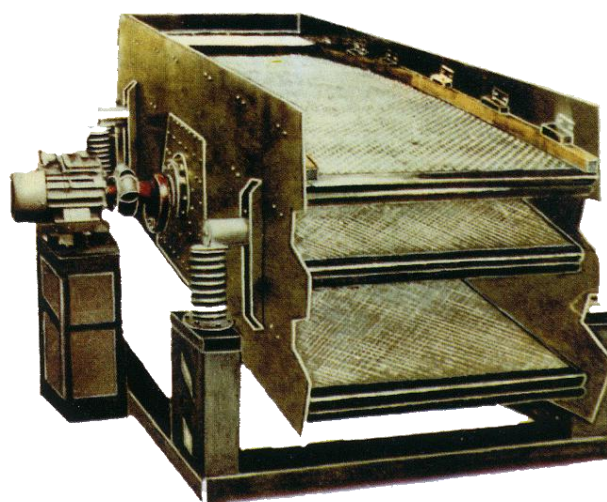
Произведите расшифровку наименования типоразмеров грохотов:

1)



ГИЛ-42К

2)



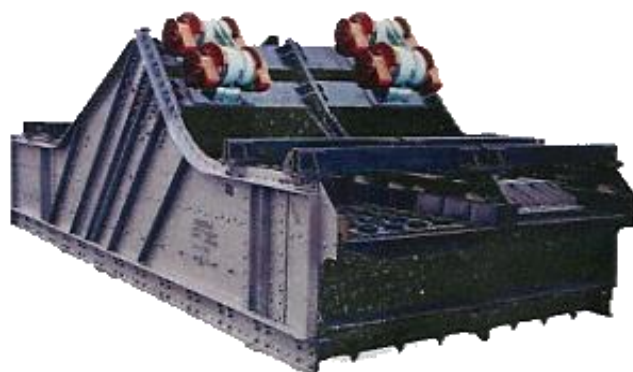
ГИЛ-43А

3)



ГИСЛ-62УК

4)



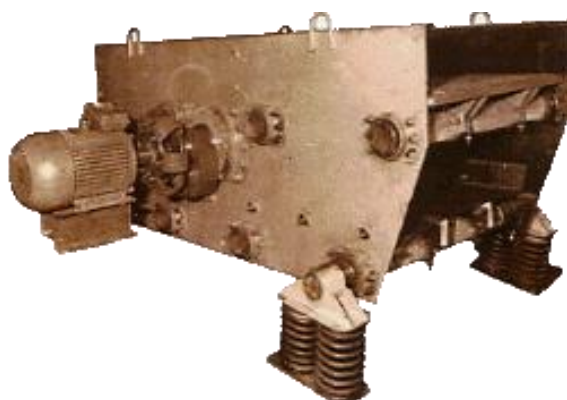
ГИСЛ-82АК

5)



ГИТ 51

6)



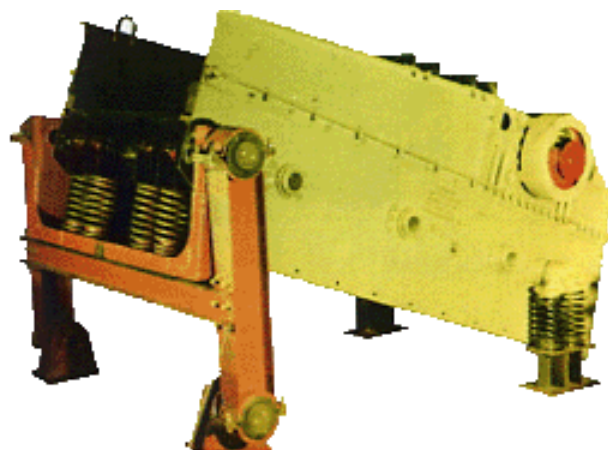
ГИТ-32М

7)



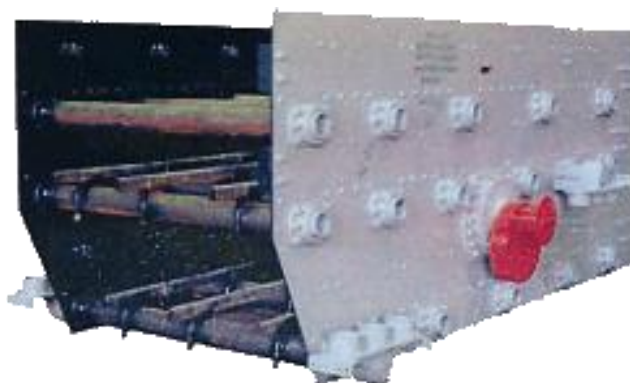
ГИТ-41Б

8)



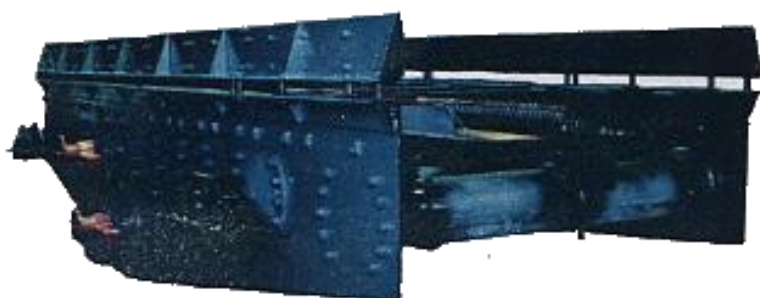
ГИТ-42А

9)



ГИТ-53П

10)



ГСТ-62С

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назовите процессы, необходимые для подготовки материала к обогащению.
2. Что представляет собой процесс грохочения сыпучего кускового материала?
3. Как называются продукты, поступившие и полученные в результате грохочения?
4. Как обозначается класс крупности?
5. Назовите число классов, получившихся в результате грохочения в зависимости от количества сит.
6. Как определяется эффективность грохочения?
7. Как можно выразить эффективность грохочения через содержание нижнего класса в надрешетном продукте?
8. Назовите ряд факторов, которые оказывают влияние на производительность и эффективность грохочения.
9. Как влияет на эффективность грохочения гранулометрический состав?
10. Что такое коэффициент живого сечения, и какое влияние он оказывает на эффективность грохочения?
11. Какое влияние оказывает на эффективность грохочения форма частиц и отверстий сита?
12. Как влияет на эффективность грохочения влажность материала и наличие глины?
13. Какое влияние оказывает угол наклона грохота на эффективность и производительность грохочения?
14. Как влияет на эффективность и производительность грохочения длина просеивающей поверхности, частота колебаний сита и нагрузка на него?
15. Как влияет порядок расположения сит на эффективность грохочения, шламообразование и изнашиваемость сит?
16. Какие виды грохочения по технологическому назначению вы знаете?
17. Дайте определение понятию гранулометрического состава и назовите методы его определения.
18. Что такое модуль шкалы классификации?
19. Какие бывают грохоты по типу просеивающей поверхности, по форме поверхности, по способу разрыхления и передвижения материала?

20. Какие вы знаете подвижные и неподвижные грохоты?
21. Опишите область применения, устройство, принцип действия колосниковых грохотов, их достоинства и недостатки.
22. Назовите область применения, устройство, принцип действия дуговых и конусных грохотов, их достоинства и недостатки.
23. Назовите область применения, устройство, принцип действия валковых грохотов, их достоинства и недостатки.
24. Назовите область применения, устройство, принцип действия барабанных грохотов, их достоинства и недостатки.
25. Опишите область применения, устройство, принцип действия инерционных грохотов, их достоинства и недостатки.
26. Опишите область применения, устройство, принцип действия самобалансных инерционных грохотов, их достоинства и недостатки, особенности и принцип действия самосинхронизирующегося вибратора
27. Назовите область применения, устройство, принцип действия резонансных грохотов, их достоинства и недостатки.

## 2.2. Классификация

Классификация - процесс разделения смеси минеральных зерен на классы различной крупности по скорости их падения в водной или воздушной средах.

Принцип разделения заключается в том, что частички более крупные оседают из пульпы быстрее, чем мелкие и концентрируются в нижней части классификатора. Для оседания маленьких частичек необходимо больше времени, и они выносятся из аппарата вместе с пульпой.

Продукт классификации, состоящий из крупных частиц, называется *песками*, а из мелких – *сливом* (при гидравлической классификации) или тонким продуктом (при пневматической классификации).

Верхний предел крупности частиц в процессе классификации – 5 мм для руд, 13 мм для углей. Но чаще классификация используется для разделения очень мелких зерен размером не более 1 мм.

Классификация осуществляется в специальных аппаратах называемых *классификаторами*.

По *типу среды* можно выделить разделение на классы в водной (жидкой) среде – *гидроклассификацию* и в воздушной среде – *воздушную сепарацию* (рис. 2.2.1.).

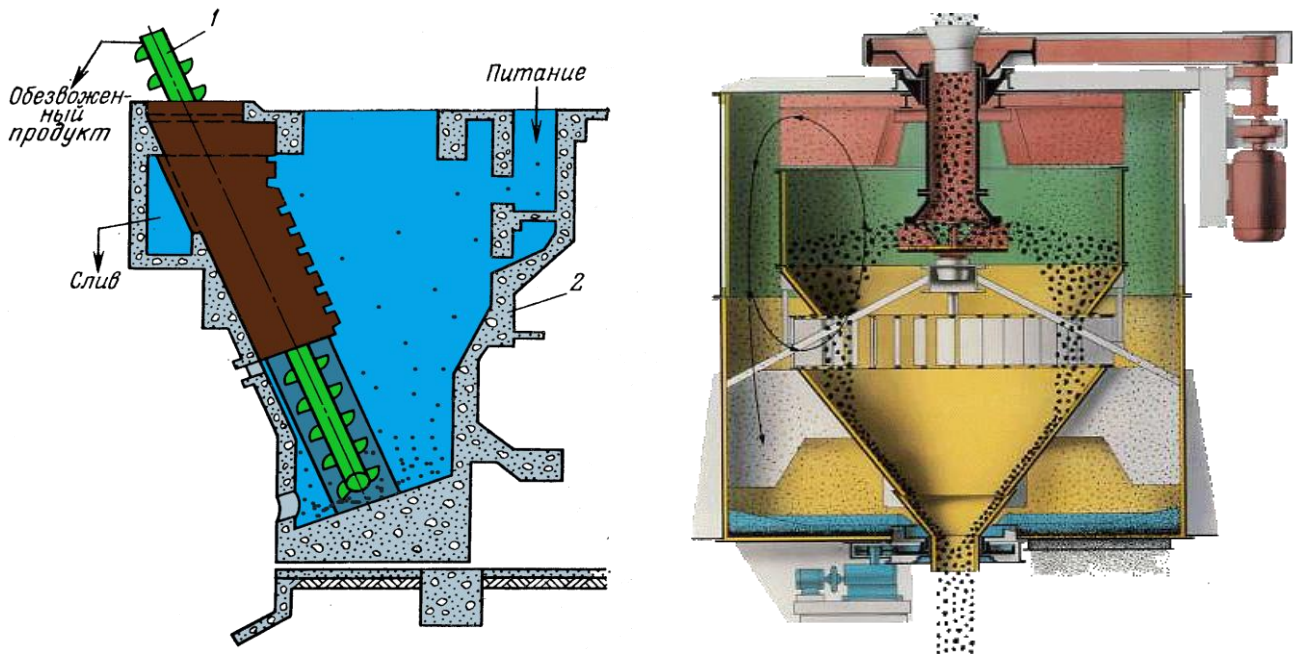


Рис. 2.2.1. Механический элеваторный классификатор и воздушный сепаратор

По *способу разделения частиц*: в *вертикальном потоке* – разделение в потоке, совпадающем по направлению действия сил (тяжести, выталкивающей, сопротивления среды) или противоположно направленном; и в *горизонтальном потоке* – разделение в потоке, направление которого перпендикулярно действующим силам или под углом по отношению к линии их действия.

По *типу операций* (по назначению) классификация может быть: *подготовительной* – для выделения машинных классов перед обогащением на концентрационных столах, спиральных сепараторах; *самостоятельной* – с получением готового продукта, например, отделить глину от песка; *вспомогательной* – используется в схемах измельчения руд, обесшламливания пульп перед флотацией.

Эффективность процесса классификации возрастает при низкой нагрузке и более разжиженных пульпах.

### 2.2.1. Классификаторы

Классификаторы по принципу действия подразделяются на *механические*: речные, чашевые, спиральные, элеваторные; *гидравлические*:

*ские*: конусные, пирамидальные, многокамерные; *центробежные*: гидроциклоны, осадительные центрифуги, воздушные сепараторы.

**Механические спиральные классификаторы** (рис. 2.2.1.1.) применяются на руднообогатительных фабриках.



Рис. 2.2.1.1. Механический спиральный классификатор с непогруженной спиралью

Спиральные классификаторы бывают с погруженной спиралью (рис. 2.2.1.2.а) для получения тонкого слива более 85%, класса 0,074 мм (200 меш) и с непогруженной спиралью (рис. 2.2.1.2.б) для получения грубого слива по крупности разделения 0,2 мм и более. Эффективность классификации 35-65%.

Спиральные классификаторы изготавливают с диаметром спирали до 3 м и длиной до 15,5 м, устанавливают под наклоном 12-16°. Исходную пульпу заливают в среднюю часть ванны. Крупные частицы руды оседают на дно и образуют слой осевшего непрерывно транспортируемого вращающимся шнеком материала (песков). На дне всегда остается слой неподвижного слежавшегося материала (осевшего). Он предохраняет от износа корпус при движении шнека.



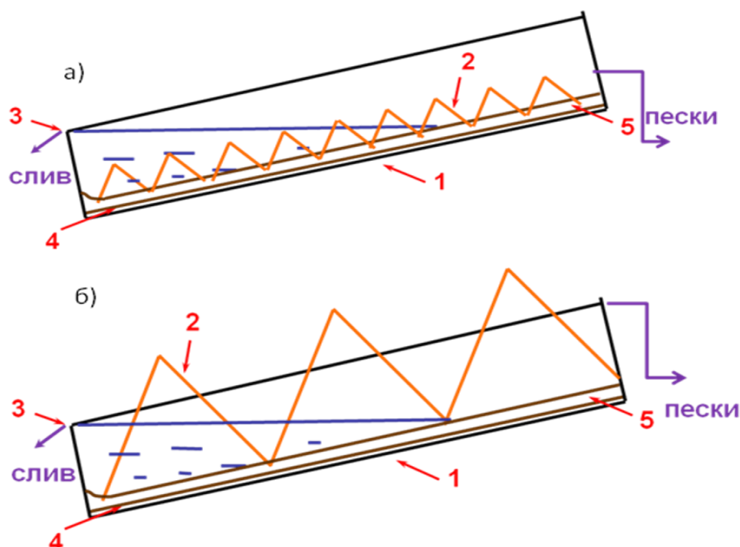


Рис. 2.2.1.2. Схемы механических спиральных классификаторов:

а) с погруженной спиралью, б) с непогруженной спиралью.

1 – полуцилиндрическая наклонная ванна; 2 – спираль (вращающийся шнек); 3 – сливной порог; 4 – слой неподвижного слежавшегося материала; 5 – слой осевшего крупного материала (песков)

Достоинства классификатора – простота конструкции, обслуживания, дешевизна. Недостатки – получением песков со значительным содержанием шламов.

Эффективность классификации 35-65 %.

Производительность спиральных классификаторов с не погруженной спиралью может быть определена:

$$1) \text{ по сливу: } Q_{\text{сл}} = 4,55 \cdot m \cdot K_{\alpha} \cdot K_{\delta} \cdot K_{\beta} \cdot K_c \cdot D^{1.765}, \text{ т/ч;}$$

$$2) \text{ по пескам: } Q_{\text{п}} = 5,45 \cdot m \cdot K_{\alpha} \cdot K_{\delta} \cdot D^3 \cdot n, \text{ т/ч,}$$

где  $m$  – число спиралей классификатора;  $n$  – частота вращения спирали ( $\text{мин}^{-1}$ );  $K_{\alpha}$  – поправочный коэффициент на заданную плотность слива;  $K_{\beta}$  – поправочный коэффициент на крупность слива;  $K_{\delta}$  – поправочный коэффициент на плотность материала;  $K_c$  – поправочный коэффициент на угол наклона днища;  $D$  – диаметр спирали.

**Классификатор элеваторный** (рис. 2.2.1.3.) (багер-зумпф) применяется в основном на углеобогатительных фабриках для классификации и первого этапа обезвоживания мелкого угольного концентрата. Граничная крупность разделения – 0,5 мм. Размер классификатора 6×6 м.

Элеваторный классификатор имеет специальное приемное устройство, из которого пульпа равномерно распределяется по всей ширине классификатора. Эффективная классификация материала происходит при удельной производительности не выше 25-30 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади поверхности классификатора при концентрации твердого материала не более 120-150 г/л.

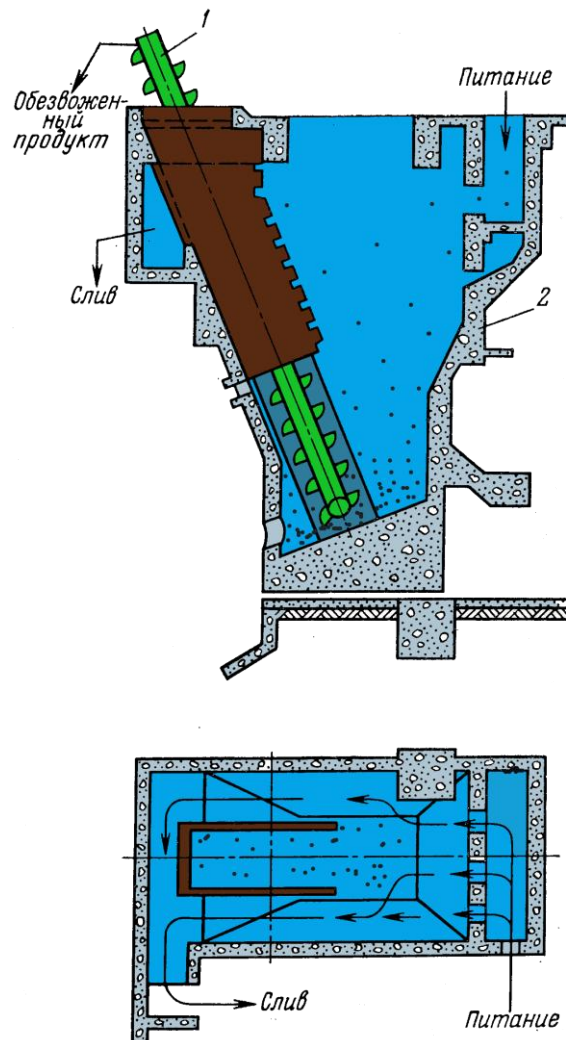


Рис. 2.2.1.3. Механический элеваторный классификатор.  
1 – элеватор с перфорированными ковшами; 2 – зумпф (железобетонная емкость)

Движение пульпы представляет собой горизонтальные потоки, в процессе которых происходит перераспределение потоков частиц: более крупные перемещаются к периферии и сползают по стенкам на дно, а мелкие уносятся вместе со сливом. Осевшие на дно пески удаляются с помощью элеватора с перфорированными ковшами (рис. 2.2.1.4.).

Элеватор ковшовый предназначен для транспортирования с одновременным обезвоживанием продуктов обогащения, в основном, каменных углей и антрацитов. Длина его достигает 40 м. Состоит из корпуса с элеваторной цепью (1) и перфорированных ковшей (2). Конструкция ковшей исключает «дождевание» на нижерасположенные ковши.

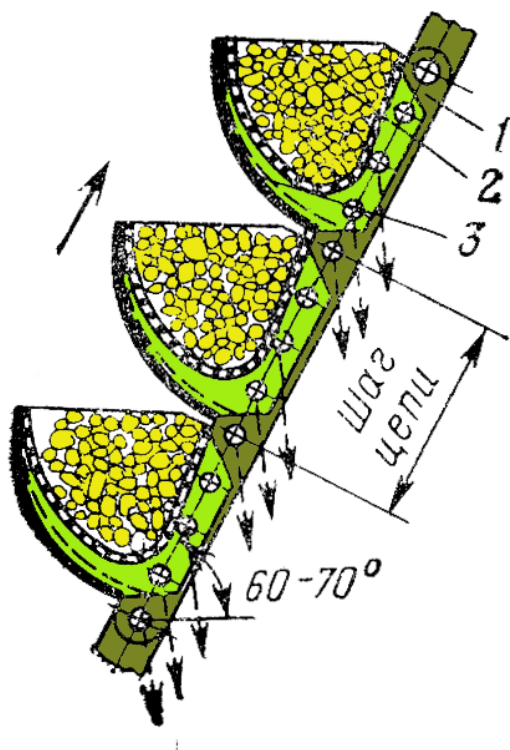


Рис. 2.2.1.4. Элеватор с перфорированными ковшами.

1 – корпус с элеваторной цепью; 2 – перфорированный ковш с обезвоживаемыми песками; 3 – стальные листы, предотвращающие попадание влаги в последующий ковш



Достоинства элеваторных классификаторов в том, что они позволяют совмещать предварительное обезвоживание материала и его классификацию. Недостаток в том, что они громоздки и требуют большой высоты установки.

Центробежные классификаторы позволяют разделять материал на классы крупностью 5-100 мкм за

счет действия центробежных сил.

Особенно хорошо известны гидроциклоны (самотечные). осадительные центрифуги с механической разгрузкой как классификаторы реже используются из-за дороговизны. На фабриках «сухого» обогащения применяют воздушные самотечные сепараторы.

**Гидроциклоны** применяются для обесшламливания и сгущения пульп, как классификаторы в замкнутых циклах измельчения с шаровыми мельницами.

Гидроциклон (рис. 2.2.1.5.) состоит из литого конусообразного корпуса с закрытой крышкой.

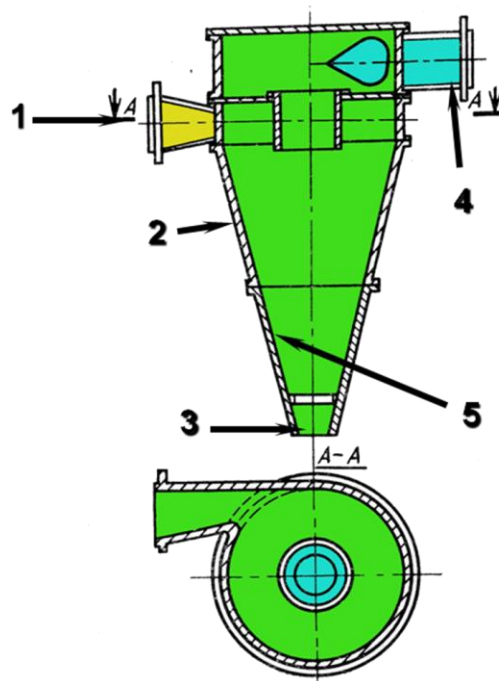


Рис. 2.2.1.5. Гидроциклон.

- 1 – подача питания; 2 – корпус; 3 – песковая насадка;  
4 – сливной патрубков; 5 – футеровка

Исходная пульпа (1) подается под давлением тангенциально внутренней поверхности. Крупные частицы под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам аппарата и нисходящим спиральным потоком движутся вниз, разгружаясь через насадку для песков (3). Мелкие частицы образуют внутренний поток, который поднимается вверх и выносится через сливной патрубков (4). Внутренняя поверхность гидроциклонов покрывается износостойчивым материалом – футеруется (5).

Крупность слива возрастает с увеличением плотности и вязкости исходного материала и с уменьшением диаметра песковой насадки (3).

Для получения тонких сливов (5-10 мкм) применяют батареи из гидроциклонов диаметром 15-100 мм.

Достоинства аппаратов гидроциклонов в простоте конструкции, малых размерах, возможности управления процессом, а недостатки в том, что при классификации абразивных пульп происходит быстрый износ внутренней поверхности конусов.

**Гидравлические многокамерные классификаторы** применяют для разделения на узкие классы крупности перед гравитационным обогащением на концентрационных столах. Гидравлические многокамерные классификаторы бывают 4-х, 6-ти и 8-ми камерные.

Производительность 4-х камерного (рис. 2.2.1.6.) гидравлического классификатора 15-25 т/час, крупность исходного материала не более 2 мм.

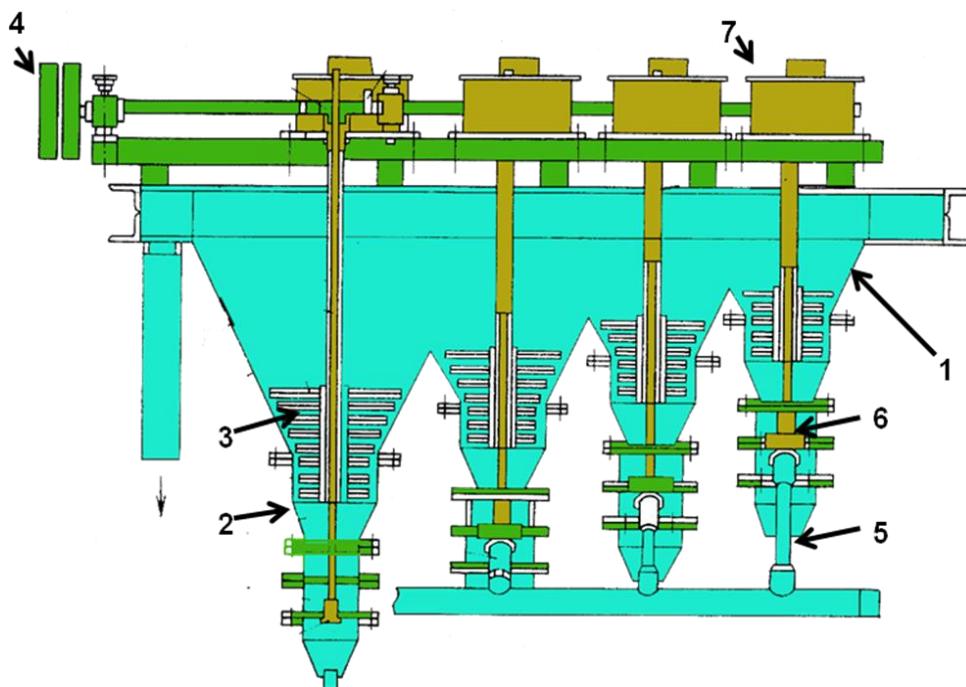


Рис. 2.2.1.6. Четырех камерный гидравлический классификатор КГ-4  
1 - корпус; 2 – классифицирующие устройства; 3 – перемешивающее устройство (лопастные мешалки); 4 – привод мешалок и штока работы клапанов; 5 – камера тангенциального подвода воды; 6 – клапана; 7 – редукторы (для устройства подъема и опускания клапанов)

Ширина камеры в верхней части 0,62 м, в разгрузочной – 1,5 м, общая длина – 2,93 м, мощность электродвигателя – 1,7 кВт.

Каждая камера представляет собой пирамидальную емкость (1). Нижняя часть – классификационная труба (2) имеет перемешивающее устройство (3) со скоростью 1-2 об/мин для разрыхления взвеси песков, камеру для тангенциального ввода воды (5), разгрузочные устройства.

В каждой камере устанавливается своя скорость восходящего потока воды, значение которой понижается из камеры в камеру по направлению к разгрузочному порогу аппарата. Таким образом, материал разделяется по размерам на несколько продуктов различного класса крупности.

Достоинства: высокая точность классификации, автоматическая разгрузка песков, возможность регулировки размеров фракций.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что означает процесс классификации? В чем его принцип?
2. Как называют продукты классификации?
3. Назовите верхний предел крупности частиц в процессе классификации?
4. Какие аппараты-классификаторы вы знаете?
5. Назовите, какие бывают типы операций классификации по их назначению.
6. Какие бывают классификаторы по принципу действия?
7. Назовите область применения, устройство, принцип действия механического спирального классификатора, его достоинства и недостатки.
8. Назовите область применения, устройство, принцип действия классификатора элеваторного, его достоинства и недостатки.
9. Назовите область применения, устройство, принцип действия гидроциклона, его достоинства и недостатки.
10. Назовите область применения, устройство, принцип действия гидравлического многокамерного классификатора, его достоинства и недостатки.

## **2.3. Дробление**

***Дробление и измельчение*** – процессы разрушения материала до

заданной крупности.

Крупность дробленного полезного ископаемого определяется степенью раскрытия минералов.

Например, на рудных фабриках сульфидные полезные ископаемые обогащаются гравитационным методом, когда раскрытие зерен происходит при грубом измельчении (т. е. дроблении), например, при крупности 10 мм, и флотационным методом, когда раскрытие зерен происходит при тонком измельчении, например 0,1 мм.

Крупность частиц, направляемых в операцию измельчения обычно менее 5 мм, частицы более 5 мм разрушают в дробилках.

### **2.3.1. Назначение операций дробления**

Процессы дробления могут быть:

- а) *подготовительными* перед процессами обогащения;
- б) *самостоятельными*, с получением готового продукта, например, когда требуется измельченный продукт, строительные материалы;
- в) *избирательное* используется как операция обогащения, например, если в кусок руды составлен из крепких и хрупких минералов, то после дробления различные минералы будут представлять собой различные классы крупности и после грохочения попадут в различные продукты.

### **2.3.2. Способы, степень, стадии дробления**

Разрушение материала происходит следующими способами: раздавливанием, истиранием, раскалыванием, срезыванием, изломом, ударом.

Одним из главных показателей, характеризующих процесс дробления, является степень дробления.

**Степень дробления** – отношение средних диаметров кусков продукта до и после дробления

$$i = \frac{D_{\text{ср}}}{d_{\text{ср}}}$$

Дробление эффективно работает только при ограниченных степенях дробления от 3 до 8, в крайнем случае, при  $i=10$  (за исключением дробилок ударного действия при дроблении хрупких полезных ископаемых, степень дробления которых может достигать 30).

Поэтому дробление часто производят в несколько стадий.

Различают следующие **стадии дробления**:

– *крупное* от 300-1500 мм до дробления и до 100-300 мм после,

– *среднее* от 100-300 мм до дробления и 10-50 мм после,

– *мелкое* от 10-50 мм до дробления и 2-10 мм после,

Для дальнейшего раскрытия зерна полезного ископаемого продукт направляется в стадию измельчения.

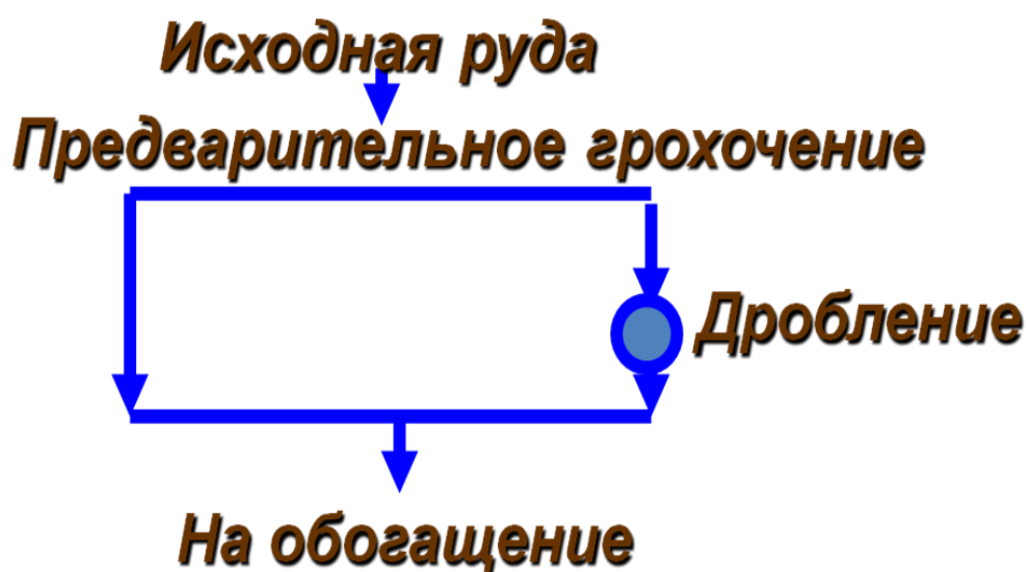
Степень дробления, достигаемая в каждой отдельной стадии, называется *частной*. Общая степень дробления равна произведению частных

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_n.$$

### 2.3.3. Схемы дробления

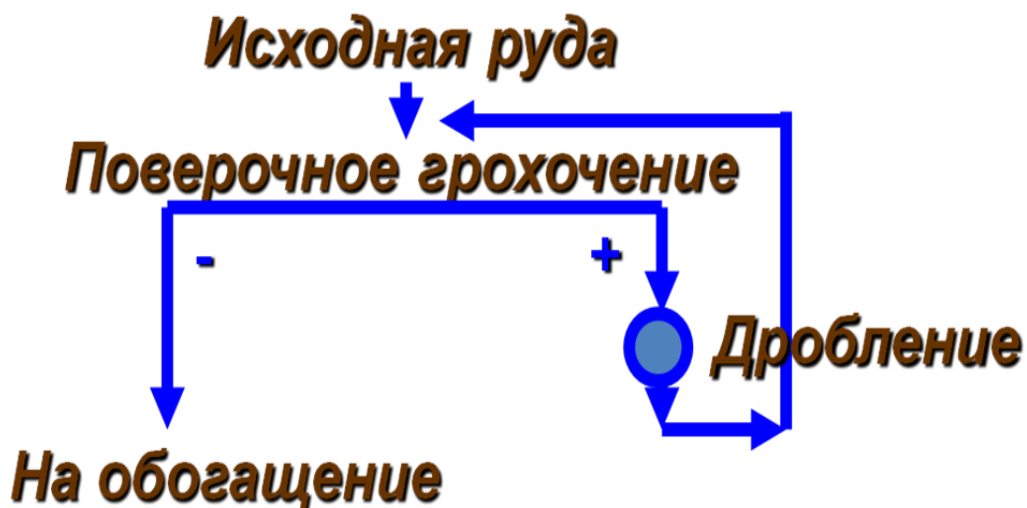
При многостадийных процессах дробления с целью сокращения массы дробимого продукта целесообразно комбинировать процессы дробления с процессами грохочения. Общее правило для всех операций дробления: «Не дробить ничего лишнего». С этой целью руду перед дроблением просеивают на грохоте и в дробилку отправляют только надрешетный продукт, подрешетный поступает на обогащение или в следующую стадию дробления. С целью не допустить переизмельчения продукта и рационально использовать электроэнергию, разрабатывают схемы дробления.

Дробление *одностадийное в открытом цикле с грохотом*:



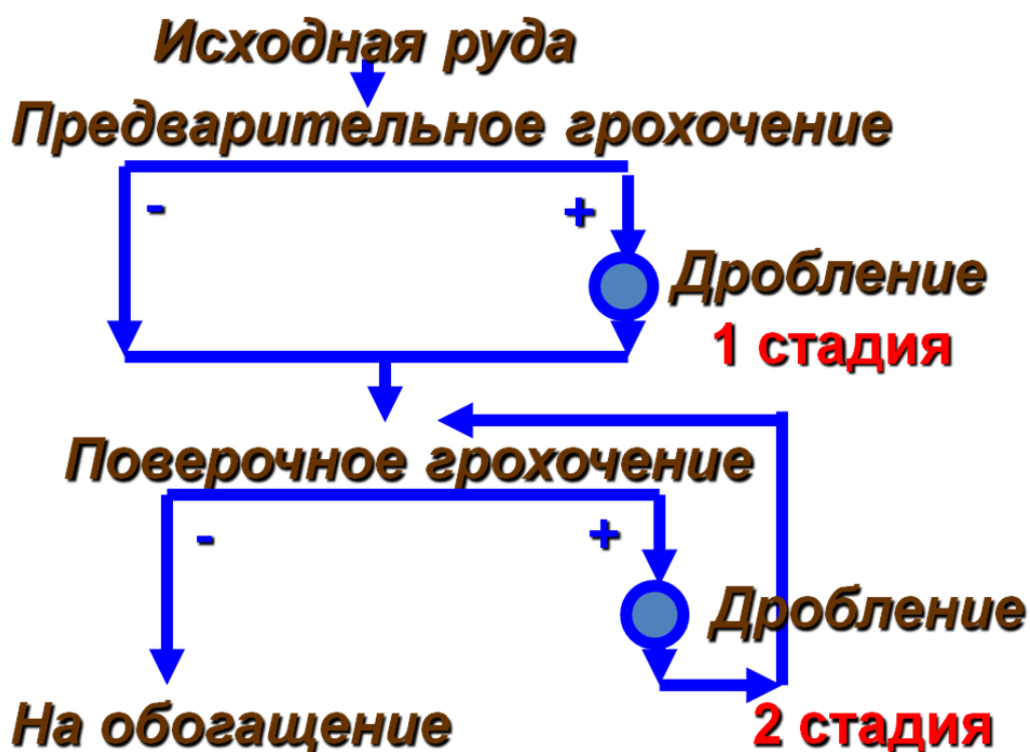


Дробление *одностадийное* в замкнутом цикле с грохотом:



Дробление *многостадийное*

Например: схема дробления двухстадийная, с предварительным грохочением в 1-й стадии и поверочным грохочением во 2-й стадии дробления в замкнутом цикле с грохотом:



Однако на крупных фабриках экономически невыгодно использовать грохочение на первой стадии дробления.

#### 2.3.4. Дробилки

Дробилки бывают щековые, конусные, валковые и ударного дей-

ствия. *Щековые* дробилки производятся с простым движением щеки и со сложным движением щеки; *конусные*: для крупного, среднего и мелкого дробления; *валковые*: одно и двухвалковые, с гладкими и зубчатыми валками; ударного действия: *молотковые*: роторные и дезинтеграторы.

#### **2.3.4.1. Щековые дробилки**

Применяют в основном для среднего дробления, отечественные щековые дробилки не изготавливаются больших размеров. Исключение составляют импортные дробилки, которые изготавливаются больших размеров для всех стадий дробления. Например, дробилки фирмы Крупп (рис. 2.3.4.1.1.). Щековая дробилка фирмы «Крупп» с загрузочным отверстием 800×630мм, предназначена для дробления железосодержащих шлаков с особенно эффективной защитой от перегрузок. Пропускная способность 150 т/ч при крупности 0-120 мм.

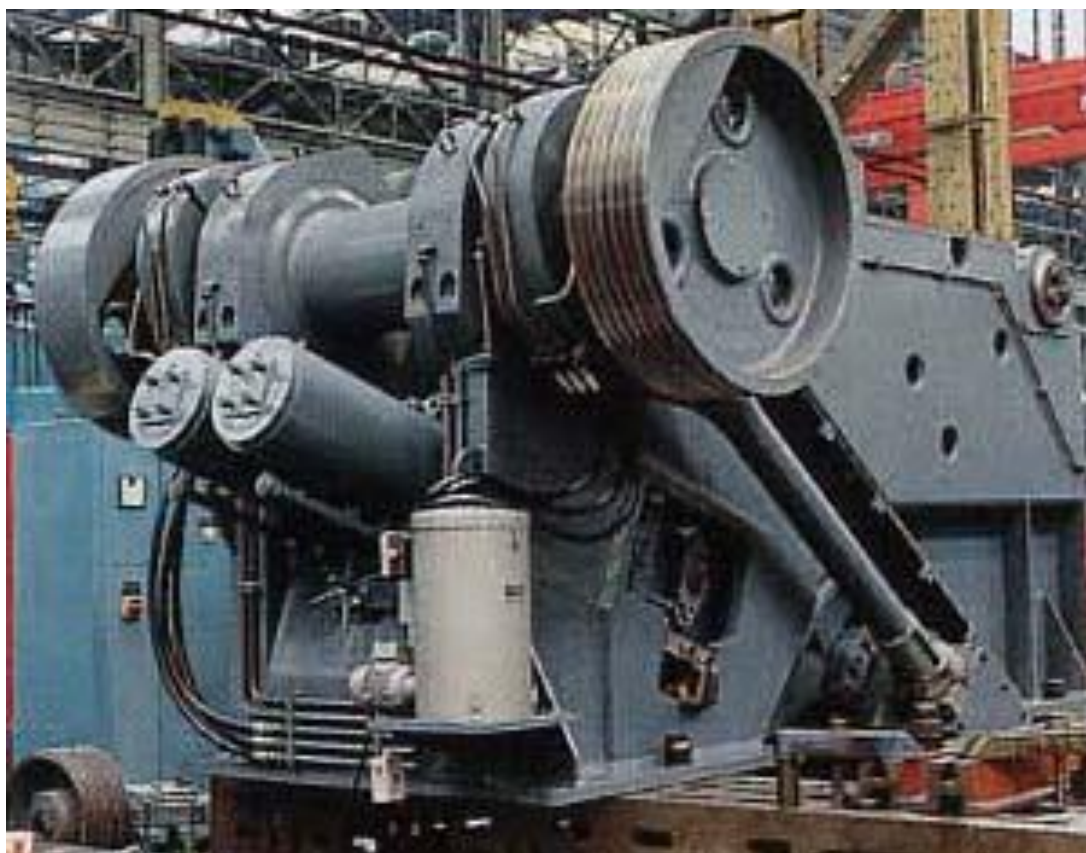


Рис. 2.3.4.1.1. Щековая дробилка фирмы «Крупп»

Щековые дробилки различаются по конструкции на дробилки с простым движением щеки и дробилки со сложным движением щеки (рис. 2.3.4.1.2.а) и со сложным движением щеки (рис. 2.3.4.1.2.б).

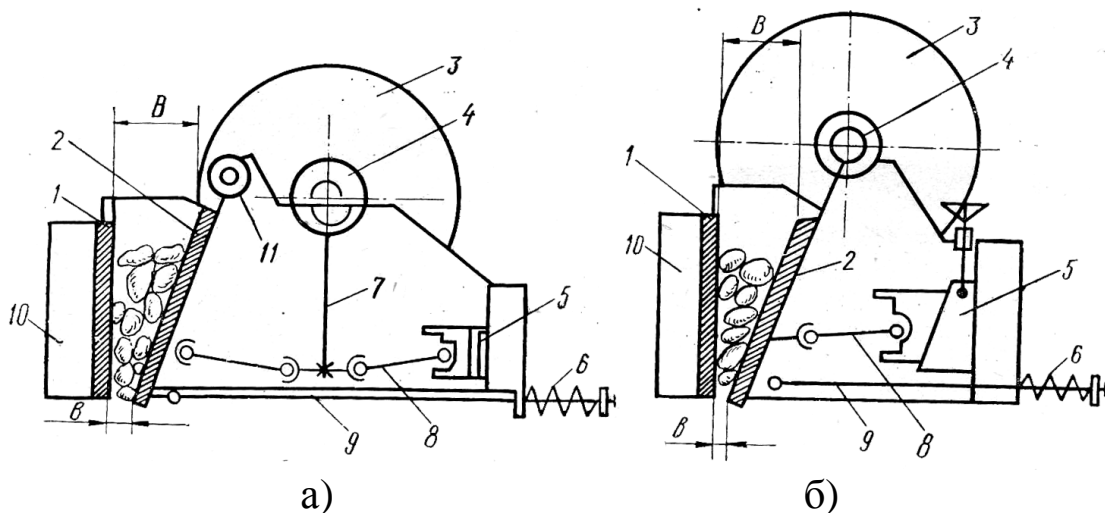


Рис. 2.3.4.1.2. Щековые дробилки с простым движением щеки (а) и дробилки со сложным движением щеки (б).

1 – неподвижная щека; 2 – подвижная щека; 3 – маховик; 4 – эксцентриковый вал; 5 – регулировочные клинья; 6 – пружина; 7 – шатун; 8 – распорная плита; 9 – тяга, оттягивающая подвижную щеку; 10 – корпус; 11 – ось, на которую подвешена подвижная щека

**Конструкция и принцип действия дробилки с простым движением щеки.** При движении шатуна вверх угол захвата увеличивается, подвижная щека приближается к неподвижной, материал раздавливается (рабочий ход), при движении шатуна вниз щека отходит и дробимый материал выходит из разгрузочного отверстия (холостой ход).

Для аккумуляции энергии во время холостого хода и ее передачи во время рабочего хода установлены массивные маховики.

Задняя распорная плита делается ослабленного сечения, для того, чтобы при чрезмерных нагрузках она ломалась, предотвращая поломку других частей установки.

Ширина выпускной щели ( $\delta$ ) меняется путем замены распорных плит, а у дробилок малого размера с помощью регулировочных клиньев.

**Щековая дробилка со сложным движением щеки** (рис. 2.3.4.1.3.) несколько отличается по конструкции от щековой дробилки с простым движением щеки.

Подвижная щека подвешена непосредственно на эксцентрик вала. В результате её движения описывают эллипсоидную траекторию. За счет этого происходит не только раздавливание, но и истирание дробимого материала.

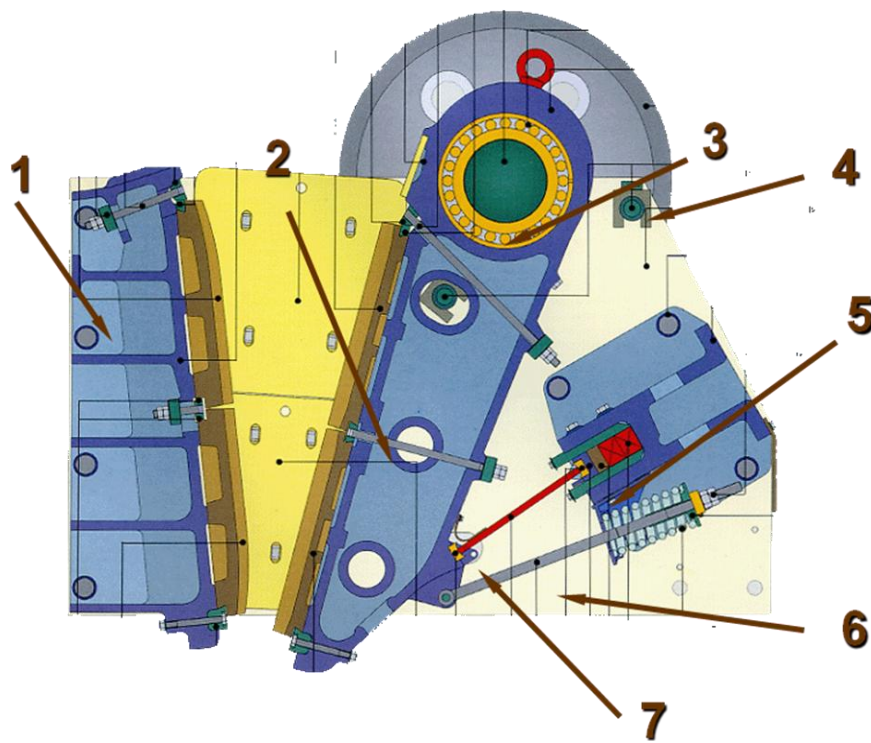
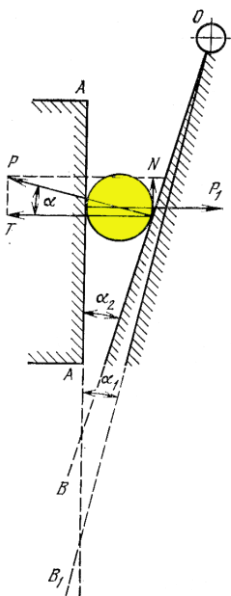


Рис. 2.3.4.1.3. Щековая дробилки со сложным движением щеки.  
 1 – неподвижная щека; 2 – подвижная щека; 3 – эксцентриковый вал; 4 – маховик; 5 – регулировочные клинья; 6 – тяга, оттягивающая подвижную щеку с пружиной; 7 – распорная плита



Эллиптические движения подвижной щеки выравнивают ход дробилки, увеличивают производительность, а расход энергии уменьшают.

Очень важный параметр при работе щековой дробилки – *угол захвата* куска щеками. На кусок действует ряд сил: силы упругого действия неподвижной и подвижной щеки –  $P_1$  и  $P$ ; силы трения куска по подвижной и неподвижной щеке, а также сила реакции опоры  $N$ . Силой тяжести куска можно пренебречь.

Вертикальная составляющая силы реакции опоры  $N$  пытается выкинуть дробимый кусок, возникают силы трения, препятствующие этому процессу.

Предельным углом захвата будет угол, при котором силы реакции опоры  $N$  уравниваются с силами трения.

Расчетный угол  $\alpha$  может достигать  $35^\circ$ . Практически угол захвата не превышает  $25^\circ$ . Так как возможны выбросы кусков из дробилки из-

за пространственного расположения кусков друг относительно друга, при котором угол захвата превышает  $35^\circ$  (рис. 2.3.4.1.4.).

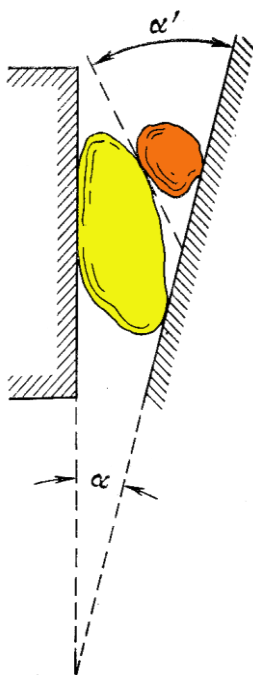


Рис. 2.3.4.1.4. Вариант выброса куска из дробилки

*Пуск дробилки* осуществляют следующим образом: включают электродвигатель, приводят во вращение приводной шкив. Через определенное время муфта приводного шкива вводится в зацепление с валом дробилки. После «разгона» маховиков (в отсутствии стука, дребезжания) дробилку загружают рудой. Останавливать щековую дробилку можно только после выпуска всего оставшегося в зоне дробления материала.

Рабочая камера щековых дробилок футеруется плитами из марганцевой износоустойчивой стали или закаленного чугуна. Футеровочные плиты делают рифлеными, причем выступы на неподвижной щеке располагают против впадин на подвижной щели. В этом случае кроме раздавливания достигаются еще и такие способы дробления, как излом и истирание.

Производительность щековой дробилки зависит от частоты движения щеки, конструктивных особенностей рабочей камеры (длины, ширины, высоты, ширины впускной щели); от плотности дробимого материала и степени его разрыхления в месте разгрузки.

Щековые дробилки просты по конструкции, не требуют большой высоты установки, пригодны для дробления глинистых пород. Недос-

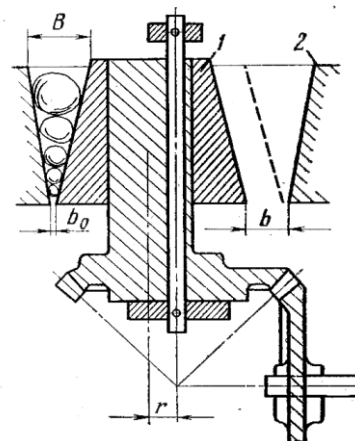
татками их работы являются быстрое изнашивание сменных деталей, вибрация, необходимость установки фундамента и равномерной подачи нагрузки.

### 2.3.4.2. Конусные дробилки



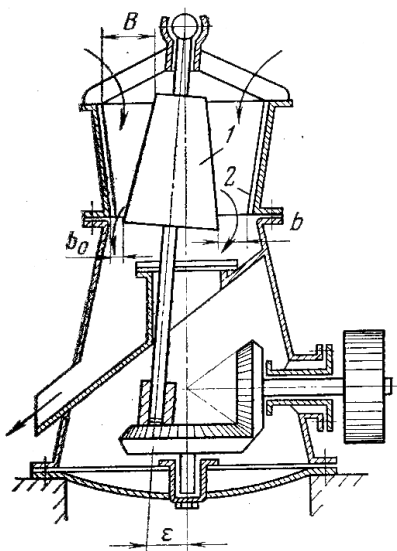
Конусные дробилки различаются между собой: кинематикой движения рабочего конуса, способом его опирания, приводным механизмом, способом разгрузки дробленого материала и способом передачи дробящего усилия.

По кинематическому признаку различают дробилки с неподвижным вертикальным валом (дробилки Телсмит) и с подвижным валом, ось которого образует малый угол с осью симметрии (например, ККД – конусные дробилки для крупного дробления).



Дробилка Телсмит

Дробилки с подвижным валом с механическим регулированием щели типа ККД МРЩ и ККД ГРЩ с валом, имеющим опору с гидравлическим регулированием размера щели, за рубежом называют ги-



Дробилка ККД МРЩ

рациональными. Они применяются для крупного дробления. В дробилках типа ККД ГРЩ

предусмотрено гидравлическое регулирование (щель увеличивается за счет износа футеровки). Ранее дробилки ККД изготавливались с боковой разгрузкой, сейчас все дробилки производятся только с центральной разгрузкой.

КСД и КМД (для среднего и малого дробления), а также КИД (вибрационные, безэксцентровые) предназначены для мелкого и особо мелкого дробления.

Дробление руды в конусных дробилках производится способом раздавливания с частичным изломом и истиранием кусков.

Конусные дробилки для крупного дробления и для среднего и мелкого дробления различаются по конструкции.

Конусные дробилки для крупного дробления (рис. 2.3.4.2.1.) предназначены для первой стадии дробления твердых и средней твердости материалов.

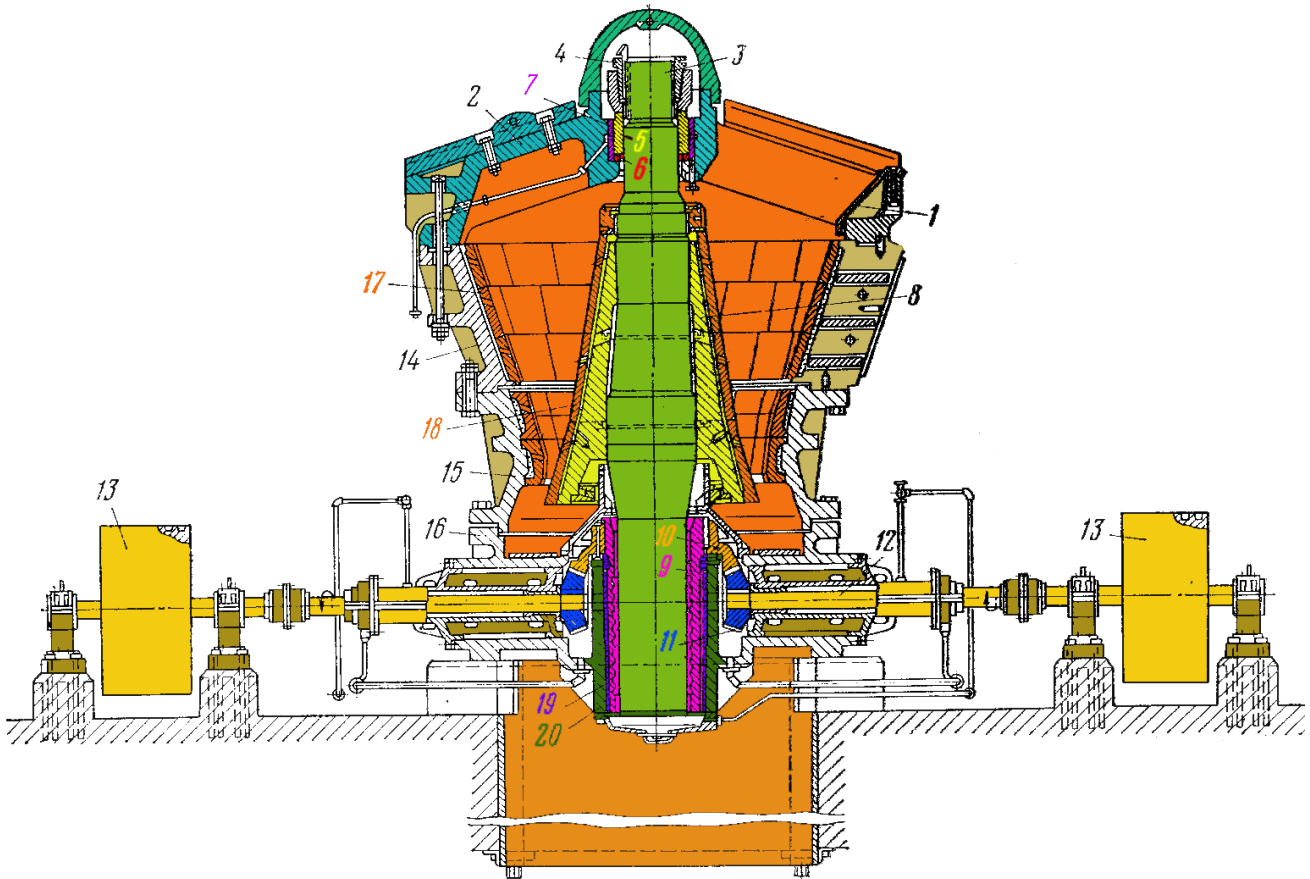


Рис. . 2.3.4.2.1. Конусная дробилка ККД МРЩ для крупного дробления с механическим регулированием щели.

- 1 – загрузочная воронка, 2 – траверса; 3 – вал с подвесным подшипником; 4 – гайка; 5 – втулка; 6 – неподвижное кольцо; 7 – обойма; 8 – дробящий конус; 9 – эксцентриковый стакан; 10 – коническая шестерня; 11 – малая шестерня; 12 – горизонтальный вал; 13 – шкив клиноременной передачи; 14, 15 – корпус из нескольких колец; 16 – станина; 17, 18 – футеровка; 19 – стальная втулка; 20 – центральный патрубок

Конус дробилок для крупного дробления состоит из нескольких колец (поясов), соединенных друг с другом (14,15). Приемная воронка (1) отлита вместе с траверсой (2), в центральной части которой поме-

щен колпак, покрывающий подшипник главного вала (3). Ось главного вала отклонена от вертикали на малый угол и описывает коническую поверхность. Верхний конец вала, через навернутую на него гайку (4), соединен с втулкой (5), которая перекачивается по неподвижному кольцу (6). Сточная на конус наружная поверхность втулки всегда прижата по одной из своих образующих к неподвижной обойме (7), запрессованной в траверсу.

На главном валу закреплен дробящий конус (8). Нижний конец вала вставлен в эксцентриковый стакан (9) к которому прикреплена коническая шестерня (10), находящаяся в зацеплении с малой шестерней (11), которая сидит на горизонтальном валу (12), приводимом во вращении электродвигателем через шкив (13) клиноременной передачи.

Эксцентриковый стакан (вал-эксцентрик) вращается внутри неподвижной стальной втулки (19), запрессованной в центральный патрубок (20), отлитый вместе со станиной (16).

Вал и дробящий конус совершают круговые колебания конусов – гирационные движения. При вращении стакана подвижный дробящий конус совершает круговые движения, приближаясь к поверхности неподвижного конуса и удаляясь от него. В результате, в месте сближения конусов внешнего и внутреннего материал дробится способами: раздавливания, раскалывания и изломом кусков руды. По мере удаления внешнего конуса от внутреннего дробленая руда разгружается.

Навинчивая или свинчивая гайку (4) устанавливают нужную ширину выходной щели. Подтягивая гайку, приподнимают конус, и щель уменьшается. Щель увеличивается в процессе работы дробилки за счет износа футеровки. Таким образом, осуществляется механический способ регулирования.

Конусные дробилки для крупного дробления не имеют маховика, работают с небольшим числом оборотов вал-эксцентрика при малом эксцентриситете, следовательно, они не накапливают большого запаса кинетической энергии и при попадании в них недробимых предметов легко останавливаются. Поэтому дробилки для крупного дробления не имеют предохранительных устройств.

При дроблении силы трения настолько велики, что заставляют вал вращаться вокруг своей оси в направлении противоположном вращению вал-эксцентрика с неопределенным, переменным числом оборотов.



Габаритные размеры от 3540 мм (ККД 500) до 8280 мм (ККД 1500А).

Производительность (т/ч) дробилок для крупного дробления вычисляются по формуле

$$Q = 60kn\delta V,$$

где  $n$  – частота качаний дробящего конуса;  $k$  – коэффициент учитывающий крупность, твердость, влажность;  $\delta$  – плотность;

$$V = rD^2b.$$

где  $r$  – эксцентриситет;  $D$  – диаметр конуса дробления;  $b$  – размер выпускной щели.

Преимущества: высокопроизводительны, осуществляют непрерывное дробление, не дают большие сотрясения, могут работать «под завалом», имеют низкие энергетические затраты.

Недостатки: сложность конструкции, требуют большие габариты по высоте.

**Дробилки конусные среднего и мелкого дробления** применяются в горнорудной промышленности для дробления твердых руд и средней твердости на второй и последующих стадиях дробления.

В России выпускаются дробилки трех типов:

– для среднего дробления с короткой параллельной зоной и широкой выходной щелью марки КСД-Гр (для грубого помола);

– для нижесреднего дробления с уменьшенной выходной щелью марки КСД-Т (для тонкого помола);

– с длинной параллельной зоной и малой щелью марки КМД

КСД-2200 Гр - означает конусная дробилка среднего дробления для грубого помола с диаметром дробящего конуса 2200 мм.

Конусные дробилки для среднего и мелкого дробления (рис. . 2.3.4.2.2.) отличаются от дробилок для крупного дробления размерами, более пологой формой дробящего конуса, профилем дробящей зоны.

Материал поступает из загрузочной коробки (6) на распределительную тарелку (7), и раздавливается между конусами. Рабочая зона покрыта футеровкой из марганцовистой стали. Продукт дробления проваливается между станиной (1) и картером (8) зубчатой передачи. Приводной вал (11), соединен с электродвигателем муфтой (10) через

коническую зубчатую передачу (12,13) заставляет вращаться эксцентриковый стакан (14), находящийся внутри втулки (9).

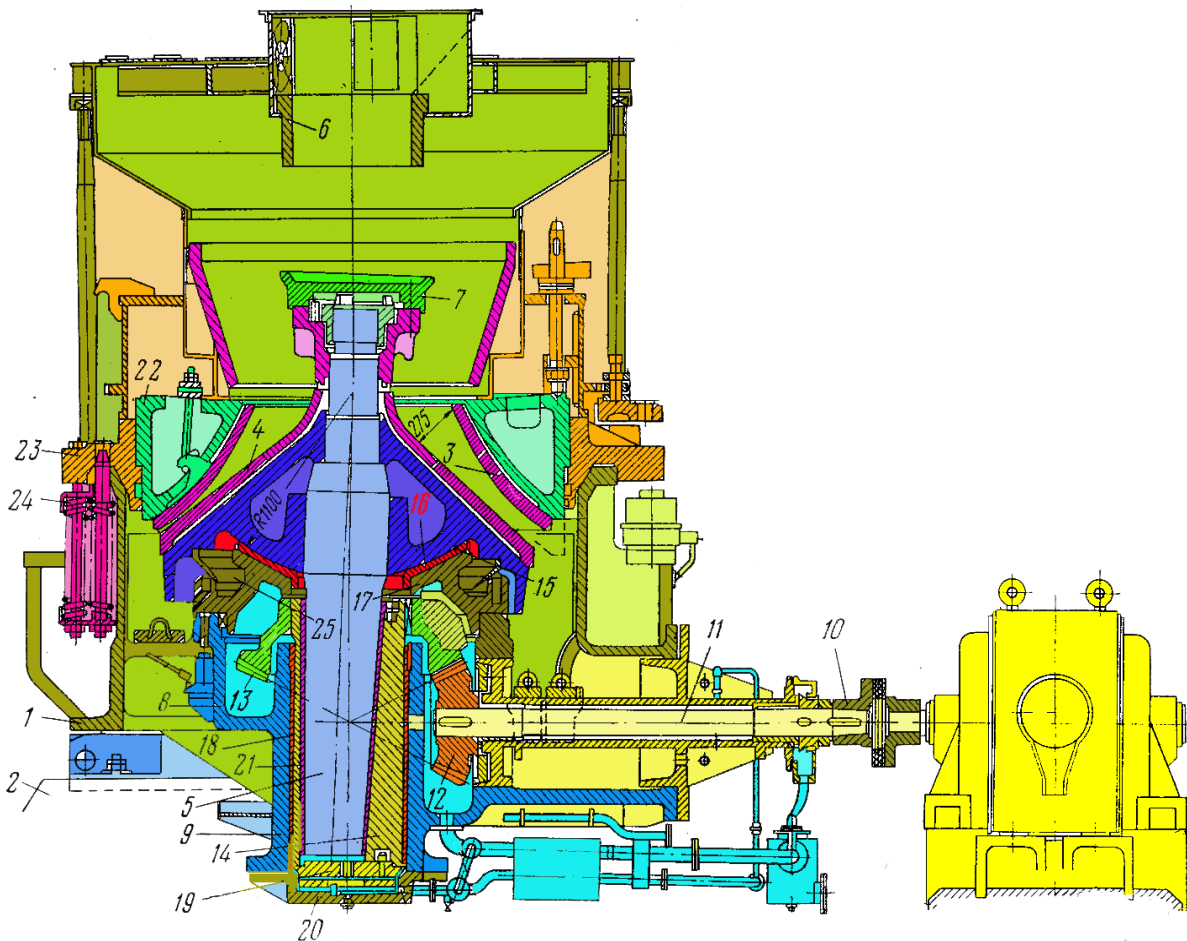


Рис. 2.3.4.2.2. Конусные дробилки для мелкого дробления  
 1 – станина, 2 – фундамент, 3 – неподвижный конус (чаша),  
 4 – подвижный конус, 5 – главный вал, 6 – загрузочная коробка,  
 7 – распределительная тарелка, 8 – картер, 9 – центральная втулка,  
 10 – муфта, 11 – приводной вал, 12,13 – конические зубчатые  
 шестерни, 14 – эксцентриковый стакан (вал-эксцентрик), 15 – нижняя  
 поверхность конуса, 16 – подпятник, 17 – стальная опорная чаша,  
 18 – бронзовая втулка, 19 – плоский подпятник из трех дисков,  
 20 – крышка центральной втулки, 21 – бронзовая втулка конической  
 расточки, 22 – регулировочное кольцо, 23 – опорное кольцо,  
 24 – система защиты от попадания недробимого предмета,  
 25 – гидравлическая система защиты от пыли

Хвостовик (5) главного вала опущен в коническую расточку эксцентрикового стакана (рис. 2.3.4.2.3.), со смещенной осью (приблизительно

тельно  $2^\circ$ ) к вертикальной оси дробилки, поэтому при вращении эксцентрика ось вала описывает коническую поверхность.

Дробящий конус (4) посажен на сферический подпятник (16), который представляет собой бронзовую чашу. Нижняя поверхность конуса (15) обтачивается по сфере. Подпятник опирается на стальную опорную чашу (17).



Рис. 2.3.4.2.3. Верхняя часть эксцентрикового стакана (вал-эксцентрика) с конической расточкой со смещенной осью

В массивную центральную втулку (9) впрессована тонкостенная бронзовая втулка (18), внутри которого вращается эксцентриковый стакан (14) из высокопрочного чугуна. Стакан опирается на плоский подпятник (19) из трех дисков, из которых нижний (неподвижный) укреплен в крышке (20) центральной втулки, а верхний соединен с эксцентриковым стаканом и вращается вместе с ним (средний вращается с половиной скоростью).

В коническую расточку стакана вставлена бронзовая втулка (21), в который входит хвостовик вала.

При повороте регулировочного кольца (22) и его перемещении по высоте относительно опорного кольца (23) достигается необходимая ширина выходной щели « $b_0$ » (рис. 2.3.4.2.4).

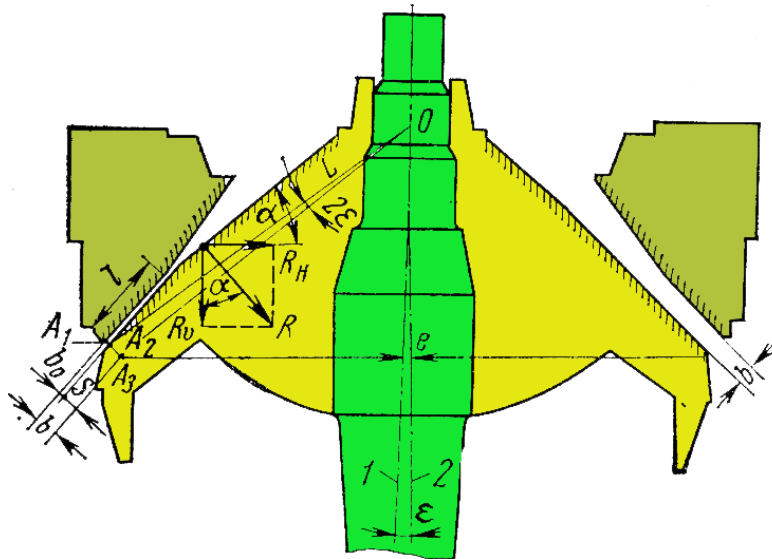


Рис. 2.3.4.2.4. Профиль дробящей зоны  
 $b_0$  – ширина выходной щели;  $b$  – ширина разгрузочной щели;  
 $\epsilon$  – эксцентриситет,  $S = b - b_0$

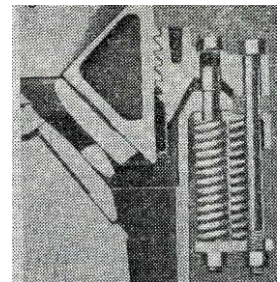


*Система пружин (24)* служит для предохранения дробилки от поломок из-за попадания в дробящую зону недробимых предметов.

При попадании в камеру дробления недробимых (металлических) предметов, пружины под действием усилий, значительно превышающих нормальные, сжимаются, наружная чаша приподнимается и недробящий предмет проходит через дробилку. Если предмет велик, то конус заклинивается и срабатывает электрическая система защиты. Дробилка останавливается.

Для удаления застрявшего предмета современные дробилки снабжаются гидравлическими домкратами, позволяющими дополнительно поднять опорное кольцо с неподвижной чаши и освободить застрявший предмет.

Принцип действия *гидравлического домкрата* (рис. 2.3.4.2.5.) показан на примере конусной дробилки типа «Гидрокон». У дробилки «Гидрокон» с гидравлическим регулированием входной щели дробящий конус опирается на плунжер (2) гидравлического домкрата, цилиндр (1) которого заполнен маслом и соединен маслопроводом (3) с газовым аккумулятором (5).



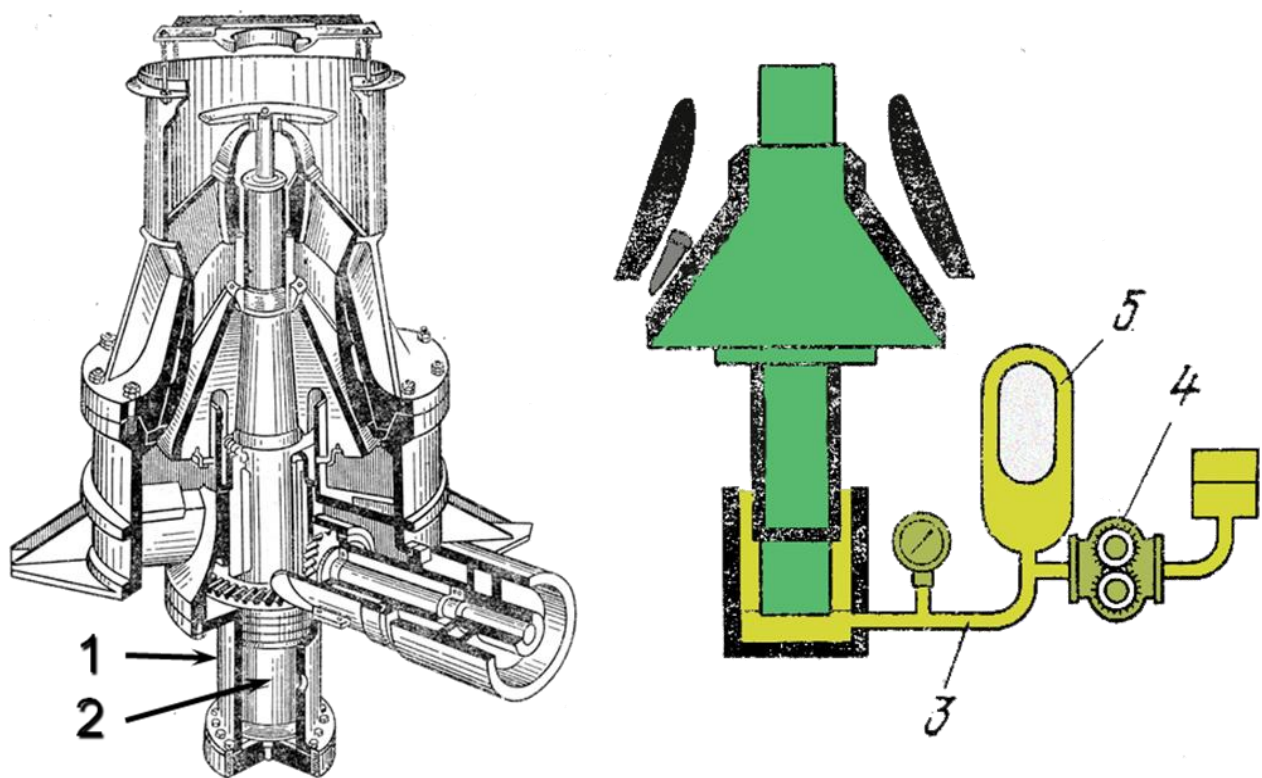


Рис. 2.3.4.2.5. Принцип действия гидравлического домкрата  
 1 – цилиндр гидравлического домкрата; 2 – плунжер; 3 – маслопровод; 4 – масляный насос; 5 – газовый аккумулятор

Во время работы дробилки эта система удерживает дробящий конус и сохраняет постоянной ширину выходной щели.

При попадании в камеру дробления недробимого предмета усилие на дробящий конус резко возрастает и масло из цилиндра гидравлического домкрата отжимается в газовый аккумулятор. Плунжер домкрата с дробящим конусом опускается, щель увеличивается и недробимый предмет выходит из зоны дробления. Давление на конус падает, и сжатый газ в аккумуляторе отжимает масло обратно в цилиндр домкрата.

Предусмотрена также гидравлическая система защиты от пыли (25) (рис. 2.3.4.2.2.) и автоматическая система смазки трущихся деталей.

Конусные дробилки для среднего и мелкого дробления требуют *равномерной подачи материала*. Питающая воронка приводится во вращение от отдельного электродвигателя. Исходный материал поступает в загрузочную коробку (6). Поступление дробимого материала должно быть равномерным (рис. 2.3.4.2.6.) по всей окружности прием-

ного отверстия.

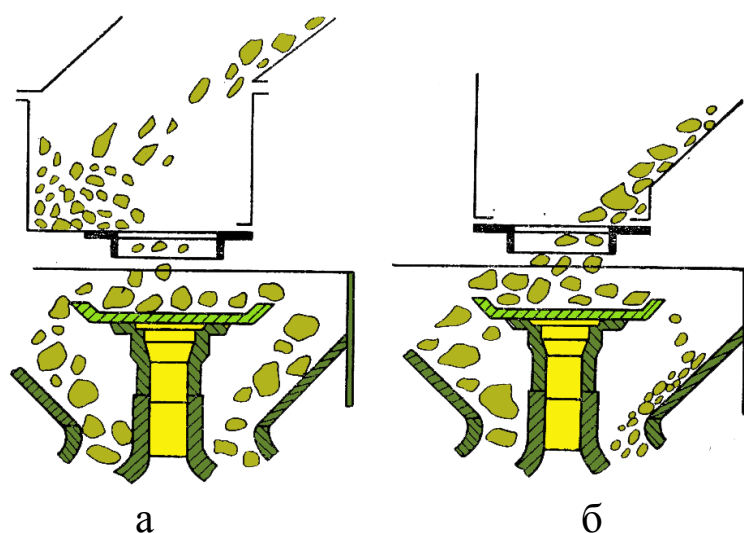


Рис. 2.3.4.2.6. Подача дробимого материала «а» – правильно, «б» – неправильно

Руда должна подаваться на распределительную тарелку (7) строго вертикально с небольшой скоростью.

Неравномерная загрузка приводит к неравномерному износу футеровки, и дробилка начинает выдавать более крупный продукт, чем необходимо.

Конусные дробилки для среднего и мелкого дробления (КМД и КСД) отличаются от конусных дробилок для крупного дробления не только размерами, но и профилем дробящей зоны, большим эксцентриситетом, а, следовательно, и ходом конуса, наличием питателя типа распределительной тарелки. У дробилок для крупного дробления (ККД) вал подвижного конуса подвижен к траверсе, а у дробилок для среднего и мелкого дробления дробящий конус упирается на подпятник. Усеченный конус чаши ККД обращен большим основанием вверх, у КМД и КСД обращен большим основанием вниз. Форма конуса также различна: у ККД – крутой, у КМД и КСД – пологий. Конус ККД вращается с малым эксцентриситетом (менее 25 мм), а конус КМД и КСД с большим (более 100 мм).

Конусные дробилки для среднего дробления (КСД) также отличаются от конусных дробилок для мелкого дробления (КМД) формой конуса (рис. 2.3.4.2.7.) и длиной параллельной зоны  $l$  (рис. 2.3.4.2.8.), которая отвечает за крупность дробимого продукта.



а



б

Рис. 2.3.4.2.7. Дробящие конусы дробилок для среднего КСД (а) и мелкого КМД (б) дробления

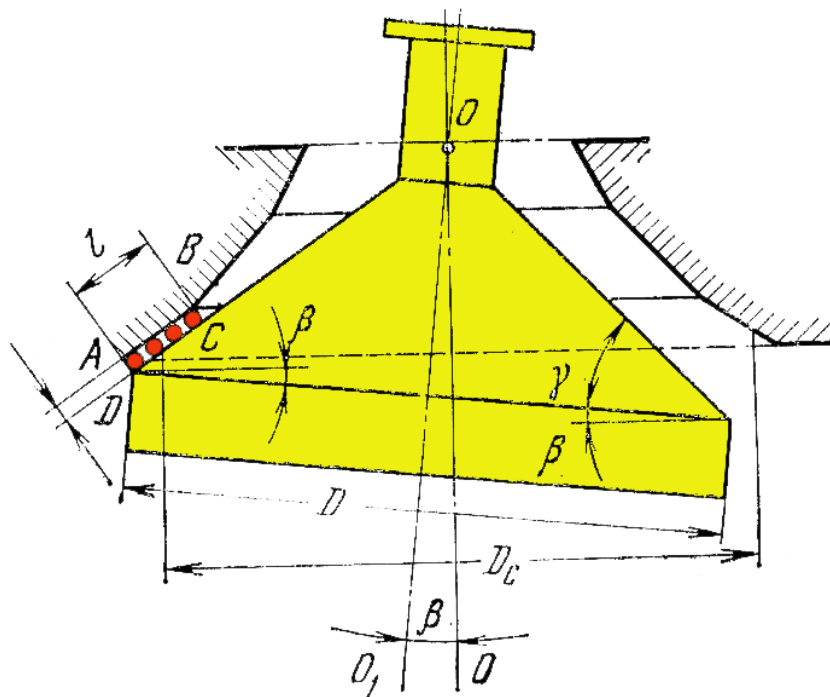


Рис. 2.3.4.2.8. Длина параллельной зоны  $l$   
Конусную дробилку запускают в ход при отсутствии дробимого

материала в камере дробления. Перед пуском проверяют наличие смазки. Сначала включают масляный насос и систему охлаждения масла. Когда смазка поступает к трущимся частям, включают электродвигатель. Одну-две минуты дробилка работает на холостом ходу, затем загружают руду.

Производительность дробилок для среднего и мелкого дробления вычисляют по формуле ( $\text{м}^3/\text{ч}$ )

$$Q = KnbD^2,$$

где  $n$  – частота качающего конуса,  $D$  – диаметр основного конуса,  $b$  – ширина выходной щели,  $K$  – коэффициент пропорциональности.

Конусные дробилки для среднего и мелкого дробления (КМД и КСД) отличаются низким удельным расходом энергии, не требуют установки фундамента, не дают сотрясений, высокопроизводительны, выдают равномерный по крупности продукт.

Недостатком является требование равномерной подачи руды и установки перед дробилкой металлоискателя.

#### **2.3.4.3. Валковые дробилки**

Валковые дробилки бывают с гладкими и зубчатыми валками одно- и двухвалковые. Четырехвалковые, вследствие сложности в эксплуатации применение не нашли.

Валковые дробилки с гладкими валками ДДГ предназначены для среднего и мелкого дробления твердых полезных ископаемых, в том случае, когда недопустимо их переизмельчение, для мелкого дробления угля и кокса. Валковые дробилки с зубчатыми валками ДДЗ применяются для крупного и среднего дробления углей, солей и других хрупких и мягких полезных ископаемых.

Дробящее действие валковых дробилок с гладкими валками осуществляется способом раздавливания при ограниченном истирании, зубчатых дробилок – способом раскалывания при небольшом истирании и изломе. Каждый валок двухвалковой дробилки вращается друг навстречу другу и имеет свой привод. Подлежащий дроблению продукт из бункера попадает между валками, захватывается и подвергается разрушению.

Современные конструкции имеют валки с высокоизносостойкой бронированной футеровкой. Например, фирмой КНД Humboldt Wedag разработаны покрытия с применением съемных штифтов. Недостаток





покрытий валковых дробило к – их неравномерный износ. Применение съемных штифтов решает эту проблему заменой изношенных. Использование высокопрочных штифтов дало возможность производить дробилки типа Роллер-пресс (рис.

2.3.4.3.1.) для переработки высокообразивных материалов.

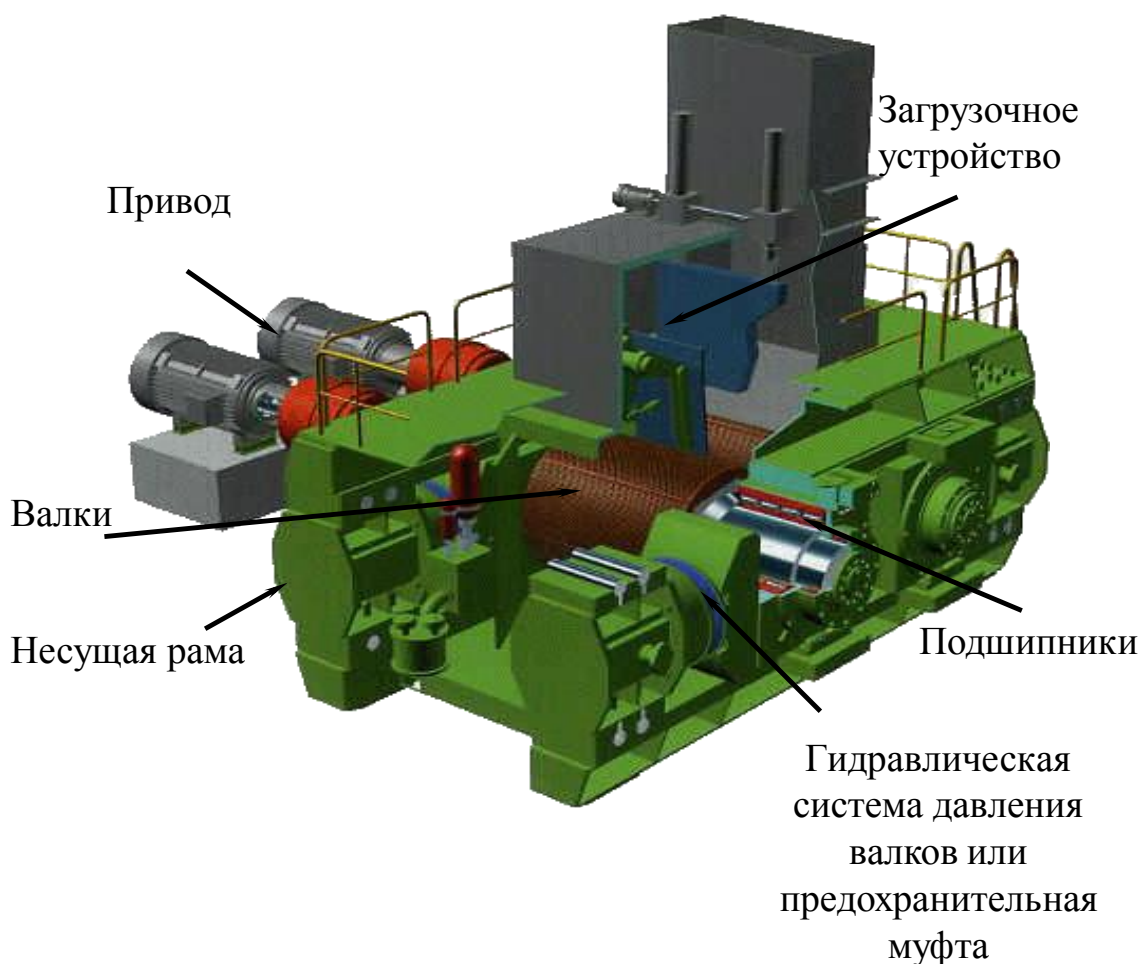


Рис. 2.3.4.3.1. Роллер-пресс

Наши дробилки типа ДДГ и ДДЗ и другие имеют футеровку рабочей зоны из марганцевой или углеродистой стали. Футеровка представляет собой бандаж, для снятия которого предусмотрены отжимные винты. Сами валки делаются из чугуна.

Наиболее распространенная форма зубьев – копьевидная и вида ястребиного клюва. Зубья имеют высоту 30-110 мм.

Любого типа валковые дробилки должны иметь защитные устройства (рис. 2.3.4.3.2.) от попадания недробимого (например, металлического) предмета.

Оба валка вращаются в направлении друг к другу, но один валок называется подвижным, а второй неподвижным потому, что подвижный валок имеет возможность откатываться при оказании избыточного давления на него недробимым предметом. Недробимый предмет из рабочей зоны выходит с помощью отката подвижного валка, который может передвигаться вдоль станины дробилки. Второй валок жестко посажен на вал. Оба вала вращаются в подшипниках друг напротив друга, получая вращение от двух электродвигателей.

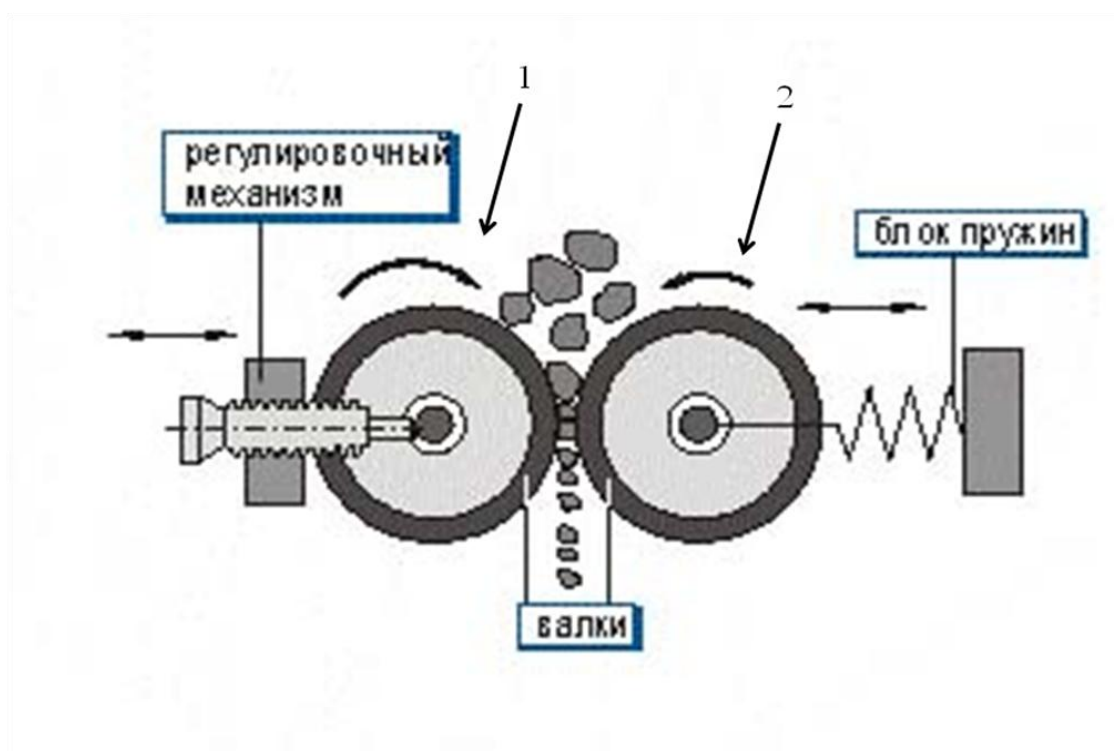
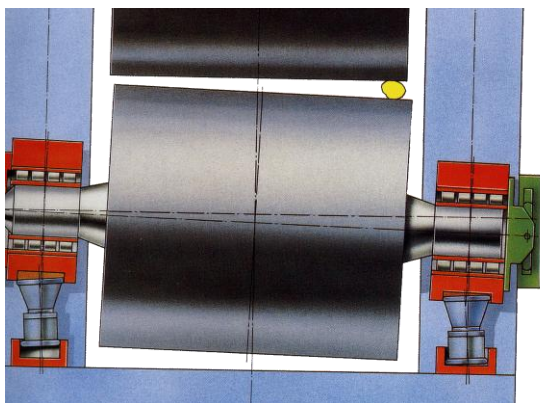


Рис. 2.3.4.3.2. Схема иметь защитного устройства от попадания недробимого предмета  
1 – неподвижный валок, 2 – подвижный валок

В конструкции отечественных дробилок предусмотрена система пружин, которая сжимаясь, откатывает подвижный валок, пропуская недробимый предмет, предохраняя футеровку валов и саму конструкцию от поломок. В некоторых импортных дробилках валок не откатывается, а поворачивается на небольшой угол, выбрасывая предмет, тем самым пропуская меньшее количество недробленного продукта в зону разгрузки. Если недробимый предмет велик, то предохранительная

муфта на приводном валу отключает привод и дробилка останавливается.



Основное преимущество валковых дробилок то, что они не переизмельчают материал, так как не соприкасаются друг с другом и можно устанавливать выходную щель очень малой. Также они просты в конструкции, надежны в работе, удобны в обслуживании и ремонте.

Недостатком является низкая производительность, быстрый неравномерный износ футеровок.

Производительность рассчитывается по формуле

$$Q = 60 \cdot k \cdot n \cdot \delta \cdot V (\text{т/ч}),$$

где  $n$  – частота вращения валков ( $\text{мин}^{-1}$ ),  $\delta$  – плотность,  $k$  – коэффициент разрыхления дробимого материала в момент разгрузки,

$$V = \pi \cdot d \cdot l \cdot b,$$

где  $d$  – диаметр валков,  $l$  – длина валков,  $b$  – ширина щели между валками.

#### **2.3.4.4. Дробилки ударного действия**

Дробилки ударного действия бывают молотковые и роторные, к этому же типу дробилок можно причислить и дезинтеграторы, но иногда их причисляют к мельницам ударного типа.

Применяют для среднего и мелкого дробления и измельчения материалов низкой и средней прочности: угли, известняки, гипс, мел, барит, каменные соли.

В практике применяются дробилки ударного действия для крупных кусков (типа двухроторных с параллельным расположением роторов), а также для материалов повышенной твердости (ударно – отбойные дробилки фирмы «Крупп»)

В отличие от дробилок других типов дробилки ударного действия могут осуществлять большие степени дробления: 30-40 (дробилки фирмы «Крупп» до 100) без значительной потери производительности. Преимуществом дробилок этого типа является также большая произ-

водительность, простота конструкции, удобство обслуживания, низкий расход энергии, возможность дробления глинистых материалов. Недостаток – высокий износ деталей при переработки абразивных руд, требуют установки уловителя металлов.

**Молотковые дробилки.** Материал дробится ударами молотков свободно подвешенных к ротору и отбрасывается к стенкам корпуса на отбойные плиты.

Разрушение кусков происходит за счет ударов кусков о плиты, ударов молотков, раздавливанием и истиранием о колосниковую решетку.

Дробимый продукт разгружается через решетку или без нее под дробилку.

Крупность продукта регулируется шириной зазоров между молотками и отбойными плитами, а также молотками и колосниковой решеткой (не шириной ячеек колосниковой решетки).

Приводные шкивы служат маховиками. Они выравнивают ход дробилки. С валами соединяются с помощью фрикционных муфт и могут отключаться при превышении нагрузки.

Молотковые дробилки бывают (рис. 2.3.4.4.1.) однороторные (а-д, з-к); двухроторные (е, ж).

Двухроторные дробилки имеют большие, чем однороторные размеры загрузочного отверстия. Это позволяет дробить материал с размерами кусков больше метра.

Двухроторные дробилки бывают последовательного (е) и параллельного (ж) дробления.

В молотковой двухроторной дробилке последовательного дробления (е) верхний и нижний роторы вращаются в одну сторону. По кускам поступающего материала наносятся удары сначала верхнего ротора, отбрасывающего куски на отбойные плиты, затем нижнего ротора, разбивающего куски руды и проталкивающего их через колосниковую решетку. Зона между роторами является зоной особенно интенсивного дробления.

В двухроторной дробилке с параллельным расположением роторов (ж) роторы вращаются навстречу друг другу. Дробилки примечательны тем, что могут принимать куски размером до 2000 мм и массой 4 т при дроблении до кусков размерами 30-35мм. Производительность около 1000 т/ч.

Молотковые дробилки бывают с колосниковыми решетками (а-в, е, ж, з) и без решеток (г, д, и, к). Молотковые дробилки без колосниковых решеток дают готовый по крупности продукт за счет повышенной частоты вращения ротора. Решеткой ограничивается максимальный размер кусков дробленого продукта.

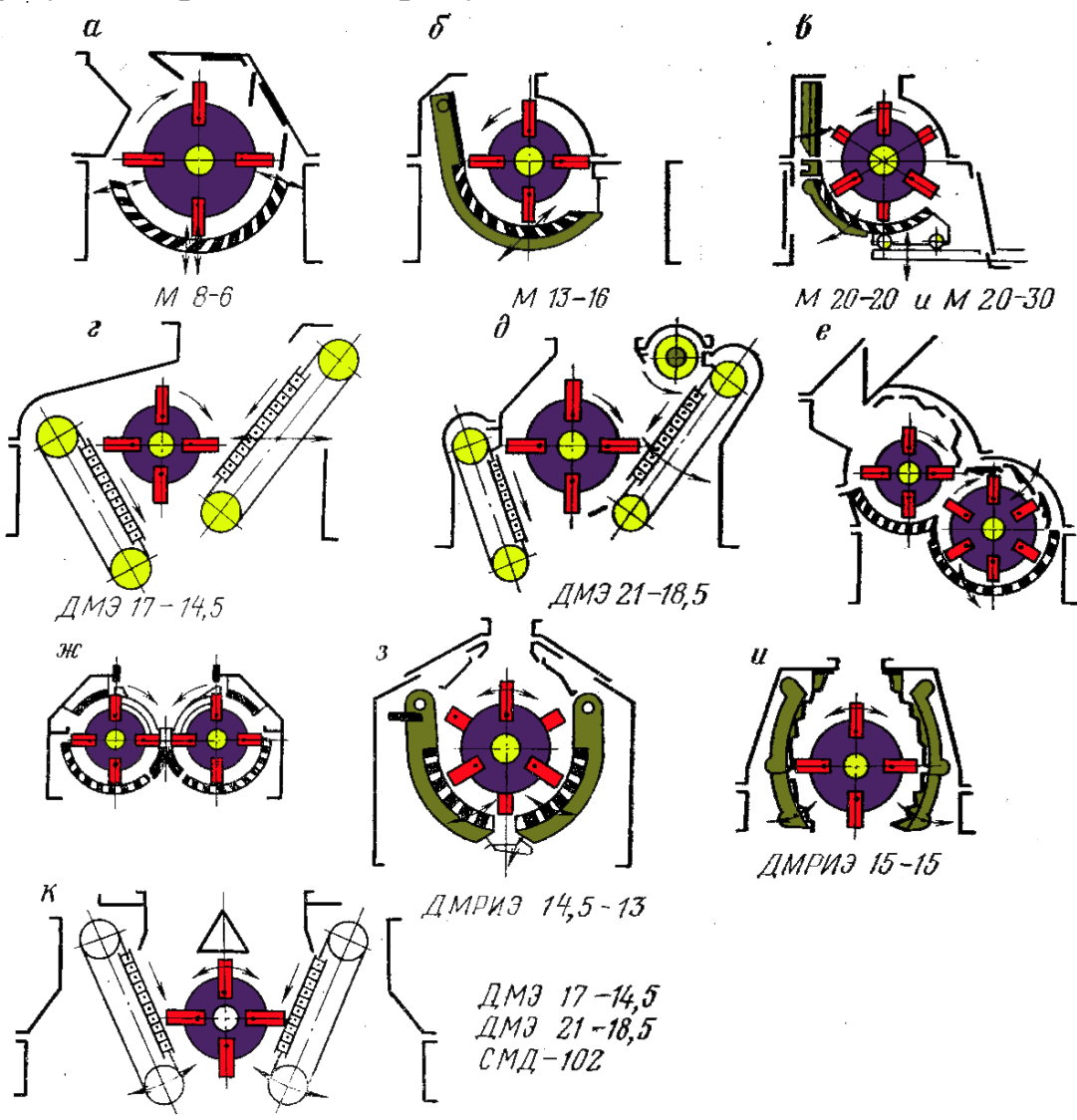


Рис. 2.3.4.4.1. Классификация молотковых дробилок  
 а-в – однороторные нереверсивные с колосниковыми решетками;  
 г-д – то же без решеток; е-ж – двухроторные с решетками;  
 е – последовательного; ж- параллельного дробления;  
 з – однороторная реверсивная с решеткой; и-к – то же без решеток;  
 г, д, к – с подвижными отбойными плитами  
 (пластинчатым конвейером);

Молотковые дробилки производятся с неподвижными (а-в, е-и) и подвижными (г, д, к) отбойными плитами. Дробилки с подвижными отбойными плитами (пластинчатый конвейер) служат для дробления вязкого влажного глинистого материала.

Молотковые дробилки бывают с вращением ротора в одну сторону (а-ж) и реверсивные (и-к), имеющие возможность вращения в обе стороны. Возможность вращения в обе стороны позволяет использовать молотки без разборки дробилки для их поворота в случае износа.

Однороторная молотковая дробилка (рис. 2.3.4.4.2.) состоит из корпуса (1), внутренняя часть которого облицована износостойчивым материалом. На опорах установлены подшипники роликовые или скольжения, с помощью которых вращается вал ротора (2).

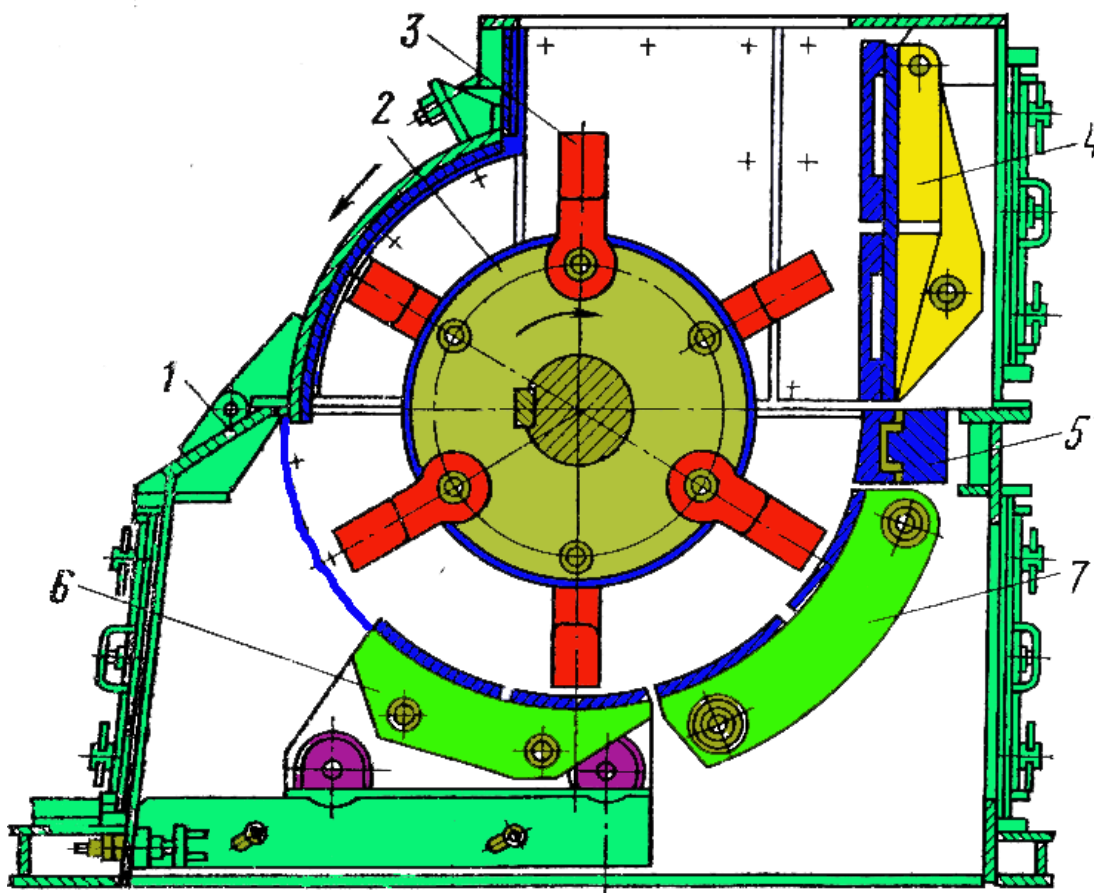


Рис. 2.3.4.4.2. Однороторная молотковая дробилка М 20-20 с диаметром и длиной ротора 2000 мм×2000 мм.

- 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – молотки; 4 – отбойные плиты; 5 – отбойный брус; 6 – колосниковая решетка выдвигаемая;  
7 – колосниковая решетка поворотная

Ротор состоит из ряда дисков с отверстиями на периферии, через которые пропущены стержни. На стержнях шарнирно рядами подвешены молотки. В верхней части дробилки крепятся отбойные плиты (4). В нижней части ( $135-180^{\circ}$ ) по окружности, описываемой молотками, расположена колосниковая решетка, состоящая из двух секций: поворотной и выдвижной. С помощью поворотной секции (7) можно регулировочным болтом изменять ширину зазора между молотками и решеткой, а выдвижную секцию (6) поднимать или опускать. Выдвижную секцию можно удалять из дробилки по мере необходимости, выкатывая ее на катках по направляющим полкам за пределы корпуса.

Для крупного дробления устанавливается меньшее число рядов молотков (тяжелых), для мелкого – большее, но легких молотков.

Молотки делаются из износостойчивой стали различной формы (рис. 2.3.4.4.3.) в зависимости от свойств материала и требуемой крупности. Они заменяются после износа со всех сторон.

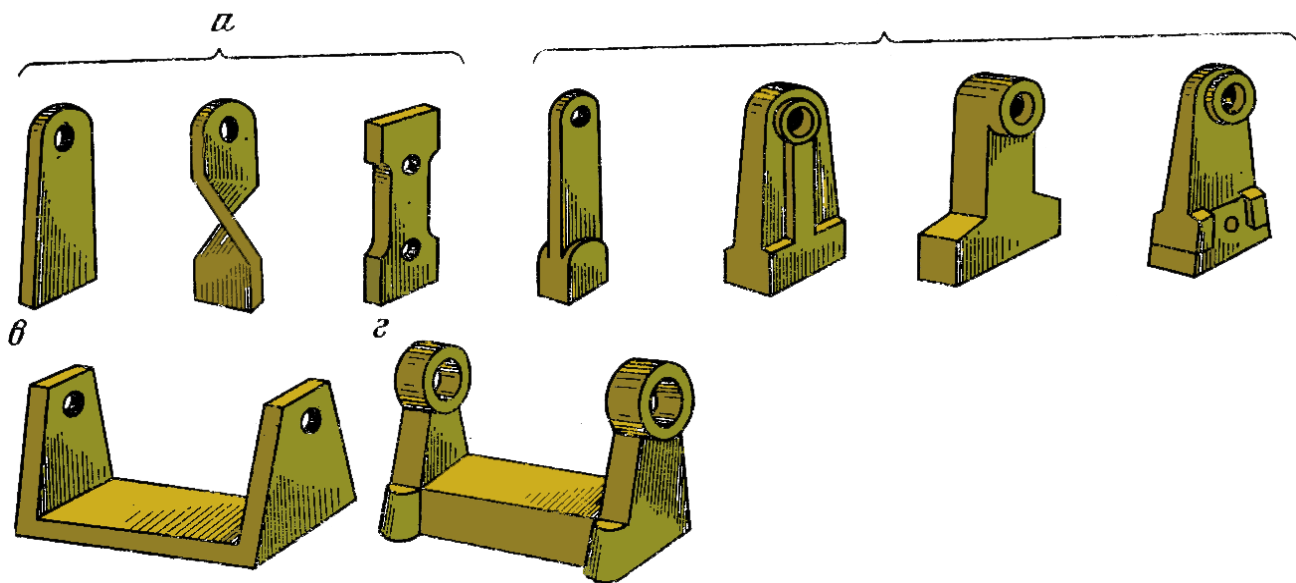


Рис. 2.3.4.4.3. Различные типы молотков.

а- колосникового типа; б– бандажного типа; в– молотки скобообразные ослабленного сечения; г– усиленного сечения

Молотки колосникового типа (а) и облегченные скобообразные (в) применяются для дробления хрупких и мягких пород (угля, мела и т.д.). Молотки бандажного типа (б) имеют утолщения в рабочей части и применяются для дробления материалов средней твердости. Делают их из стали с покрытием. Скобообразные усиленной конструкции (г)

применяются для дробления твердых минералов. Однако при неравномерном износе таких молотков нарушается уравновешенность ротора. Делают молотки из марганцовистой стали.

Некоторые молотки имеют два отверстия и после износа нижней части переворачиваются вверх ногами (а № 3). Молотки производят массой от 1кг до 135кг.

**Роторные дробилки.** Роторные дробилки делятся на те же типы, что и молотковые (рис. 2.3.4.4.4.).

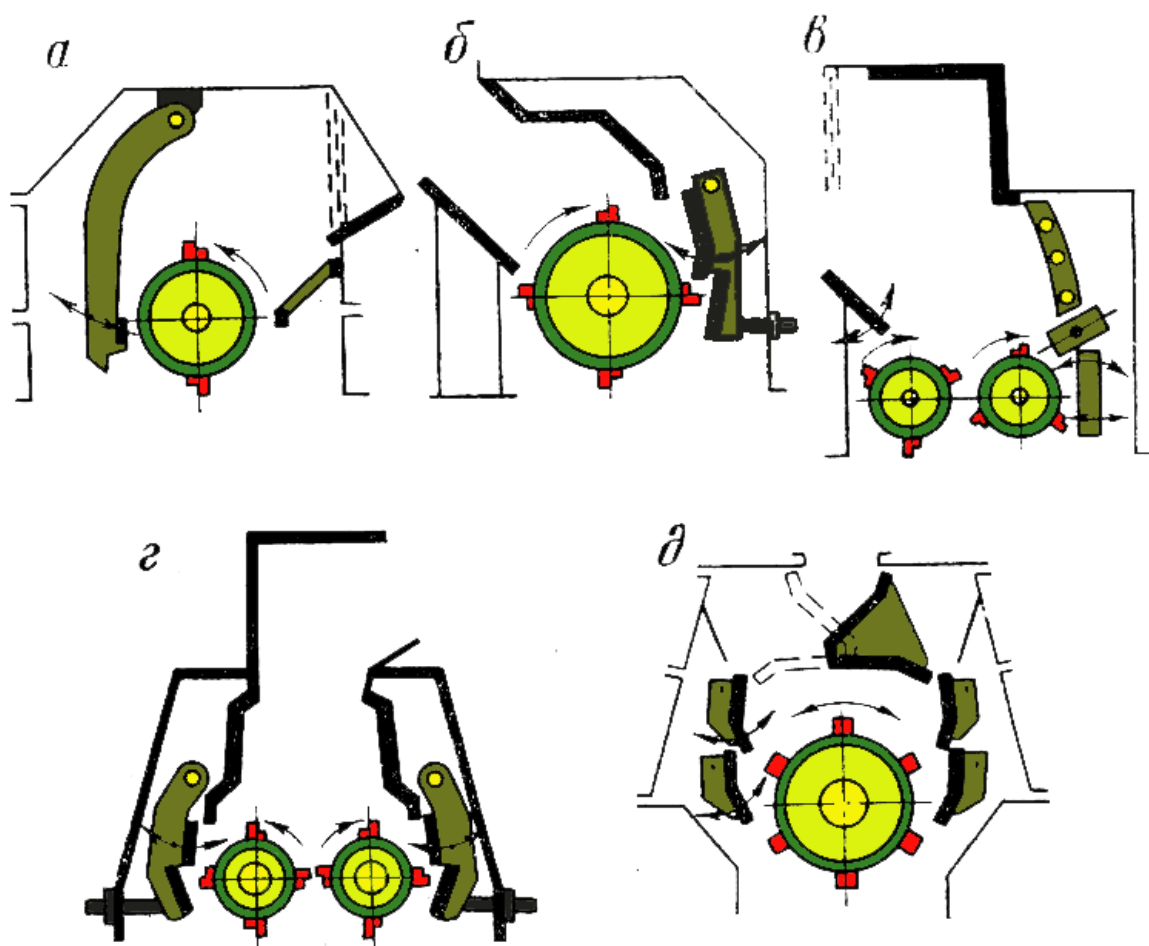


Рис. 2.3.4.4.4. Классификация роторных дробилок

а – однороторная нереверсивная с колосниковой решеткой; б – однороторная нереверсивная без решетки; в – двухроторная с решеткой; г – двухроторная без решетки; д – однороторная реверсивная

Принцип действия тот же, что и у молотковых. Но удары более мощные за счет того, что, вместо шарнирно навешанных молотков, они дробят минералы жестко закреплёнными билами.

Ударяясь об отбойные плиты, руда вновь отскакивает на ротор до



тех пор, пока не вывалится через зазоры колосниковой решетки или через выходную щель между билами и отбойной плитой.

Применяют роторные дробилки для хрупких и мягких минералов, в основном, на первой стадии дробления за счет более мощных ударов, но также применимы и на средней и мелкой стадии.

Преимущества те же, что и у молотковых, но большая мощность ударов.

Недостаток в том, что била больше, чем молотки, подвержены поломкам за счет жесткого крепления, чем объясняется высокий износ дробящих тел – бил, особенно, при дроблении абразивных материалов.

Корпус (1) (рис. 2.3.4.4.5.) роторных и молотковых дробилок делают сварным, имеющим разъем в горизонтальной плоскости.

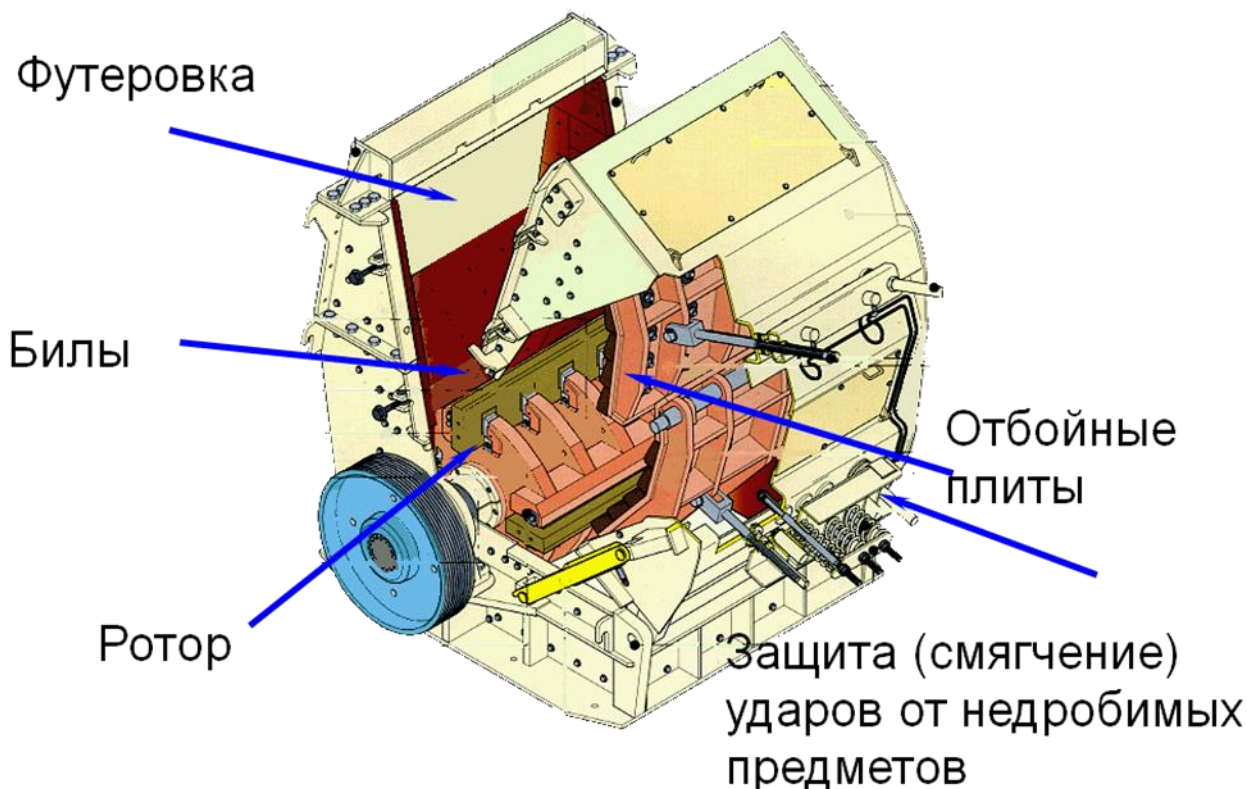
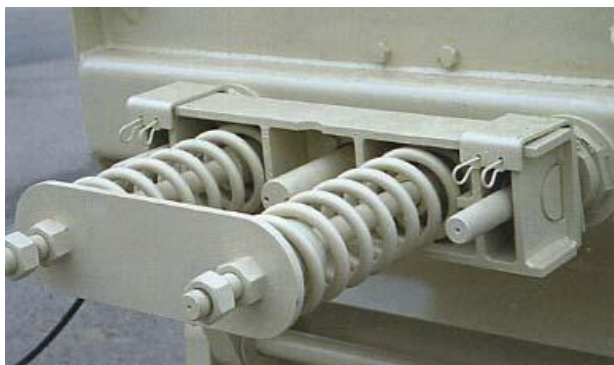


Рис. 2.3.4.4.5. Однороторная дробилка NP-1315 Nordberg NW (Metso Minerals)

Внутренняя сторона футерована бронированными плитами в верхней части дробилки. Вал опирается на роликовые подшипники, на нем закреплен ротор с жестко закрепленными билами. Зазор между вращающимся ротором и нижней кромкой отбойно-отражательных

плит является разгрузочным отверстием дробилки.

Ширина разгрузочного отверстия регулируется сменой положения нижней отбойной плиты. Положение плит фиксируется тягами и пружинами возвратно-регулирующего устройства.



Попавший в дробилку недробимый предмет отбрасывается на плиты и оказывает большее давление, чем руда. Пружины возвратно-регулирующего механизма сжимаются, плита поворачивается на некоторый угол вокруг оси подвеса и предмет, как правило, металлический выпадает в увеличившуюся выходную щель. Пружины возвращают плиту в первоначальное положение.

При эксплуатации дробилок ударного типа необходимо периодически проверять балансировку всех вращающихся деталей, вследствие больших скоростей вращения. Она нарушается из-за износа молотков, бил. На дробящих телах не допускается заварка трещин – их надо заменять, т.к. нарушается балансировка. Дробилки требуют равномерной загрузки по ширине приёмного отверстия и по времени. Обычно дробилки ударного типа всё же работают при пониженных степенях дробления, около 10, т.к. повышение степени дробления уменьшает производительность дробилки. Перед дробилками необходимо устанавливать уловители недробимых металлических предметов. Также необходимо устанавливать дробилки на фундаментах с достаточной массой, чтобы компенсировать вибрации, возникающие при дроблении.

Русские дробилки типа ДРК – дробилка роторная крупного дробления и ДРС – среднего и мелкого дробления, конструктивно не отличаются, только количеством и мощностью бил.

**Дезинтеграторы.** Дезинтеграторы применяют для дробления угольной шихты перед коксованием, приготовления порошковых полимерных композиций, для тонкого и сверхтонкого дробления хрупких и мягких полезных ископаемых.

Дробящая зона (рис. 2.3.4.4.6.) состоит из двух роторов (которые называются корзинами) насаженных на валы (1,11) электродвигателей (9,10). На валы насажены ступицы (3,4), на которых укреплены диски (5,8). Диски имеют несколько рядов концентрически расположенных пальцев (7).

Валы вращаются в разные стороны. Исходный материал подается в дезинтегратор через загрузочную воронку (9). Дробление в дезинтеграторах осуществляется ударом. Получив удар от внутреннего ряда пальцев, куски отбрасываются к следующему ряду, затем к третьему ряду пальцев и т.д. Дробимый продукт разгружается под дезинтегратор.

Преимущество: одновременно с дроблением осуществляется хорошее перемешивание. Недостатком является то, что дезинтеграторы требуют очень тщательной балансировки валов, равномерной загрузки материала, требуют установки магнитных уловителей металла, а также то, что дробящие детали дезинтегратора в процессе работы сильно изнашиваются.

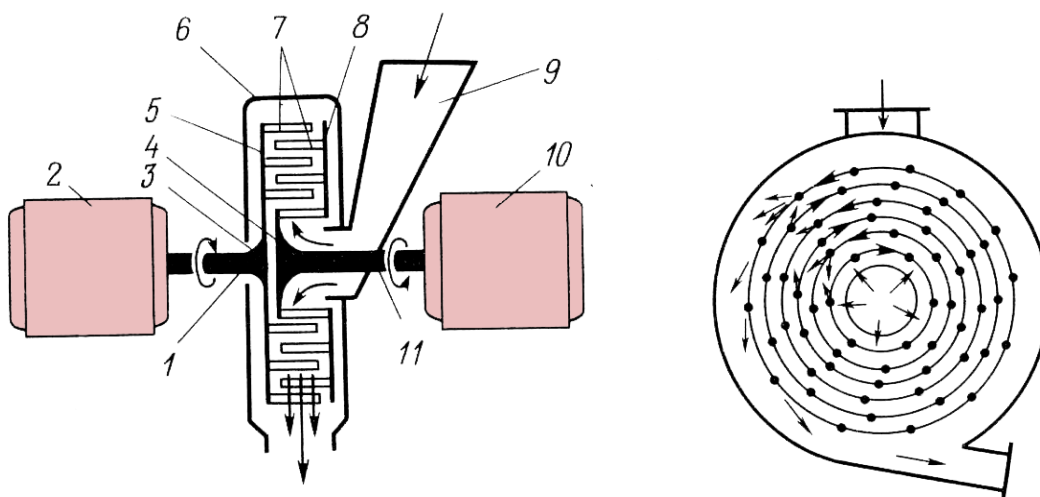


Рис. 2.3.4.4.6. Дезинтегратор.

- 1, 11 – валы электродвигателей; 2, 10. – электродвигатели;  
 3, 4 – ступицы; 5, 8 – диски, 6 – корпус с роторами (корзинами);  
 7 – пальцы; 9 – загрузочная воронка

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Дайте определение процессу дробления.
2. Назовите, для чего необходимы операции дробления, В чем его принцип?
3. Чем определяется крупность дробленного полезного ископаемого?
4. Как называют продукты классификации?

5. Назовите нижний предел крупности частиц, направляемых на дробление.

6. С какой целью производится разрушение минералов, какие назначения операций дробления вы знаете?

7. Что такое степень дробления?

8. Какие стадии дробления вы знаете?

9. Как определяется общая степень дробления через частные степени дробления?

10. Какие схемы дробления вам известны?

11. Какие аппараты-дробилки вы знаете?

12. Назовите область применения, устройство, принцип действия щековых дробилок их достоинства и недостатки, системы защиты от попадания недробимого предмета.

13. Назовите область применения, устройство, принцип действия валковых дробилок, их достоинства и недостатки, системы защиты от попадания недробимого предмета.

14. Назовите область применения, устройство, принцип действия конусных дробилок, их достоинства и недостатки, системы защиты от попадания недробимого предмета.

15. Назовите область применения, устройство, принцип действия конусных дробилок, их достоинства и недостатки, системы защиты от попадания недробимого предмета.

16. Назовите отличия в конструкции конусных дробилок для крупного дробления и конусных дробилок для среднего и мелкого дробления.

17. Назовите отличия в конструкции молотковых дробилок и роторных дробилок.

18. Назовите известные типы молотковых дробилок.

19. Назовите область применения, устройство, принцип действия дезинтеграторов, их достоинства и недостатки.

## **2.4. Измельчение**

Измельчение – процесс разрушения материала с помощью аппаратов, которые называются мельницами.

На измельчение обычно отправляется материал крупностью менее 5 мм после последней стадии дробления, чаще частицы намного меньше.

Принцип действия можно представить на примере барабанной мельницы (рис. 2.4.1.).

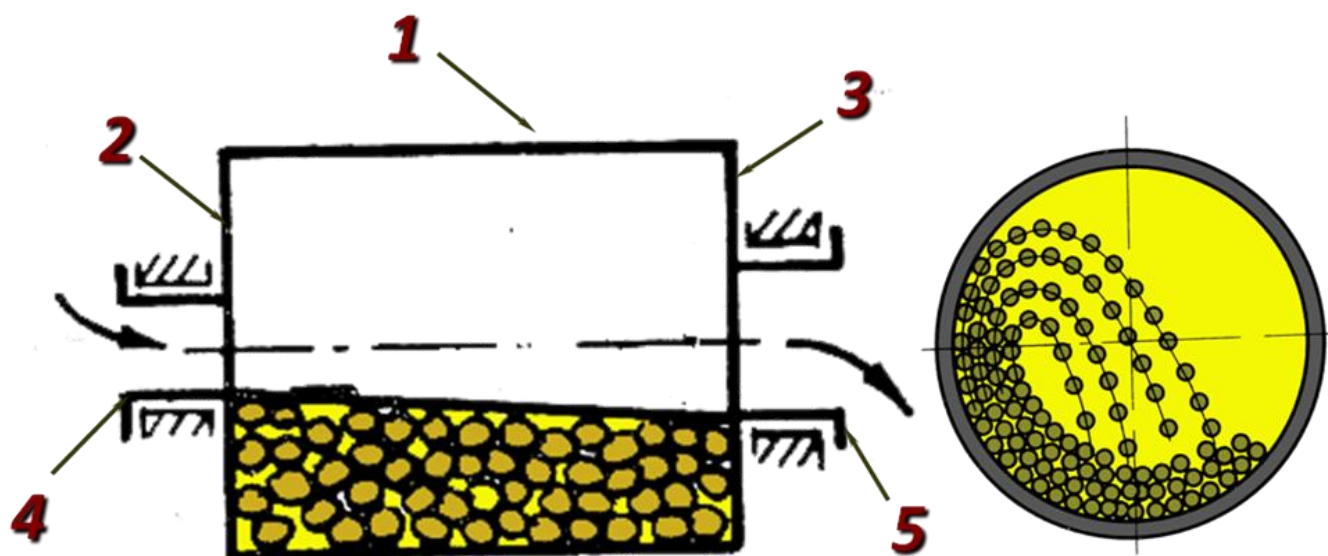


Рис. 2.4.1. Барабанная мельница.

1 – пустотелый барабан; 2,3 – торцевые крышки; 4,5 – полые цапфы

Вращающаяся барабанная мельница конструктивно состоит из пустотелого барабана (1) с торцевыми крышками (2,3), на которых расположены входные и выходные отверстия-цапфы (4,5). Внутри мельницы находятся измельчающие тела-стержни, шары и т. д. через которые постоянно поступает и протекает пульпа - исходный материал.

В зависимости от вида дробящей среды различают *мельницы с мелющими телами*: шаровые, стержневые, галечные, самоизмельчения, полусамоизмельчения; *без мелющих тел*: аэродинамические.

По режиму работы мельницы бывают *непрерывного действия* (рис. 2.4.2.) (к ним относятся барабанные, шаровые, стержневые, вибрационные, струйные и т.д.) и *периодического действия* (планетарные, гигроскопичные).

По способу измельчения можно выделить два режима работы мельниц: *мокрое* измельчение и *сухое*.

По конструкции мельницы бывают *барабанные, роlikо-кольцевые, чашевые, дисковые*.

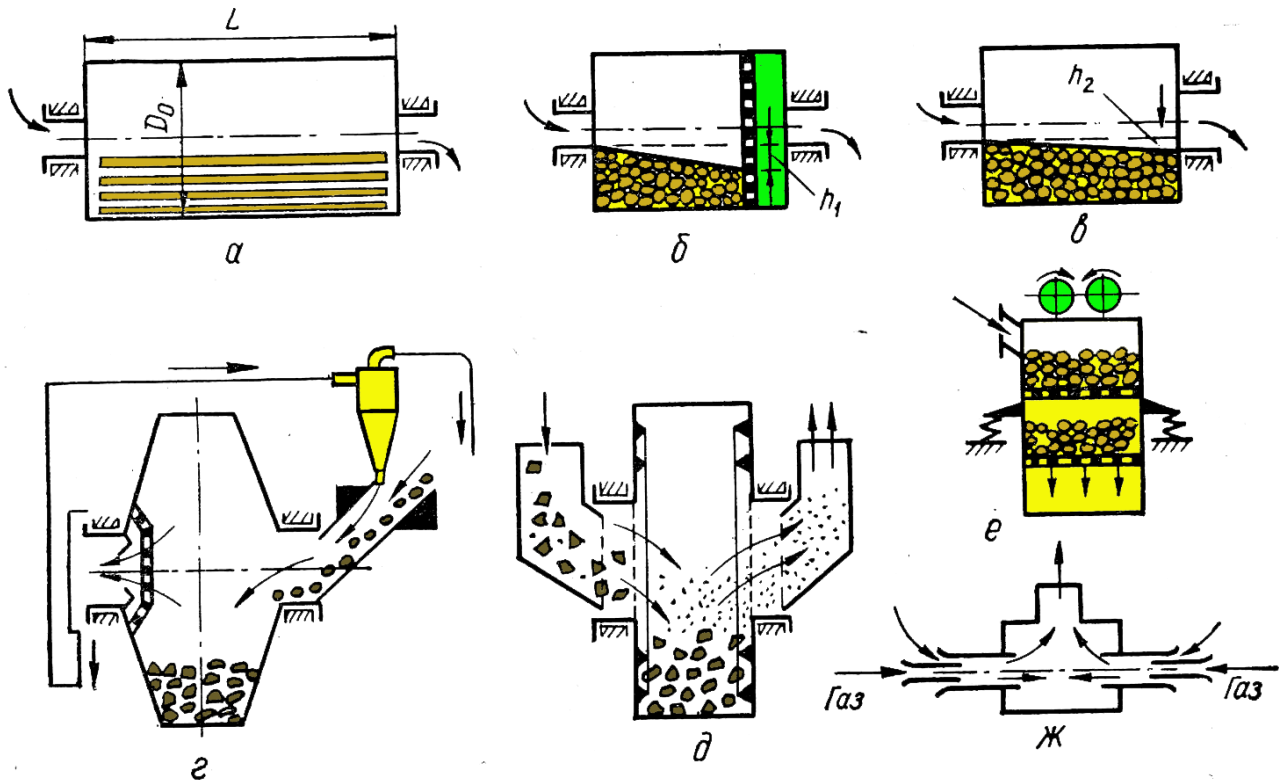


Рис. 2.4.2. Барабанные мельницы непрерывного действия. а - стержневая мельница; б, в – шаровые с удалением продуктов через решетку и с центральной разгрузкой; г, д – мельницы для мокрого и сухого самоизмельчения; е – вибрационная мельница с шаровой загрузкой; ж – струйная мельница

### 2.4.1. Барабанные мельницы

Барабанные мельницы по принципу действия подразделяются на мельницы с *вращающимся барабаном*, *вибрационные*, *центробежные*.

По способу разгрузки мельницы различают как *сливные* (с центральной разгрузкой) и *с разгрузкой через решетку*; по форме барабана: цилиндрические и цилиндроконические.

Цилиндрические барабанные мельницы по длине барабана делятся на *короткие* ( $L \leq D$ ), *длинные* ( $L \approx 2-3D$ ) и *трубные* ( $L \geq 3D$ ), где  $L$  – длина барабана, а  $D$  – диаметр. Цилиндроконические барабанные мельницы бывают с короткой загрузочной частью, с увеличенной и уменьшенной цилиндрической частью барабана.

**Шаровая мельница с центральной разгрузкой** (рис. 2.4.1.1.) применяется для измельчения дробленой руды крупностью 30-5 мм и продуктов обогащения крупностью до 0,05 мм. Они работают как в открытом, так и в замкнутом цикле с классификаторами. Шаровые

мельницы с центральной разгрузкой устанавливают в тех случаях, когда необходим тонкий помол.

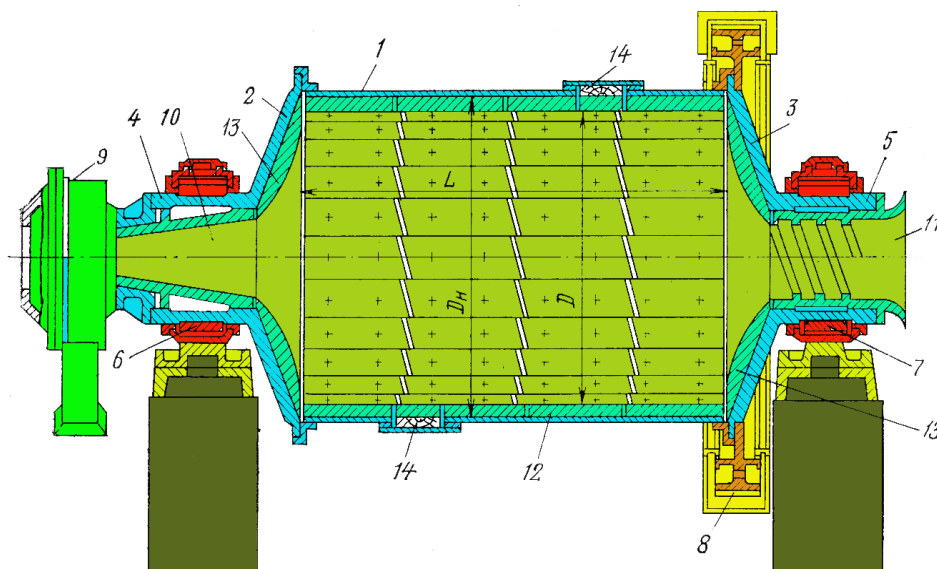


Рис. 2.4.1.1. Шаровая мельница с центральной разгрузкой.

1 – барабан; 2 – загрузочная крышка; 3 – разгрузочная крышка; 4,5 – цапфы; 6,7 – подшипники; 8 – венцовая шестерня; 9 – комбинированный питатель; 10,11 – защитные загрузочные и разгрузочные втулки; 12 – футеровка цилиндрической части барабана; 13 – футеровка крышки барабана; 14 – люк

Барабан изготавливается сварным или клепаным из толстой листовой стали, иногда литым из стального чугуна или стали с фланцами на концах. Торцевые крышки к фланцам крепят болтами.

Вращение барабану передается от электродвигателя посредством малой шестерни, насаженной на вал и зубчатого венца на барабане. Торцевые крышки (2,3) крепятся болтами к фланцам барабана. У мельниц малого размера приводной вал вращается от электродвигателя через ременную передачу, у мельниц большого размера через редуктор или муфту. Подшипники (6,7) устанавливаются на фундаментной плите.

Движение пульпы вдоль оси мельницы происходит за счет разницы уровня отверстий в загрузочной и разгрузочной цапфе, за счет большого диаметра разгрузочной цапфы. Таким образом, разгрузка пульпы происходит путем свободного слива через отверстие в разгрузочной цапфе. Тонкий помол в мельницах достигается за счет их мед-

ленного вращения.

Для удержания в барабане необходимого количества шаров в патрубке разгрузочной цапфы устанавливается диафрагма со щелевыми отверстиями или патрубков (11) выполняется с обратной спиралью.

В последнем случае осколки шаров и изношенные шары накапливаются в мельнице, и требуется периодическая замена измельчающей среды. В мельницах малых размеров диаметр разгрузочной цапфы недостаточен для введения футеровки внутрь мельницы и на барабане устанавливаются два люка или один (14).

**Шаровая мельница с разгрузкой через решетку.** Конструкция и принцип действия шаровой мельницы с разгрузкой через решетку (рис. 2.4.1.2.) во многом одинакова, но имеются и отличия.

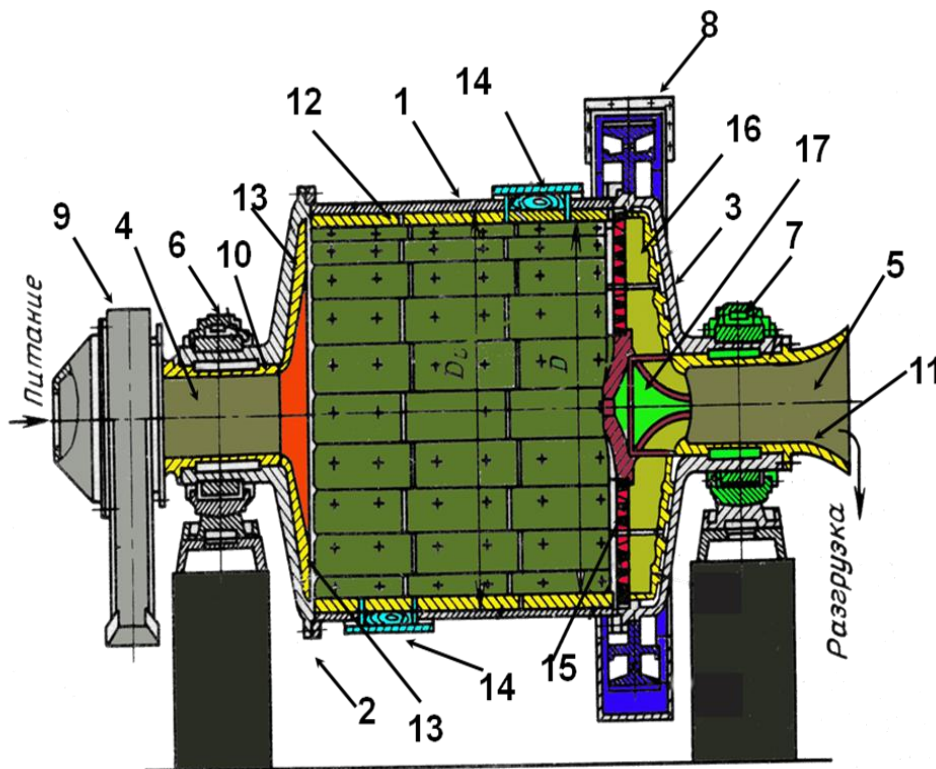


Рис. 2.4.1.2. Шаровая мельница с разгрузкой через решетку.

- 1 – барабан; 2 – загрузочная крышка; 3 – разгрузочная крышка; 4,5 – цапфы; 6,7 – подшипники; 8 – венцовая шестерня;  
9 – комбинированный питатель; 10,11 – защитные загрузочные и разгрузочные втулки; 12 – футеровка цилиндрической части барабана; 13 – футеровка крышки барабана; 14 – люк; 15 – разгрузочная решетка; 16 – элеваторный пульпоподъемник;  
17 – разгрузочный конус



В месте разгрузки эта мельница имеет решетку (15). Со стороны разгрузочной торцевой крышки решетка имеет радиальные ребра-лифтёры (16), делящие пространство между решеткой и торцевой крышкой на секторные камеры, открытые в цапфу.

При вращении барабана ребра действуют как элеваторный пульпоподъемник. Они поднимают пульпу до уровня разгрузочной цапфы. При этом в мельнице понижается уровень пульпы, а, значит, сокращается время пребывания в ней материала вследствие уменьшения объема пульпы. Сокращение времени пребывания материала в мельнице приводит к грубому помолу, что уменьшает вероятность переизмельчения. Грубому помолу (40-60% класса 0,074 мм) способствует быстрое вращения мельницы. Шаровые мельницы с разгрузкой через решетку применяются на первой стадии измельчения.

Решетка собирается из отдельных секторов из стали. Они могут быть литыми с продолговатыми отверстиями или собранными из колосников трапециевидного сечения.

Преимуществом этого типа мельниц являются их высокие экономические и эксплуатационные показатели, которые дают возможность изготавливать мельницы больших размеров, например, МШР 4500×6000 мм (диаметр×длина барабана) и более.

**Стержневая мельница.** Стержневые мельницы применяются для грубого помола на первой стадии мокрого измельчения до 0,2-0,4 мм, для мелкого дробления перед шаровыми мельницами, для измельчения тонковкрапленных руд.

Стержневые мельницы (рис. 2.4.1.3.) изготавливаются только с центральной разгрузкой. Диаметр разгрузочной горловины делается значительно больше, чем у шаровых мельниц. Этим достигается снижение уровня пульпы и увеличивается скорость её прохождения. Разгрузочные горловины 1200 мм и более позволяют проникать через них внутрь барабана для осмотра и смены футеровки. В мельницах другого типа с малым диаметром разгрузочной цапфы, например, шаровых, при смене футеровки приходится снимать торцевую крышку.

Торцевая крышка футерована изнутри плоскими поверхностями для недопущения продольного перемещения стержней.

Футеровка барабана волнистая или ступенчатая, гладких нет, т. к. нельзя допускать проскальзывания стержней из-за их быстрого износа.

Длина барабана в 1,4-2,0 раза больше его диаметра. Дробящая среда – стержни из прокатной углеродистой стали. При длине стерж-

ней 6 м их диаметр 200 мм, средний диаметр изношенных стержней 50 мм. Длина стержней 4,5-6 м должна быть на 25-30 мм короче внутренней длины мельницы. Необходимо, чтобы изношенные стержни не гнулись, а ломались на короткие куски и выходили из мельницы вместе с пульпой. Поэтому они делаются из хрупкой стали, иначе изношенные тонкие стержни спутают остальные как проволокой.

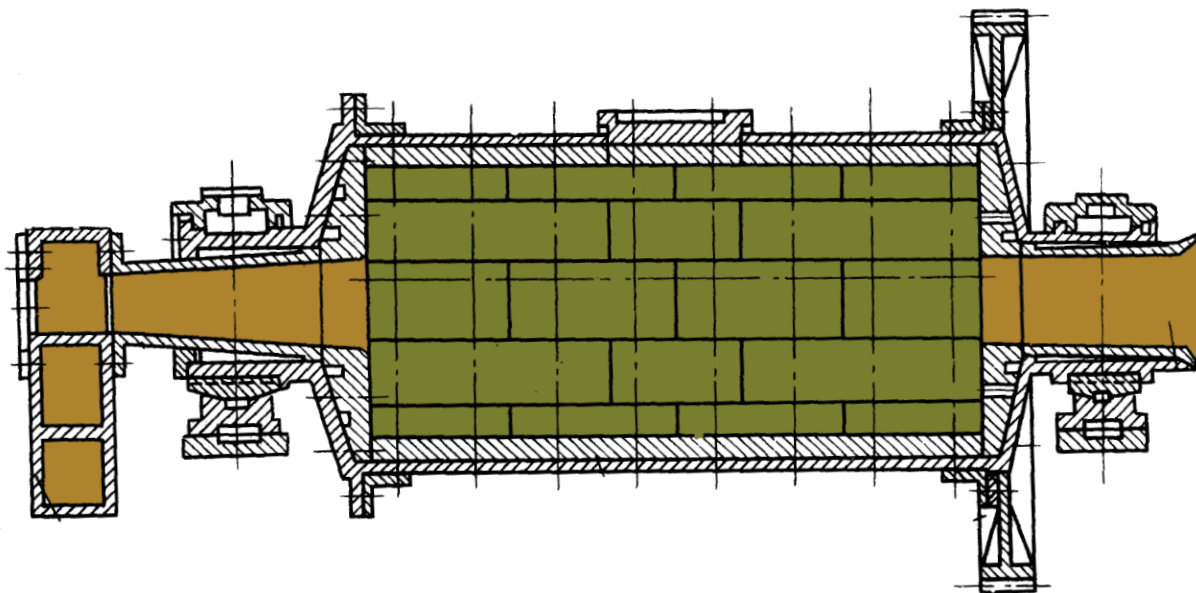


Рис. 2.4.1.3. Стержневая мельница

Стержневые мельницы применяются для грубого помола. Оптимальная крупность питания от 15-20 мм до 1-5 мм. Достоинство в том, что в результате измельчения получается равномерный по крупности продукт, т. к. крупные куски, попадая между стержнями, измельчаются, предохраняя мелкие от переизмельчения. Кроме того, при вращении мельницы контакт между соударяющимися стержнями осуществляется по всей длине, следовательно, действие удара меньше, меньше и износ (чем в шаровых). Недостаток в том, что их нельзя использовать на рудах вязких и твердых.

**Рудно-галечные мельницы.** Рудно-галечные мельницы (рис. 2.4.1.4.) по конструкции схожи с шаровыми с разгрузкой через решетку. Дробящая среда – окатанная речная галька диаметром 20-150 мм. Вследствие малой плотности нагрузки их объем для той же мощности привода, делается большим до габаритов 6,0×12,5.

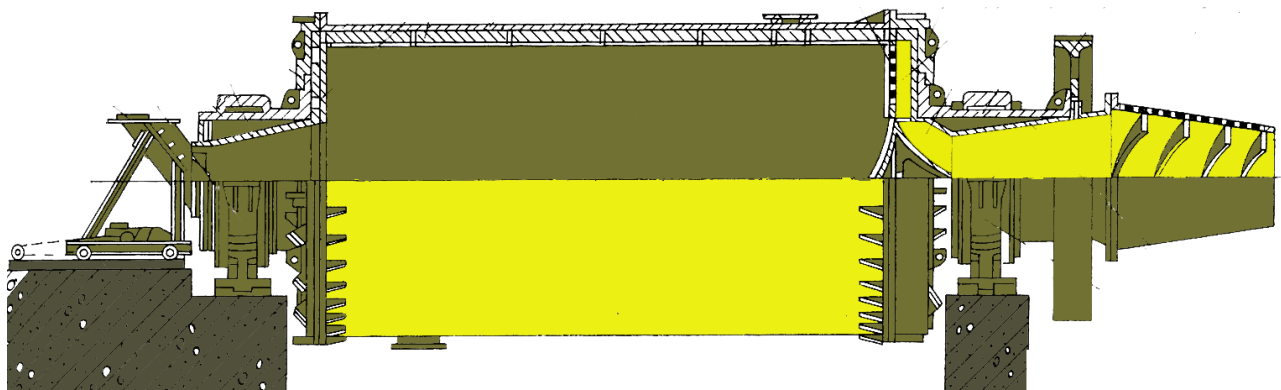


Рис. 2.4.1.4. Рудно-галечные мельницы

Рудно-галечные мельницы применяются для измельчения руды крупностью 2-3 мм, когда не желателен контакт с железом, после мельницы самоизмельчения во второй и последующих стадиях, для измельчения золотосодержащих, полиметаллических руд.

**Мельницы самоизмельчения и полусамоизмельчения.** В мельницах самоизмельчения и полусамоизмельчения в качестве дробящей среды используют крупные куски этой же руды.

Процесс называют *рудным самоизмельчением*, когда крупные куски руды до 300-600 мм добавляются в мельницу, измельчаясь сами, измельчают более мелкие куски. Барабаны часто короткие отношение диаметра к длине барабана  $D:L = 3:1$ , иногда 2:1 или 1,2:1. Диаметр барабана делают большого диаметра до 12 м.

*Рудным полусамоизмельчением* называют измельчение руды в мельницах в ситуации, когда при недостатке больших кусков приходится добавлять стальные шары диаметра  $D=100-125$  мм (6-10% от объема мельницы). Также поступают, если надо увеличить производительность мельницы.

*Рудно-галечным измельчением* называют измельчение в рудно-галечных мельницах после рудного самоизмельчения руды до крупности 6-0 мм. Рудная галька крупностью 100-40 мм используется как дробящие тела.

В *аэродинамических мельницах* руда с повышенной скоростью (100 м/с) в потоках газа измельчается за счет соударения частиц друг о друга.

Преимущества применения мельниц самоизмельчения в том, что можно подавать руду после первой стадии дробления 300-0 мм, при этом исключается 2 и 3 стадии дробления; осуществляется экономия в

расходе стали; уменьшается переизмельчение руды, благодаря разлому их по межзерновым границам.

Недостатки: выше расход электрической энергии, футеровки, ниже производительность, чем в случае применения шаровых мельниц; накапливание в мельнице кусков 25-75 мм, слишком мелких, чтобы дробить другие куски и слишком больших и прочных, чтобы быть раздробленными.

**Мельница «Аэрофол» для сухого самоизмельчения.** Мельница «Аэрофол» (рис. 2.4.1.5.) для сухого самоизмельчения представляет собой короткий барабан (1) большого диаметра (5,5-11 м), на внутренней поверхности которого вдоль образующей барабана укреплены балки-ребра (2).

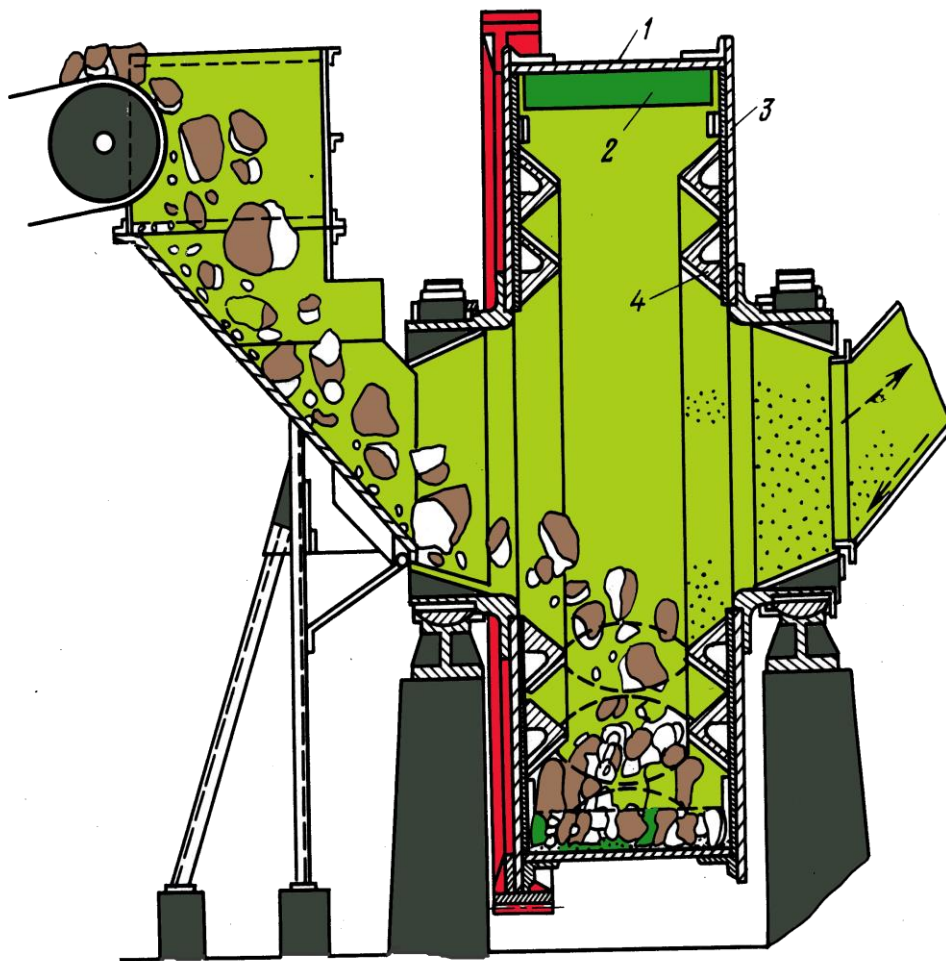


Рис. 2.4.1.5. Мельница «Аэрофол»  
1 – короткий барабан; 2 – балки-ребра; 3 – торцевые крышки;  
4 – кольца треугольного сечения

При вращении барабана они поднимают куски материала. Падая вниз куски, разбиваются, ударяясь о ребра и о другие куски руды, одновременно дробя друг друга.

На торцевых краях (3) укреплено кольцо (4) треугольного сечения, которое направляет материал в середину барабана.

Крупные куски в сухих мельницах практически не продвигаются вдоль мельницы, поэтому длина барабана небольшая  $L=1/3D$ , в три раза меньше диаметра. Частота вращения 80-85% от критической частоты (водопадный режим).

Транспортировка измельченного материала производится с помощью вентилятора, это требует большого расхода энергии и подсушки исходной руды до влажности 2,5 % – это сложно и дорого. Но, если за измельчением следует сухой технологический процесс, то при этом исключается дорогостоящая водно-шламовая схема.

#### ***2.4.2. Сухое и мокрое измельчение. Достоинства и недостатки***

Преимущество мокрого измельчения по сравнению с сухим:

- 1) меньшая потребляемая энергия на одну тонну материала;
- 2) выше производительность, около 15 %;
- 3) возможность применять более высокие частоты вращения барабана 75-80 % от критической частоты (при сухом 65-70 %);
- 4) отсутствие пылеобразования и, соответственно, аспирационных систем вентиляции и очистки воздуха;
- 5) облегчение транспортирования и распределения материала, т. к. можно использовать гидротранспорт с помощью песковых насосов;
- 6) возможность использовать мокрое грохочение и гидроциклоны для контроля крупности продукта (т.е. применять более эффективные операции по сравнению с сухим грохочением и воздушной классификацией).

Недостатки:

- 1) большой износ мелющих тел и футеровки;
- 2) при необходимости сушки измельченного материала сухое измельчение имеет преимущество и целесообразно там, где для измельчения идет сухой технологический процесс обогащения.

#### ***2.4.3. Режим работы мельницы***

При вращении барабана измельчающая среда (стальные шары, стержни, куски руды и т.д.) и измельчающая руда благодаря трению поднимается на некоторую высоту и затем сползает, сталкивается или

падает вниз. Измельчение происходит за счет удара, раздавливания и истирания частиц.

При увеличении частоты вращения барабана может наступить момент, когда дробящие и измельчаемые тела начнут прижиматься центробежной силой к поверхности барабана и будут вращаться вместе с барабаном, не отрываясь от поверхности.

Такая частота называется критической.

$$n_{\text{кр}} = \frac{30}{\sqrt{R}} \left( \text{мин}^{-1} \right),$$

где  $R$  – это радиус барабана.

Режим работы мельницы определяется частотой вращения барабана.

При низкой частоте вращения мельницы (50-60% от критической) шары непрерывно циркулируют (рис. 2.4.3.1.), поднимаясь по concentрическим круговым траекториям и скатываясь параллельными слоями вниз (каскадом). Такой режим называется *каскадным*.

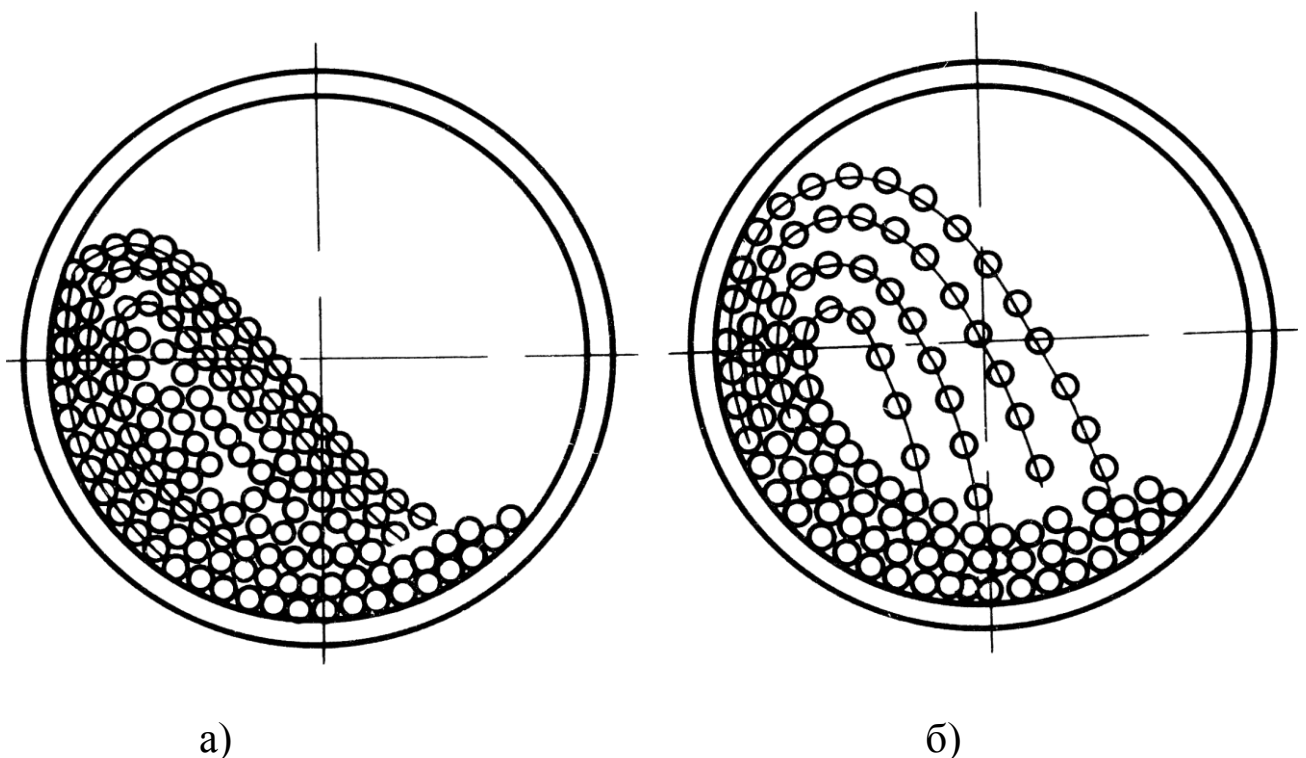


Рис. 2.4.3.1. Режим работы мельницы а) каскадный, б) водопадный

По мере повышения частоты вращения мелкие шары по круго-

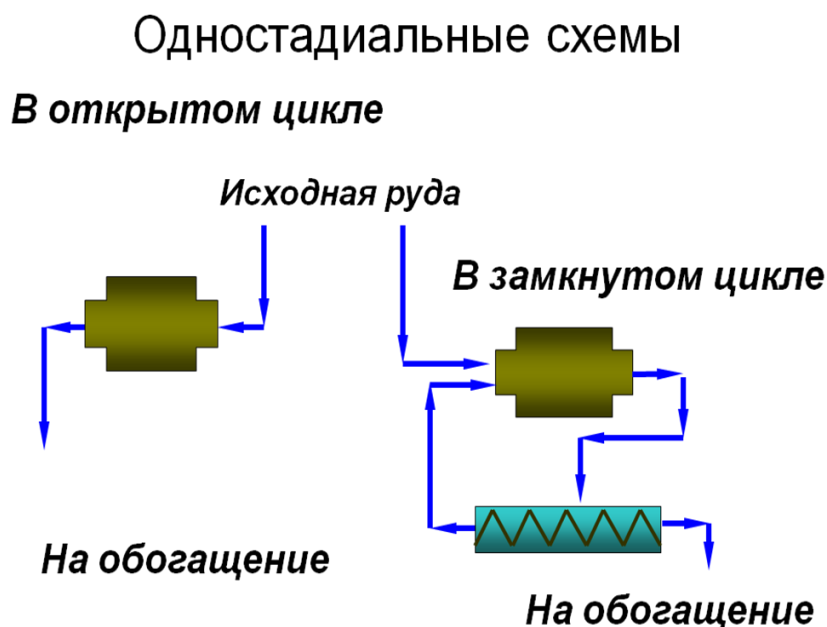
вым траекториям поднимаются всё выше. При частоте вращения мельницы 75-88 % от критической они сойдут с круговых траекторий и будут падать по параболическим (как тела, брошенные под углом к горизонту). Такой режим работы мельницы называется *водопадным*.

Резкого перехода от каскадного к водопадному режиму нет. При частотах в 60-75% от критической мельница работает в смешанном каскадно-водопадном режиме.

При таком режиме внешние слои шаров будут падать по параболическим траекториям, но не на свои круговые, а на внутренние слои, скатывающиеся по склону вниз согласно каскадному режиму.

#### 2.4.4. Схемы измельчения

По числу приемов измельчения различают одно- и двухстадиальные схемы измельчения. Трехстадиальные в виду их сложности применяют редко.



При стадийном измельчении применяют следующие виды классификации материала:

*предварительная*, когда перед мельницей удаляется часть мелкозернистого материала по принципу «не дробить ничего лишнего»;

*поверочная* – продукт мельницы проходит стадию классификации и крупные зерна – пески классификатора возвращаются в мельницу (замкнутый цикл);

*контрольная*, которую применяют в случае необходимости получить более тонкий продукт, чем получается после поверочной, в этом

случае слив поверочной классификации поступает на контрольную.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Дайте определение процессу измельчения.
2. Опишите принцип действия барабанной мельницы
3. Назовите верхний предел крупности частиц, направляемых на измельчение.
4. С какой целью производится разрушение минералов, какие назначения операций измельчения вы знаете?
5. Какие вы знаете мельницы в зависимости от вида дробящей среды?
6. Какие вы знаете мельницы в зависимости от режима их работы?
7. Какие бывают барабанные мельницы в соответствии с их классификацией по принципу действия, по способу разгрузки, по длине барабана?
8. Назовите область применения, устройство, принцип действия шаровых мельниц с центральной разгрузкой, их достоинства и недостатки.
9. Назовите область применения, устройство, принцип действия шаровых мельниц с разгрузкой через решетку, их достоинства и недостатки.
10. Назовите область применения, устройство, принцип действия стержневых мельниц, их достоинства и недостатки.
11. Назовите область применения, устройство, принцип действия рудно-галечных мельниц, их достоинства и недостатки.
12. Назовите область применения, устройство, принцип действия мельниц самоизмельчения и полусамоизмельчения, их достоинства и недостатки.
13. Назовите достоинства и недостатки сухого и мокрого измельчения.
14. Какие режимы работы мельницы вы знаете?
15. Какие схемы измельчения вам известны?



### 3. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ

Обогащение полезных ископаемых представляет собой методы переработки минеральной смеси ценных компонентов и пустой породы с целью получения концентратов, существенно обогащенных одним или несколькими ценными компонентами.

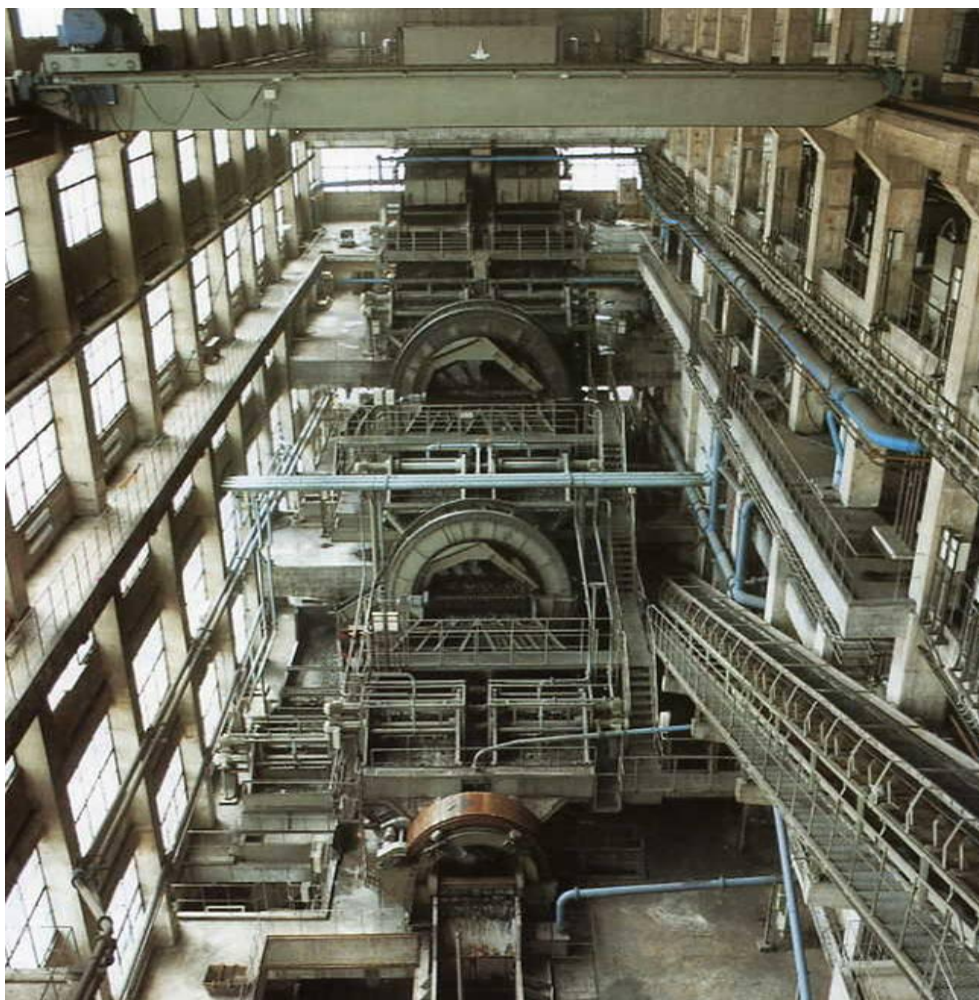


Рис. 3.1. Обогащение крупнокускового угля тяжелосредними сепараторами ТЕСКА (КНД ГУМБОЛЬДТ ВЕДАГ)

Обогащение руды представляет собой метод разделения минералов друг от друга, в результате которого получаются два и более *продукта обогащения*. Богатый полезным компонентом продукт называют *концентратом*, бедный, состоящий в основном из пустой породы – *отходами*.

Использование того или иного метода обогащения зависит от минерального состава полезных ископаемых, физических и химических

свойств разделяемых компонентов.

Свойство, по которому осуществляется разделение минералов, называется *технологическим* или *разделительным*. В основном используются как технологические следующие свойства минералов: плотность, магнитная восприимчивость, электропроводность, смачиваемость, радиоактивность, оптические свойства и др. Наиболее распространенными методами обогащения являются: гравитационные, флотационные, магнитные и электрические (табл 3.1.).

Таблица 3.1.

Технологические свойства минералов  
и соответствующие методы обогащения сырья

Методы обогащения полезных ископаемых	Технологические свойства минералов
Гравитационные	Плотность
Флотационные	Смачиваемость
Магнитные	Магнитная восприимчивость
Электрические	Электропроводность, диэлектрическая проницаемость, заряд
Специальные:	
Ручная и механизированная рудо-разборка:	Естественная и наведенная радиоактивность оптические свойства: цвет, блеск
Радиометрические	
Фотометрические	
Избирательное дробление	Механическая прочность
Декрипитация	Различие значений коэффициентов теплового расширения, содержания кристаллизационной влаги
Обогащение по крупности и форме	Размер
Обогащение по трению	Различие значений коэффициентов трения
Обогащение по упругости	Различие значений коэффициентов упругости
Сорбционное обогащение	Сорбционные свойства атомов
Выщелачивание: кучное, химическое и бактериальное	Разная растворимость

### 3.1. Гравитационные процессы обогащения

*Гравитационные процессы обогащения* основаны на разделении двух и более минералов благодаря их различию в плотности. Гравитационные процессы обогащения делят минералы на тяжелые и легкие. Разделение минералов различной плотности возможно благодаря различию скорости их движения в различных средах.

Для углей и многих других минералов гравитационный метод обогащения является основным из-за простоты и дешевизны процесса.

Обогатительные процессы могут применяться как самостоятельно, так и в сочетании с другими процессами обогащения.

#### **3.1.1. Классификация гравитационных процессов обогащения**

1. *Обогащение в тяжелых средах* (в минеральных суспензиях).
2. *Отсадка.*
3. *Обогащение в потоке жидкости, текущей по наклонной плоскости* (обогащение на концентрационных столах; в желобах; крутонаклонных сепараторах).
4. *Обогащение в центробежном поле* (в спиральных сепараторах).
5. *Пневматическое обогащение.*

#### **3.1.2. Фракционный анализ**

Обогащаемое сырье, например, угли, представляет собой неоднородную по плотности минеральную массу. Чем больше в угле минеральных примесей, тем больше его плотность и зольность. Для определения условий эффективного обогащения гравитационными методами, теоретически возможных качественно-количественных характеристик обогащения, а также категории обогатимости проводят фракционный анализ угля. Каждая фракция угля, различающаяся плотностью, будет отличаться по качеству.

*Фракционным анализом называется операция разделения угля на фракции различной плотности.*

Для этого проводят расслоение проб углей по плотности с помощью тяжелых неорганических жидкостей, чаще всего используется раствор хлористого цинка, так как из него можно получать растворы различной плотности (табл. 3.1.2.1.).

Таблица 3.1.2.1.

Зависимость плотности раствора от содержания хлористого цинка

Плотность раствора при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	1300	1400	1500	1600	1800	2000
Содержание ZnCl <sub>2</sub> , %	31	39	46	52	63	72

К недостаткам применения растворов хлористого цинка следует отнести их повышенную вязкость. Поэтому для расслоения шламов применяются органические жидкости, обладающие меньшей вязкостью (табл. 3.1.2.2.).

Таблица 3.1.2.2.

Зависимость плотности раствора от содержания органических жидкостей

Плотность раствора, кг/м <sup>3</sup>	1300	1400	1500	1600	1800	2000
Бензольный раствор, %						
CCl <sub>4</sub>	60	74	89			
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	40	26	11			
Раствор бромформа, %						
CHBr <sub>3</sub>				2	21	41
CCl <sub>4</sub>				98	79	59

Результаты фракционного анализа оформляют в виде табл. 3.1.2.3.

***Последовательность операций для заполнения таблицы и построения кривых обогатимости***

1. Суммарный выход легких фракций (колонка 4) вычисляется путем последовательного суммирования частных выходов (из колонки 2) сверху вниз:

$$52,2;$$

$$52,2+14,6=66,8;$$

$$66,8+6,5=73,3 \text{ и т. д.}$$

Таблица 3.1.2.3.

## Фракционный состав углей

$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	Суммарные всплывшие фракции, %		Суммарные потонувшие фракции, %	
			$\gamma$	$A^d$	$\gamma$	$A^d$
<1300	52,2	3,2	52,2	3,2	100	22,0
1300-1400	14,6	10,1	66,8	4,7	47,8	42,5
1400-1500	6,5	19,7	73,3	6,0	33,2	56,7
1500-1600	4,0	27,4	77,3	7,1	26,7	65,8
1600-1800	3,6	38,2	80,9	8,5	22,7	72,5
>1800	19,1	79,0	100,0	22,0	19,1	79,0
Абсцисса для кривой $\rho$		Абсцисса для кривой $\lambda$	Ордината для кривых $\rho$ , $\beta$ , $\lambda$	Абсцисса для кривой $\beta$	Ордината для кривой $\theta$	Абсцисса для кривой $\theta$

2. Суммарный выход тяжелых фракций (колонка 6) вычисляется путем суммирования частных выходов (из колонки 2) снизу вверх.

$$19,1;$$

$$19,1+3,6=22,7;$$

$$22,7+4,0=26,7 \text{ и т. д.}$$

3. Средневзвешенная зольность легких фракций (колонка 5) вычисляется путем деления суммы произведений выходов (колонка 2) и зольности (колонка 3) на суммарный выход легких фракций:

$$A_{<1300}^d = 3,2 \text{ \%};$$

$$A_{1300-1400}^d = \frac{3,2 \cdot 52,2 + 10,1 \cdot 14,6}{52,2 + 14,6} = 4,7 \text{ \%};$$

$$A_{1400-1500}^d = \frac{3,2 \cdot 52,2 + 10,1 \cdot 14,6 + 19,7 \cdot 6,5}{52,2 + 14,6 + 6,5} = 6,0 \text{ \%}$$

и т. д.

4. Средневзвешенная зольность тяжелых фракций (колонка 7) вычисляется также, только снизу вверх:

$$A_{>1800}^d = 79 \text{ \%};$$

$$A_{1600-1800}^d = \frac{19,1 \cdot 79 + 3,6 \cdot 38,2}{19,1 + 3,6} = 72,5 \text{ \%};$$

$$A_{1500-1600}^d = \frac{19,1 \cdot 79 + 3,6 \cdot 38,2 + 4,0 \cdot 27,4}{19,1 + 3,6 + 4,0} = 65,8 \text{ \%}$$
 и т. д.

По данным таблицы строятся кривые обогатимости (рис. 3.1.2.1.).  
 $\rho$  – кривая плотностей, показывает зависимость суммарного выхода легких фракций (колонка 4) от плотности разделения (колонка 1);  
 $\beta$  – кривая средних зольностей концентрата, показывает зависимость между суммарным выходом легких фракций (колонка 4) и их зольностью (колонка 5);  
 $\theta$  – кривая средних зольностей отходов, показывает зависимость между суммарным выходом тяжелых фракций (колонка 6) и их зольностью (колонка 7);  
 $\lambda$  – кривая элементарных зольностей, показывает зависимость между выходом (колонка 4) и зольностью (колонка 3) элементарных слоев.

### ***Построение кривой $\lambda$ .***

Для построения кривой  $\lambda$  (лямбда) на графике проводятся горизонтальные линии, соответствующие выходам суммарных легких фракций (колонка 4) и вертикальных линий, соответствующих зольности (колонка 3) элементарных слоев. Через правые стороны полученных прямоугольников проводят плавную кривую  $\lambda$ , через середины этих сторон таким образом, чтобы площади «наращиваемых» и «сре-

заемых» треугольников были равновеликими.

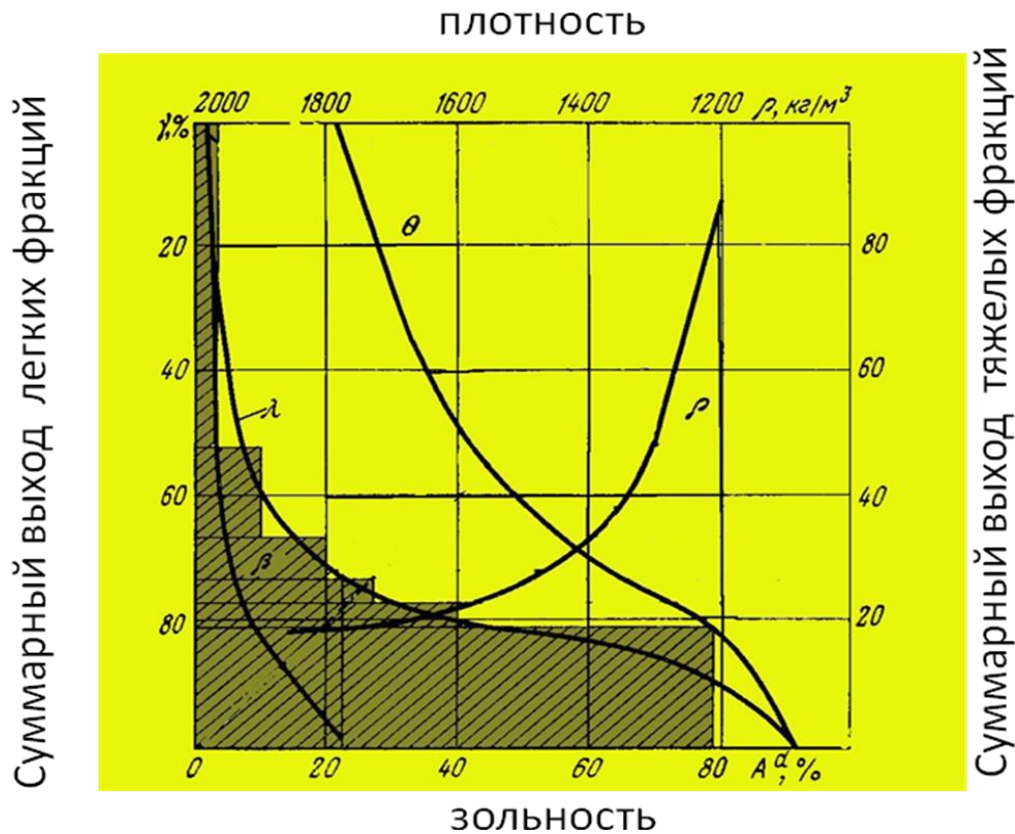


Рис. 3.1.2.1. Кривые обогатимости

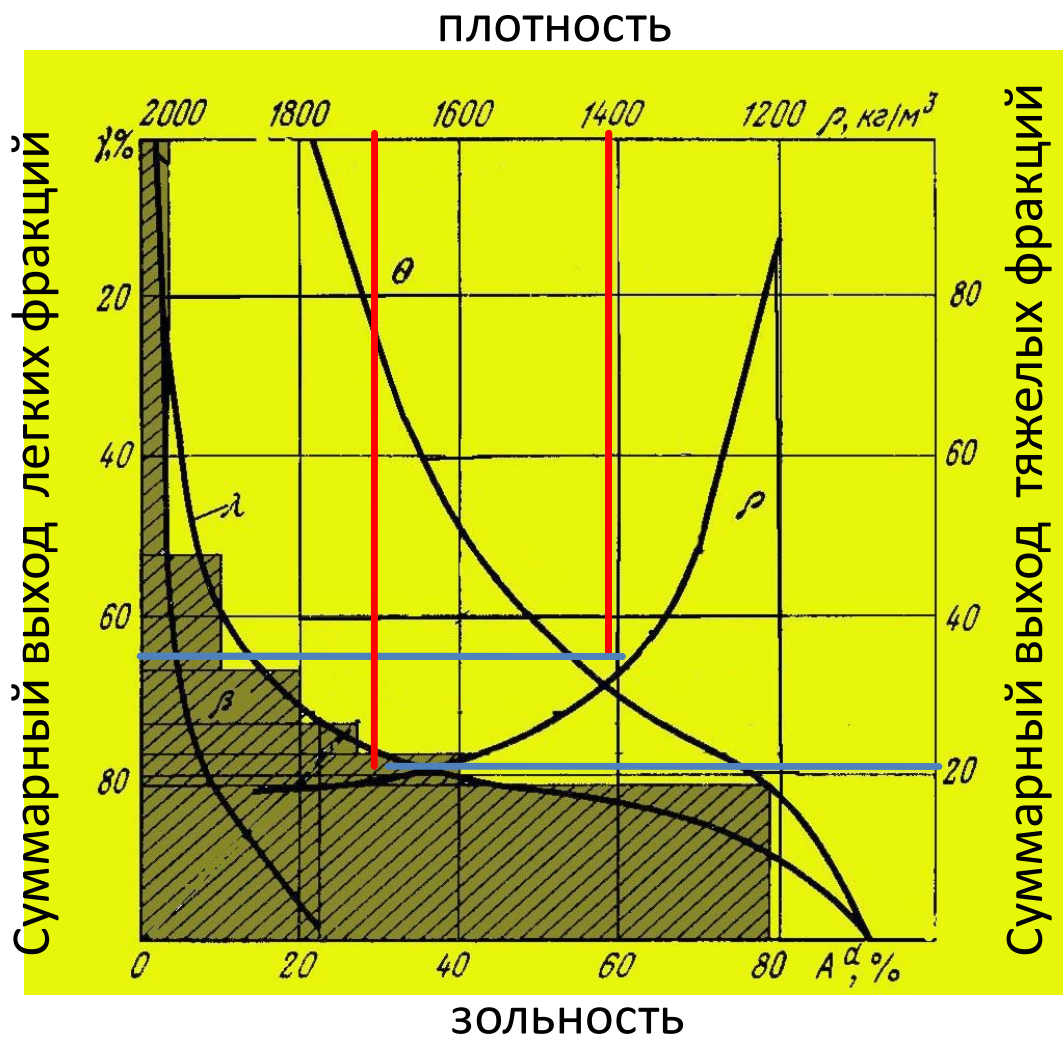
Начальные точки кривых  $\lambda$  и  $\beta$  и конечные точки кривых  $\lambda$  и  $\theta$  должны совпадать.

#### Анализ кривых обогатимости

1. Чем ближе кривая  $\lambda$  подтянута к оси суммарного выхода легких фракций и, одновременно, к оси абсцисс (т. е. ближе к прямому углу), тем легче обогатимость угля.

2. С помощью кривых обогатимости устанавливают теоретически возможные выходы продуктов обогащения при заданной зольности; выходы продуктов и их зольность в зависимости от плотности разделения и т. д.

**Пример:** Определим выход концентрата, промпродуктов и отходов при плотности разделения  $1,4 \text{ г/см}^2$  и  $1,7 \text{ г/см}^2$ .



*Решение*

1. Опустим перпендикуляры из точек, соответствующих заданным плотностям до кривой плотностей  $\rho$ .

2. В точках пересечения проводим горизонтальные прямые из точки, соответствующей меньшей плотности на ось суммарного выхода легких фракций, а из точки, соответствующей большей плотности на ось суммарного выхода тяжелых фракций.

Получилось:

$$\gamma_{\text{к}} = 66 \text{ \%};$$

$$\gamma_{\text{отх}} = 20 \text{ \%};$$

$$\gamma_{\text{п/п}} = 100 \text{ \%} - (\gamma_{\text{к}} + \gamma_{\text{отх}});$$



$$\gamma_{\text{п/п}} = 100 \% - (66 \% + 20 \%) = 14 \%$$

Показатель обогатимости:

$$T = \frac{100\gamma_{\text{п/п}}}{100 - \gamma_{\text{отх}}},$$

где  $\gamma_{\text{п/п}}$  – выход промпродуктовой фракции, %,  $\gamma_{\text{отх}}$  – выход пустой породы, %

Показатель обогатимости:

$$T = \frac{100 \cdot 14}{100 - 20} = 17,5\%$$

Таким образом, обогатимость каменных углей в нашем примере очень трудная (табл. 3.1.2.4.).

Для каменных углей промпродуктовой считается фракция плотностью 1400-1800 кг/м<sup>3</sup>. Для антрацитов промпродуктовой считается фракция плотностью 1800-2000 кг/м<sup>3</sup>. Пустая порода имеет плотность более 1800 кг/м<sup>3</sup> при обогащении каменных углей и более 2000 кг/м<sup>3</sup> при обогащении антрацитов.

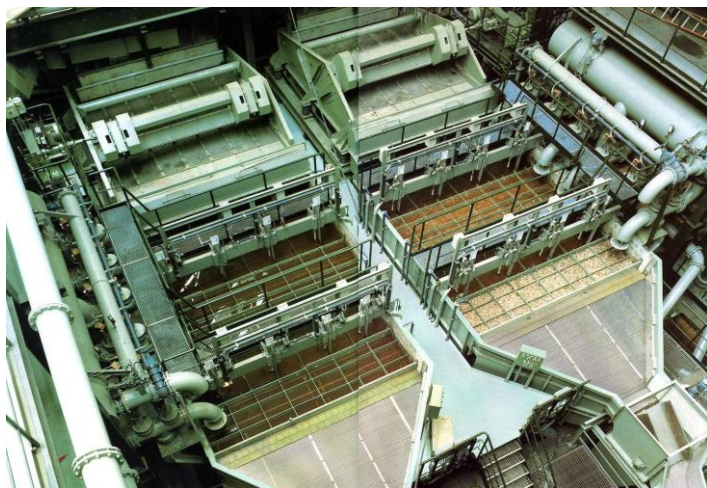
Таблица 3.1.2.4.

Категории обогатимости каменных углей и антрацитов

Категория	Степень	Показатель обогатимости	
		для каменных углей	для антрацитов
I	Легкая	$T \leq 4$	$T \leq 4$
II	Средняя	$4 < T \leq 10$	$4 < T \leq 8$
III	Трудная	$10 < T \leq 17$	$8 < T \leq 14$
IV	Очень трудная	$T > 17$	$T > 14$

### 3.1.3. Отсадка

*Отсадка* – метод обогащения, основанный на разделении смеси



материала по плотности в восходящих пульсирующих потоках воды (или воздуха при пневматическом обогащении).

Метод обогащения отсадкой может применяться для широкого диапазона крупности: 100-0,5 мм (иногда 150-0 мм) для углей, для руды

черных и цветных металлов 50-0,25 мм. Но наиболее эффективно процесс отсадки осуществляется при раздельном обогащении машинных классов. Например, для углей отсадка будет проводиться для крупного машинного класса 13-100 мм и мелкого машинного класса 0.5-13 мм.

Процесс отсадки отличается высокой эффективностью разделения минералов, а также имеет преимущество в том, что можно разделять неклассифицируемый материал (до 30 мм). Недостатком является необходимость использования большого расхода воды, а также требование равномерной подачи руды. Производительность машин зависит от частоты колебаний воды, продольной скорости движения зерна материала в камере, высоты сливного порога, высоты слоя материала в камере, от крупности, плотности разделяемого материала, степени разрыхления в момент его взвешивания.

#### 3.1.3.1. Закономерности падения минеральных зерен в воде и воздухе

Очень важно, чтобы при обогащении отсадкой разделяемые частицы различались в конечных скоростях падения зёрен, зависящих от плотности и размера частиц, а также плотности среды.

На частицу в среде действуют различные силы: сила тяжести, пропорциональная плотности тела, архимедова сила, пропорциональная его объему. Их разность является движущей силой, противодействующей силе сопротивления среды, которая в свою очередь зависит от скорости падения частиц.

Тяжелые частицы обладают большей конечной скоростью, чем легкие притом же размере. При падении частиц разной плотности и разного объема может сложиться ситуация, когда минеральные зерна различных веществ приобретают одинаковую конечную скорость па-

дения. При этом разделение по скоростям падения, а значит и по плотности не произойдет. Такие зерна называются *равнопадающими*.

Отношение диаметра частицы легкого минерала к диаметру тяжелого, имеющую ту же скорость падения называется коэффициентом равнопадаемости ( $e$ ). Он показывает во сколько раз частица легкого минерала больше частицы тяжелого минерала, имеющую ту же скорость падения.

$$\text{Для частицы } \geq 2 \text{ мм } e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta} \text{ (по Риттингеру).}$$

$$\text{Для частиц } 0,1-2 \text{ мм } e = \frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta}\right)^{\frac{2}{3}} \text{ (по Аллену).}$$

$$\text{Для частиц } \leq 0,1 \text{ мм } e = \frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ (по Стоксу),}$$

где  $\delta_1, \delta_2$  – плотность легкого и тяжелого зерна, соответственно;

$d_1, d_2$  – размеры тяжелого и легкого зерна, соответственно;

$\Delta$  – плотность среды.

Для правильного разделения минеральных зерен необходимо, чтобы крупность частиц минералов находилась в пределах коэффициента равнопадаемости, т.е. отношение диаметров не должно превышать значение коэффициента равнопадаемости.

Формулы справедливы для свободных условий падения частиц. В действительности коэффициент равнопадаемости значительно выше, т. к. падение зёрен обычно стеснённое.

*Пример.* Определить отношение размеров разделяемых кусков угля и породы, т. е. найти коэффициент равнопадаемости разделяемых зерен размером  $\geq 2$  мм. Плотность угля  $\delta_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ; породы  $\delta_2 = 2500 \text{ кг/м}^3$ .

Решение

Для частицы  $\geq 2$  мм коэффициент равнопадаемости определяется по закону Риттингера.

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta}$$

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{2700 - 1000}{1400 - 1000} = 4,25.$$

Таким образом, для угля и породы при данных плотностях разделяемых кусков явление равнопадаемости наступит, если частица угля будет в 4,25 раза больше частицы породы.

### **3.1.3.2. Устройство и принцип действия отсадочных машин**

Процесс отсадки осуществляется в *отсадочных машинах*. Отсадочные машины имеют различную конструкцию, если предназначены для различных машинных классов.

Отсадка, как и преобладающее большинство процессов обогащения сырья – процесс непрерывный. Одновременно происходит загрузка в машину руды, разделение в пульсирующем потоке и разгрузка продуктов.

Отсадочные машины состоят из двух или трех пирамидальных камер, которые заполняются водой (гидравлическая отсадка). В верхней части камеры находится решето, на которое подается исходная руда, образующая *естественную постель*. Вода подается двумя потоками: *транспортным* и *подрешетным*. Камеры снабжены устройствами, создающими пульсации.

Исходный материал на решетке машины представляет собой беспорядочную смесь минералов и их сростков – *естественную постель*. Под действием транспортной и подрешетной воды она перемещается по решетку из одной камеры в другую. Пульсации создаются в зависимости от типа конструкции отсадочной машины с помощью диафрагмы или сжатого воздуха, также можно создавать их с помощью подвижного решета.

Пульсирующий поток попеременно изменяет состояние постели то на *разрыхленное*, то на *уплотненное*. В восходящем потоке воды частицы приходят во взвешенное состояние, и осуществляется их перераспределение по высоте постели по причине разной скорости перемещения кусков, которая зависит от физических свойств минералов, в первую очередь, от плотности, а также от гидродинамических параметров процесса. При нисходящем потоке завершается разделение

частиц. В верхнем слое концентрируются частицы легкие (малой плотности), в нижнем – наиболее тяжёлые частицы (большой плотности).

Тяжелые продукты, составляющие нижние слои постели, удаляются из отсадочной машины через решето или разгрузочные щели. Затем они извлекаются из машины обезвоживающими элеваторами. Легкий продукт удаляется через сливной порог.

**Крупная отсадка** предназначена для крупного материала, (на углях для класса 100 (150)-13 мм). Исходный материал (постель) подается на решето, через отверстие которого проходят восходящие пульсирующие потоки.

С целью минимизировать потери полезного компонента проводится настройка параметров работы отсадочных машин и поддержание постоянными заданных параметров в процессе обогащения руды. Устанавливаются и стабилизируются следующие параметры: толщина постели, подача воздуха, подрешетной воды и частота пульсаций.

Оптимальная толщина постели регулируется автоматически регулятором уровня (рис. 3.1.3.2.1.) с помощью поплавка (б), который управляется сигналом усилителя с электрического датчика. Толщина постели составляет 100-150 мм. Поплавок перемещается соответственно изменению толщины постели. С помощью электрического датчика задается толщина постели. Поплавок связан с электрическим датчиком системой рычагов. При изменении толщины постели с электрического датчика поступает сигнал на усилитель, а затем на роторный разгрузчик. Тем самым задается определенная скорость вращения роторного разгрузчика и нормализуются заданные показатели толщины постели. Объем подаваемого воздуха, необходимого для создания пульсаций воды регулируется для возможности изменения интенсивности восходящего и нисходящего потоков при изменении качества обогащаемой руды, например, ее плотности или крупности кусков. Настройки частоты пульсаций зависят от крупности обогащаемого материала и регулируются также при изменении качества сырья. Диапазон частоты пульсаций воды на угольных машинах изменяются в пределах 30-60 пульсаций в минуту. Для золотосодержащих руд крупностью до 0.5 мм частота составляет 200-400 мин<sup>-1</sup>. Минимальная частота определяется продолжительностью подъема частицы до своего предельного значения. Чем больше амплитуда колебания частицы, тем

меньше частота и, наоборот, поэтому на крупных классах наблюдается меньшая частота пульсаций, чем на мелких.

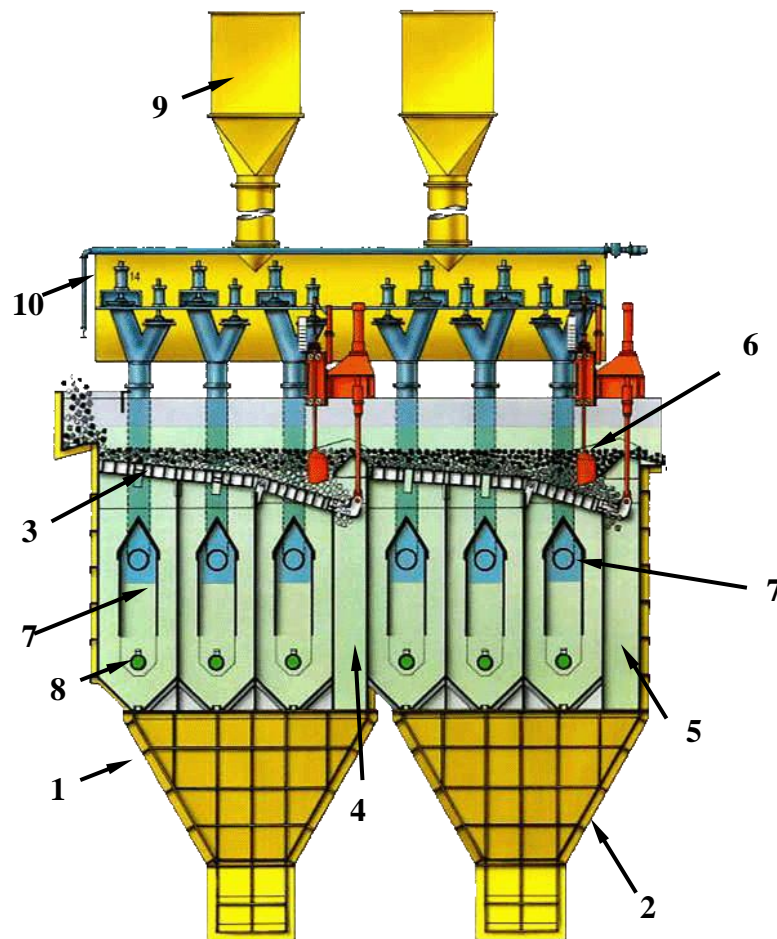


Рис. 3.1.3.2.1. Принципиальное устройство отсадочной машины БАТАК для обогащения крупнокускового материала. 1 – камера для отделения тяжелой фракции; 2 – камера для отделения промпродуктовой фракции; 3 – решето; 4-5 – разгрузочные карманы тяжелой фракции и промпродукта; 6 – поплавок с шиберным устройством для контроля отвода продуктов; 7 – воздушные камеры; 8 – подвод подрешетной воды; 9 – воздушный коллектор; 10 – камера для сбора отводимого воздуха

Напор подрешетной воды тоже регулируется, чтобы иметь возможность компенсировать потери воды, уходящей с продуктами обогащения и уменьшать скорость движения нисходящего потока воды, уменьшая вероятность уноса зерен под решето.

При крупной отсадке частицы с большей плотностью остаются на решетке и удаляются в щелевое отверстие между решетом и сливным порогом (рис. 3.1.3.2.2.), через который разгружается вместе с потоком воды легкий материал.

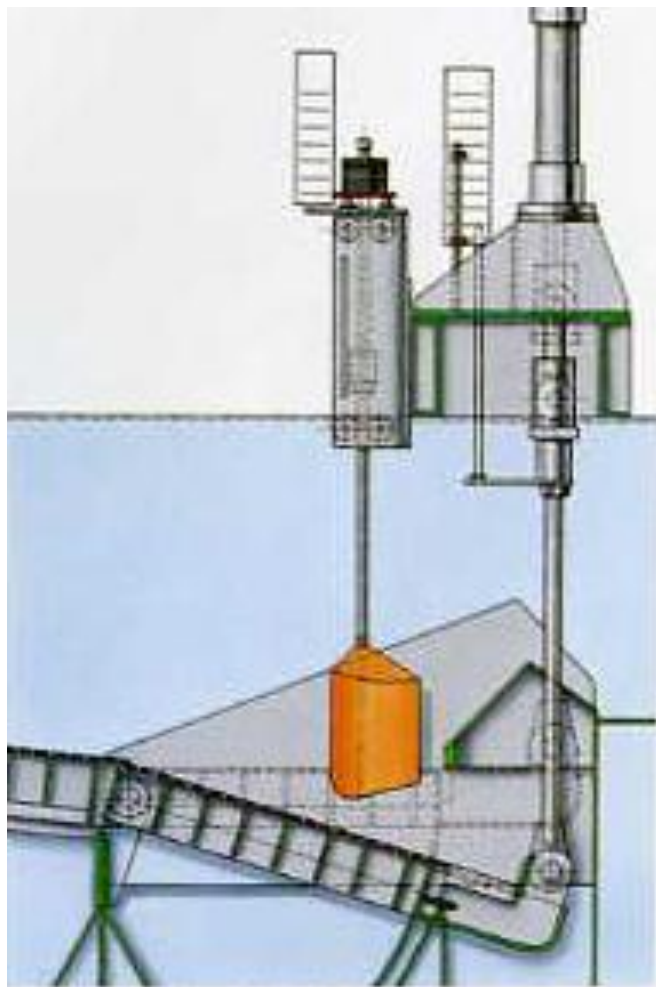


Рис. 3.1.3.2.2. Выпускное устройство для крупнокускового материала.

*Мелкая отсадка* (рис. 3.1.3.2.3.) предназначена для мелкого материала, (на углях для класса  $-13+0,5$  (3) мм). Если исходный мелкий материал, то на решето укладывается искусственная постель из тяжелых материалов: стальная дробь, пластиковые шарики, речная галька. Она необходимо для того, чтобы играть роль фильтрующего слоя, пропускающего зерна тяжелого минерала через решето.

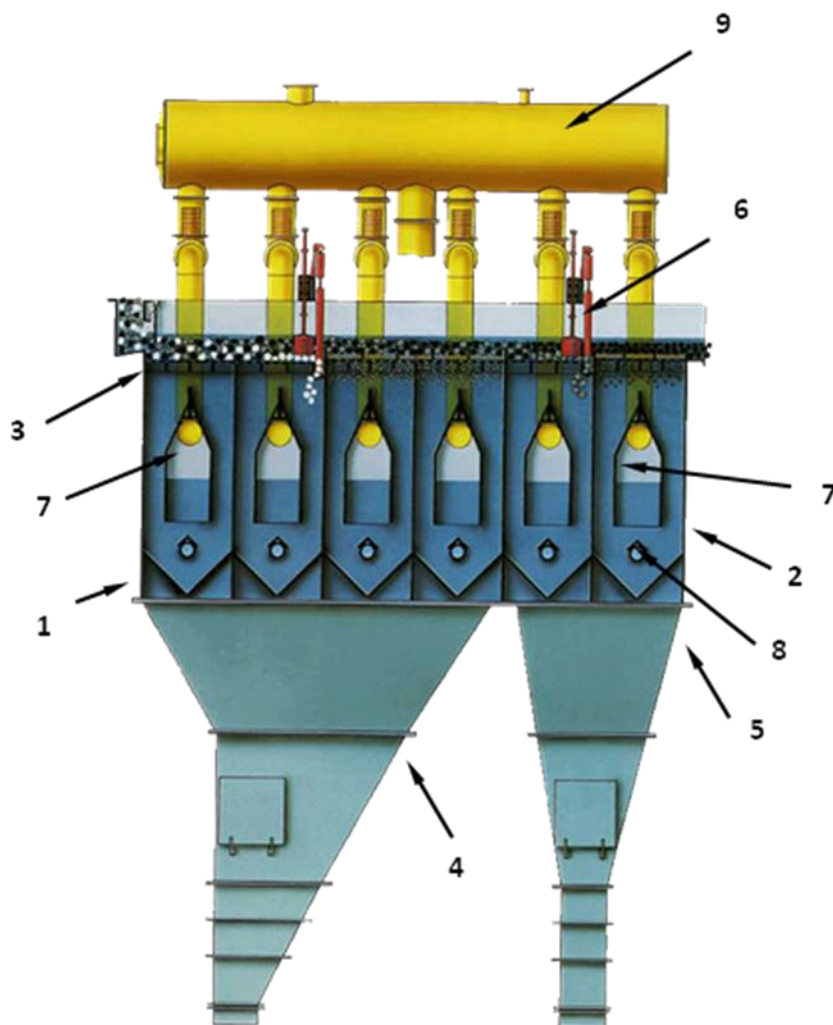


Рис. 3.1.3.2.3. Принципиальное устройство отсадочной машины БАТАК для обогащения мелкокускового материала. 1 – камера для отделения тяжелой фракции; 2 – камера для отделения промпродуктовой фракции; 3 – решето; 4 – воронка для сбора породы; 5 – воронка для сбора промпродукта; 6 – поплавок с шиберным устройством для контроля отвода продуктов; 7 – воздушные камеры; 8 – подвод подрешетной воды; 9 – воздушный коллектор

При мелкой отсадке разгрузка тяжелого продукта осуществляется непосредственно сквозь решето (рис. 3.1.3.2.4). Частицы, составляющие постель, приподнимаются при восходящем потоке воды и обеспечивают ее подачу к руде, лежащей на решете, приводя частицы руды во взвешенное состояние. При нисходящем потоке постель препятствует уносу кусков руды под решето, частично перекрывая отверстия решета. Тем самым предотвращая унос легких частиц сквозь решето с тяжёлыми продуктами.



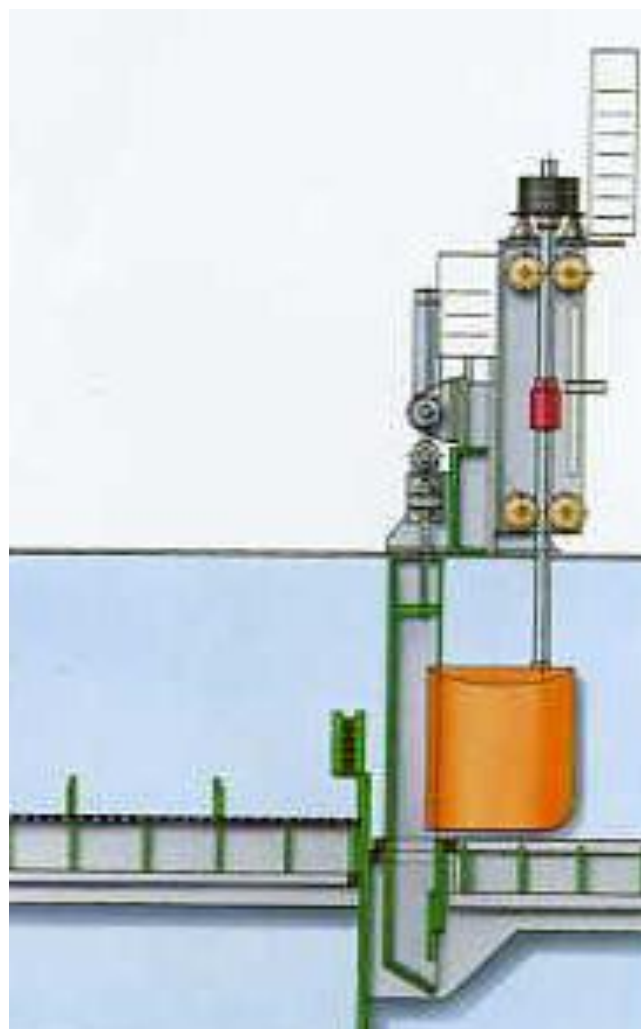


Рис. 3.1.3.2.4. Выпускное устройство для мелкокускового материала.

### ***3.1.3.3. Классификация отсадочных машин по способу создания пульсаций воды***

На рис. 3.1.3.2.1. и рис. 3.1.3.2.3. продемонстрированы отсадочные машины БАТАК фирмы KHD HUMBOLDT WEDAG. В этих машинах пульсации воды достигаются с помощью воздушных камер. Существуют отсадочные машины, в которых режим пульсаций осуществляется другими способами (рис. 3.1.3.3.1.), например, отсадочная машина с подвижным решетом РОМДЖИГ (KHD HUMBOLDT WEDAG) (рис. 3.1.3.3.2. и 3.1.3.3.3.).

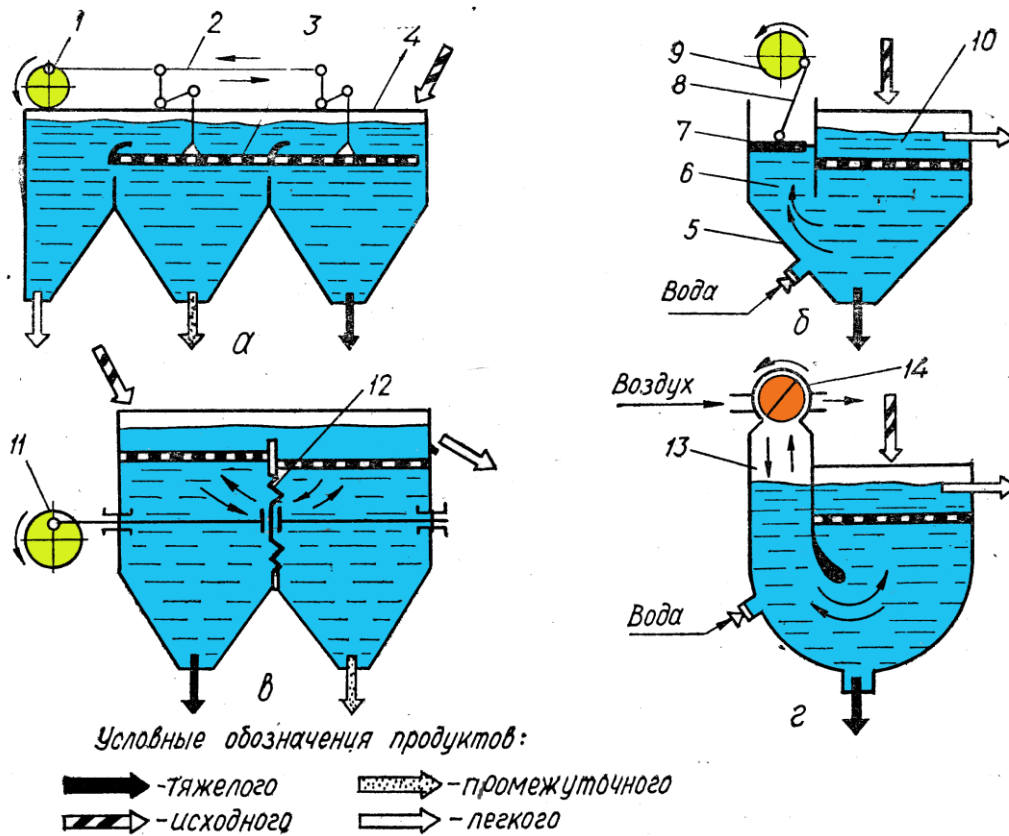


Рис. 3.1.3.3.1. Различные типы гидравлических отсадочных машин: а – с подвижным решетом; б – поршневая, в – диафрагмовая; г – воздушно-золотниковая.



Рис. 3.1.3.3.2. Отсадочная машина с подвижным решетом РОМДЖИГ (KHD HUMBOLDT WEDAG)

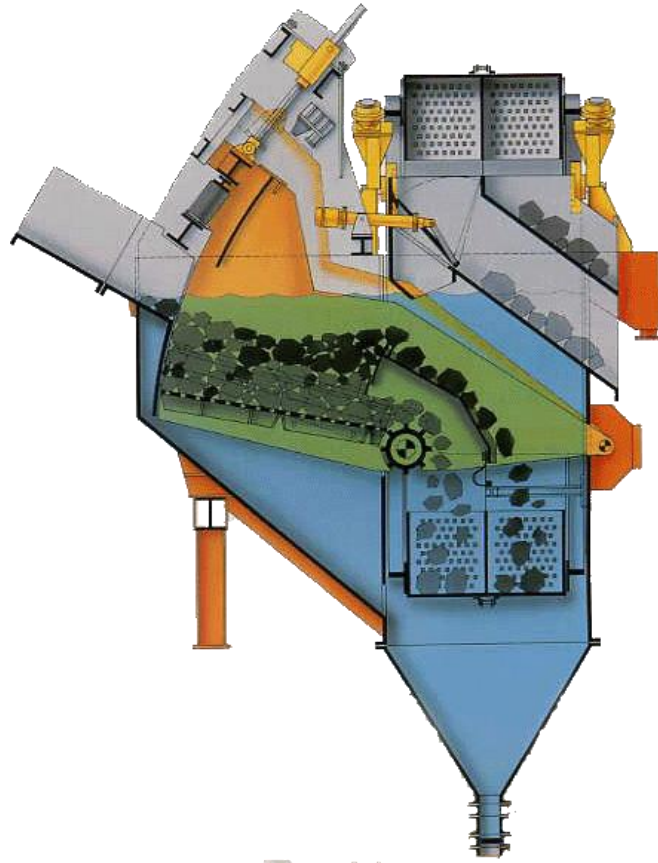


Рис. 3.1.3.3.3. Принципиальное устройство отсадочной машины с подвижным решетом РОМДЖИГ (KHD HUMBOLDT WEDAG)

### *Вопросы для самопроверки*

1. Дайте определение процессу обогащения полезных ископаемых.
2. Как называются продукты обогащения?
3. На каких свойствах минералов основывается их разделение?
4. Какие технологические свойства минералов вы знаете?
5. На каком принципе основано разделение минералов гравитационными методами обогащения?
6. Какие гравитационные методы обогащения вам известны?
7. Что представляет собой обогащение минералов методом отсадки? В чем ее принцип?
8. Какие закономерности падения минеральных зерен в воде и воздухе вы знаете? Как они связаны с гравитационными процессами обогащения?
9. Как осуществляется процесс отсадки в отсадочных машинах?
10. Чем отличается крупная отсадка от мелкой?

11. Опишите классификацию отсадочных машин по способу создания пульсаций воды.

12. Назовите область применения, устройство, принцип действия отсадочных машин для крупного материала, их достоинства и недостатки.

13. Назовите область применения, устройство, принцип действия отсадочных машин для мелкого материала, их достоинства и недостатки.

### 3.1.4. Обогащение в тяжелых средах

Обогащение в тяжелых средах – метод разделения минералов на тяжелые и легкие в среде с промежуточной плотностью между плотностями разделяемых минералов.



Сущность метода весьма проста. Если рыхлую смесь двух минералов погрузить в жидкость с плотностью промежуточной между плотностями разделяемых минералов, то произойдет разделение смеси: легкий минерал всплывет, а тяжелый утонет

С этой целью применяются тяжелые среды:

- *водные растворы неорганических солей;*
- *тяжелые органические жидкости;*
- *суспензии (взвеси) мелких частиц твердых веществ в воде.*

Водные растворы неорганических солей: растворы хлорида цинка

или кальция; тяжелые органические жидкости и их смеси: иодистый метилен (плотность 3,39 г/см<sup>3</sup>), бромформ (плотность 2,9 г/см<sup>3</sup>), четыреххлористый углерод (плотность 2,96 г/см<sup>3</sup>) применяются в лаборатории для разделения пробы руды на фракции по плотности. На фабрике для разделения минералов по плотности их использовать нельзя из-за токсичности.

Для разделения минералов на тяжелые и легкие используются тяжелые суспензии (взвеси), т. е. смеси воды и порошков из очень маленьких частиц минералов: магнетита, песка, галенита, ферросилиция и др., т.к. они не токсичны, химически не активны. В них можно разделять минералы с небольшой разницей в удельных весах (0,1-0,01 г/см<sup>3</sup>).

Как практически и любому другому гравитационному методу обогащения в тяжелых средах характерна простота процесса и аппаратуры, небольшое количество обслуживающего персонала, а также малый расход воды, небольшой расход энергии. Основное преимущество всех аппаратов для обогащения в тяжелых средах – высокая технологическая эффективность, близкая к теоретической.

Недостаток метода – применение для обогащения полезных ископаемых, в которых при сравнительно крупном дроблении (50-6 мм), значительная часть зерен полезного компонента раскрыта, а также, необходимость регенерации тяжелых суспензий, например, для магнетита с помощью магнитной сепарации, галенита – флотацией.

#### ***Аппараты:***

- сепараторы колесные вертикальные (СКВП 32, СКВП 20 и т. д.);
- тяжелосредные гидроциклоны двух- и трехпродуктовые (СТГ20, ГТ 500, ГТ 710 и т. д.);
- обогатительные центрифуги;
- пневматические (аэросуспензионные).

Спиральные классификаторы с погруженной спиралью тоже можно использовать в качестве сепаратора для разделения в тяжелых суспензиях.

#### ***3.1.4.1. Тяжелосредный сепаратор с вертикальным элеваторным колесом***

Сепараторы колесные вертикальные очень часто используются при гравитационном обогащении, особенно, крупного угля (обычно -

100+13 мм). Они зарекомендовали себя как более надежные, высокопроизводительные аппараты в сравнении с зарубежными аппаратами.

### ***Технология обогащения руд в тяжелосредних сепараторах***

1. Подготовка полезного ископаемого к данному процессу:

а) дробление руды до крупности, позволяющей отделить основную массу пустой породы от сростков ценных минералов (обычно верхний предел этой крупности не превышает 100-150 мм);

б) дробленный материал подвергают классификации и промывке на грохотах для удаления мелких классов и обесшламливания (нижний предел крупности как правило 3-6 мм в редких случаях 0,5 мм, на углях – 13 мм)

2. Разделение руды в суспензии на две, иногда и три фракции разделяемой крупности: концентрат, промпродукт, отходы.

3. Отделение и отмывка суспензии от продуктов обогащения.

4. Регенерация утяжелителя.

Сепараторы колесные вертикальные (рис. 3.1.4.1.1.) представляют собой ванну, заключенную в корпус (1), внутри которого помещено вертикальное элеваторное колесо (2) с перфорированными ковшами.

Через загрузочный желоб (8) подается руда или уголь в ванну сепаратора, а через нижний патрубок (7) корпуса подается суспензия. Она разделяется на горизонтальный (транспортный) и восходящий (вертикальный) потоки, который призван поддерживать постоянными в любой точке суспензии ее реологические свойства: плотность, вязкость. Плотность суспензии промежуточная между плотностями разделяемых минералов, поэтому куски минералов, плотность которых меньше, всплывают, а те, плотность которых больше плотности суспензии, тонут.

Суспензия находится в непрерывной циркуляции. Она переливается через порог разгрузочного желоба на сито предварительного сброса (6) суспензии. Высота слоя суспензии у порога – 30-80 мм.

Переливание всплывшей фракции (легкой фракции) осуществляется транспортным потоком суспензии и гребковым механизмом (4) через желоб (5) на сито сброса. Тяжелая фракция оседает в ковшах (10) элеваторного колеса при его вращении и выгружается. В ковше элеватора вмонтирована решетка, которая (9) под действием силы тяжести поворачивается на шарнирах, открывая и закрывая разгрузочно-загрузочные окна.

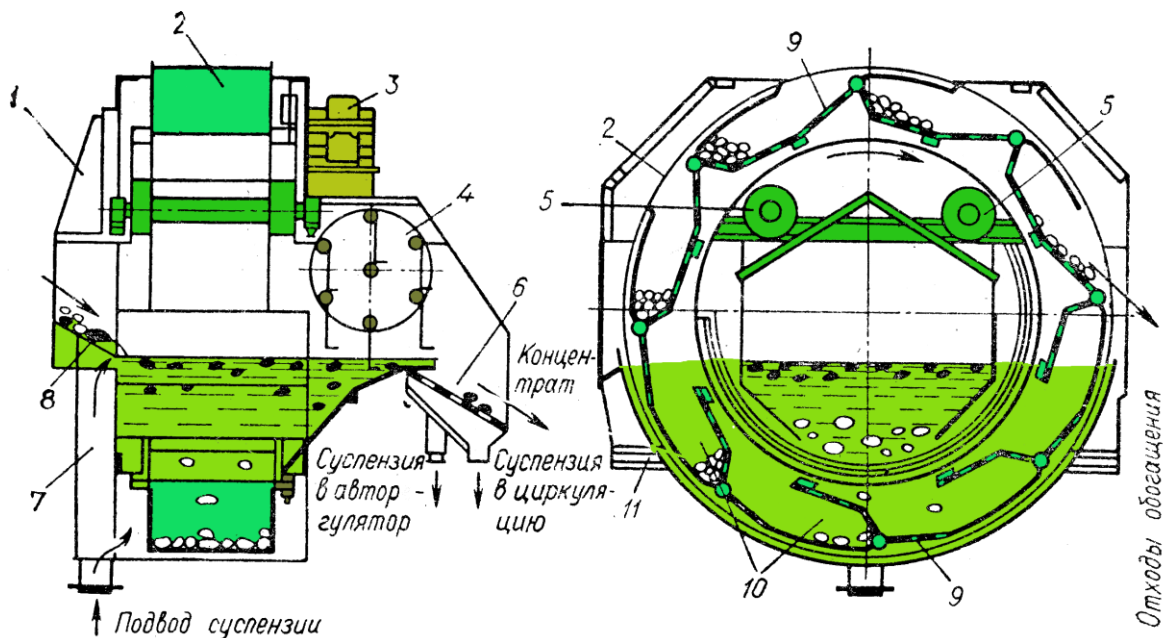


Рис. 3.1.4.1.1. Тяжелосредный сепаратор с вертикальным элеваторным колесом.

1 – корпус; 2 – элеваторное колесо; 3 – привод электродвигателя; 4 – гребковое устройство; 5 – опорные катки; 6 – сито предварительного сброса суспензии; 7 – патрубок для подвода суспензии; 8 – загрузочный желоб (течка); 9 – решетка, открывающая и закрывающая окна ковшей элеватора; 10 – перфорированные ковши для выгрузки тяжелого продукта; 11 – опорные кронштейны

Элеваторное колесо (2) беговой дорожкой опирается на катки (5), снабженные винтами для регулировки положения колеса относительно корпуса сепаратора.

Сепараторы колесные вертикальные выпускает Ворошиловградский завод угольного машиностроения. Для удобства компоновки СКВП выпускаются в правом и левом исполнении.

СКВП имеет по сравнению с сепараторами СКВ усовершенствованную конструкцию элеваторного колеса, в котором колосниковая решетка заменена каскадной, состоящей из перекрывающих друг друга пластин со щелями между ними. Колосники откидной решетки выполнены из нержавеющей стали круглого профиля и имеют расширяющийся по ходу движения материала зазор. Усилено крепление откидных решеток, что исключает их отрыв и т.д. В результате ковши СКВП-32 вдвое быстрее освобождаются от суспензии, чем ковши СКВ, в щелях откидной решетки заклинивается значительно меньше

«трудных» зерен.

### ***3.1.4.2. Тяжелосредные гидроциклоны***

Гидроциклоны (рис. 3.1.4.2.1.) применяют для обогащения мелких и средних классов угля, чаще всего для частиц крупностью 3-13 мм, но возможный диапазон более широк от 0,5 (0,2) до 25 (40) мм.



Рис. 3.1.4.2.1. Тяжелосредные гидроциклоны

Внутреннее устройство тяжелосредного гидроциклона не отличается принципиально от устройства гидроциклонов-классификаторов. Но в отличие от гидроциклонов-классификаторов тяжелосредные гидроциклоны устанавливают под углом  $20^{\circ}$  к горизонту, и по размеру они больше (размеры ГТ 500 длина×ширина×высота: 2530×930×2000; ГТ 710 3580×1580×3020). Внутренняя часть аппарата защищена плитками из поликристаллического карбида кремния.

Смесь угля с суспензией поступает в гидроциклон под напором по питающему патрубку тангенциально к внутренней поверхности цилиндрической загрузочной камеры. Возникающие при этом центробежные силы перераспределяют продукты. Легкий продукт (концентрат) с основной массой выводится через сливной патрубок. Тяжелый продукт (отходы) через песковую насадку вместе со сгущенной суспензией.



Разделение на различные продукты в тяжелосредних гидроциклонах происходит в десятки раз быстрее, чем в тяжелосредних сепараторах за счет действия центробежного поля. Турбулентный гидродинамический поток, образующийся в гидроциклоне, разрушает структуру суспензии, вследствие чего, её вязкость уменьшается, что позволяет эффективно обогащать тонкие классы угля крупностью 0,15 мм.

Для получения трех продуктов разделения применяют трехпродуктовые гидроциклоны. Принцип разделения на три продукта основан на способности магнетитовой суспензии расслаиваться в центробежном поле. В результате чего плотность суспензии, переходящей из первой ступени гидроциклона во вторую ступень каскада, становится выше плотности суспензии питания.

Преимущество использования тяжелосредних гидроциклонов состоит в том, что при хорошей производительности они имеют малые размеры, просты в конструкции, высокоэффективны.

### ***3.1.4.3. Схемы регенерации разбавленной суспензии***

Отработанная суспензия вместе с продуктом поступает на грохоты для промывки продукта от суспензии. При этом суспензия разбавляется водой, уменьшается ее плотность, поэтому возвращать ее в сепаратор нельзя. К тому же она содержит тонкие шламы, которые образуются в сепараторе в процессе обогащения. Такая суспензия называется некондиционной.

#### ***Схемы регенерации некондиционной суспензии***

*Задачи:*

- восстановление плотности рабочей среды, разбавленной при отмывке магнетита от продуктов обогащения;
- извлечение магнетита из промышленных вод;
- очистка суспензии от шламов.

*Продукты переработки суспензии магнетита сепаратором*

- *отходы регенерации;*
- *слив;*
- *магнетитовый концентрат.*

Магнетитовый концентрат (регенерированная суспензия) поступает в систему циркуляции рабочей суспензии, сгущенный немагнитный шлам – отходы регенерации поступают на обезвоживание, слив поступает на грохоты для отмывки продуктов обогащения от магнетита.

При обогащении крупных углей с содержанием шлама менее  $150 \text{ кг/м}^3$  применяются одностадийные схемы регенерации магнетитовой суспензии (рис. . 3.1.4.3.1.).

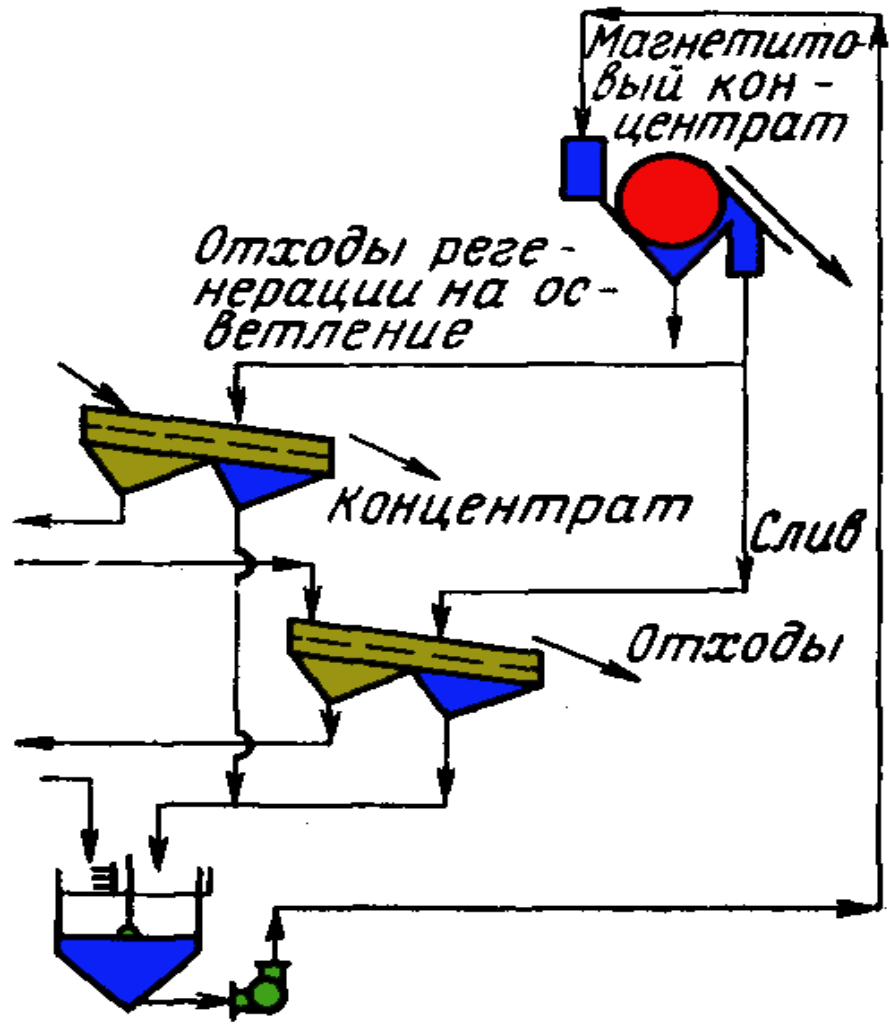


Рис. . 3.1.4.3.1. Одностадийная схема регенерации магнетитовой суспензии

При обогащении мелких углей с содержанием шлама более  $150 \text{ кг/м}^3$  двухстадийная схема регенерации магнетитовой суспензии (рис. 3.1.4.3.2.).

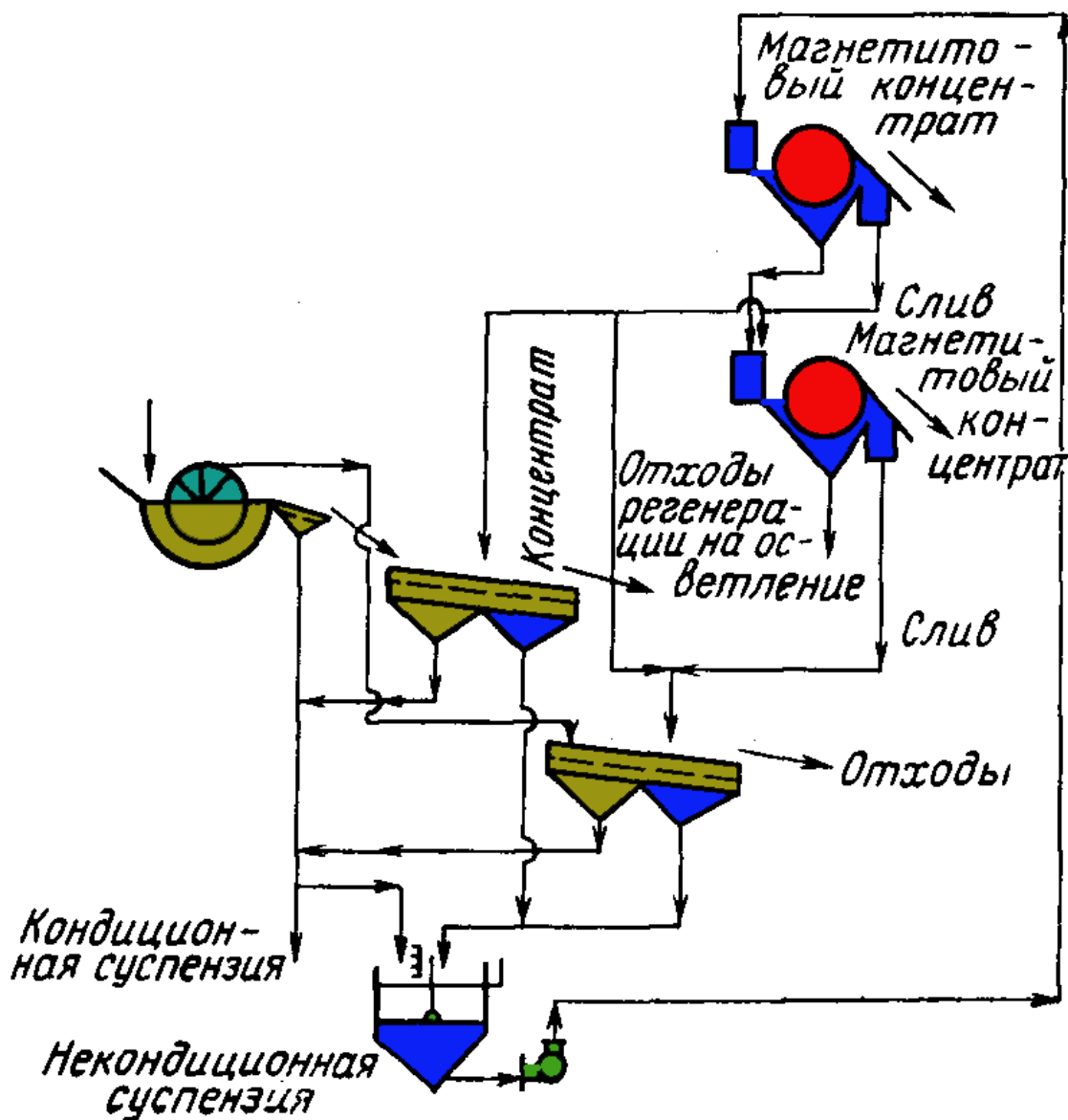


Рис. 3.1.4.3.2. Двухстадийная схема регенерации магнетитовой суспензии

Комбинированная схема регенерации магнетитовой суспензии применяется при обогащении крупных углей по высокой плотности разделения - с содержанием шлама более  $150 \text{ кг/м}^3$  (рис. 3.1.4.3.3.).

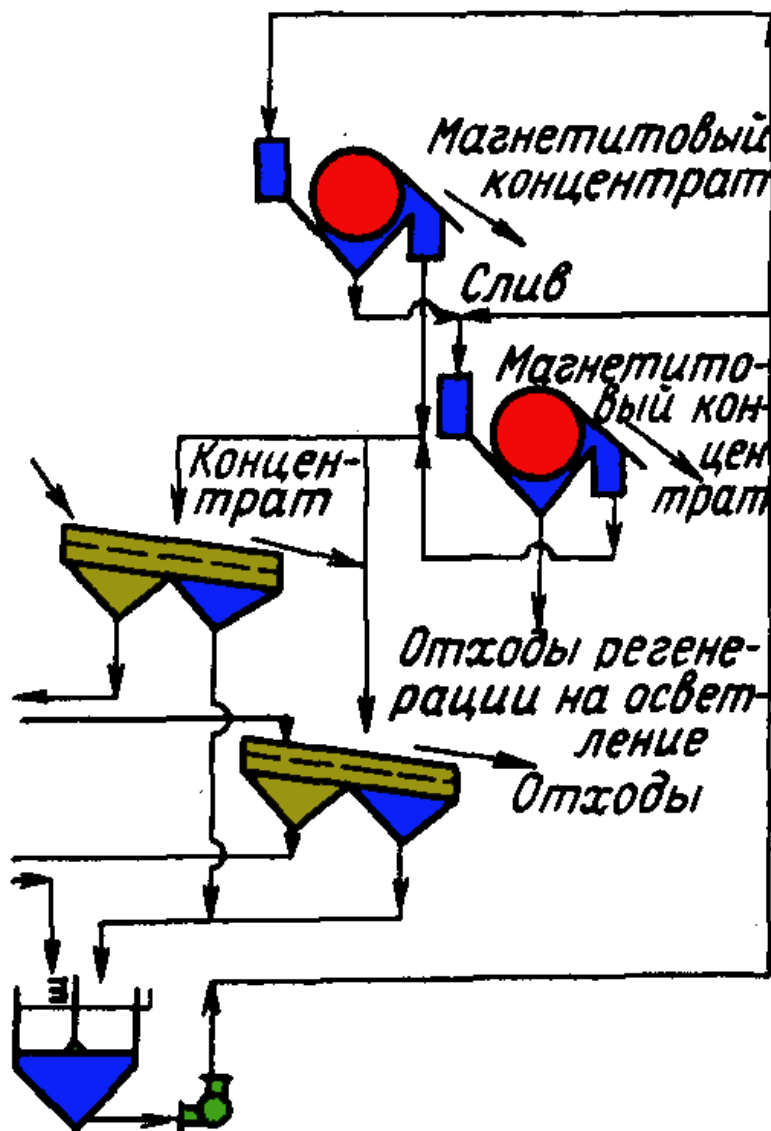


Рис. 3.1.4.3.3. Комбинированная схема регенерации магнетитовой суспензии

### **Вопросы для самопроверки**

1. Дайте определение процессу обогащения полезных ископаемых в тяжелых средах.
2. В чем заключается сущность метода обогащения полезных ископаемых в тяжелых средах?
3. Какие тяжелые среды вы знаете?
4. Какие тяжелые среды применяются в лаборатории для разделения пробы руды на фракции по плотности?
5. Какие тяжелые среды применяются на фабрике для разделения руды по плотности на концентрат и отходы?

6. Назовите достоинства и недостатки метода обогащения полезных ископаемых в тяжелых средах.

7. Какие аппараты для обогащения полезных ископаемых в тяжелых средах вам известны?

8. Назовите область применения тяжелосредних сепараторов с вертикальным элеваторным колесом.

9. Опишите технологию обогащения руд в тяжелосредних сепараторах.

10. Назовите устройство, принцип действия тяжелосредних сепараторов с вертикальным элеваторным колесом их достоинства и недостатки.

11. Назовите область применения, конструкцию, принцип действия тяжелосредних гидроциклонов их достоинства и недостатки.

12. Каким образом регенерируется разбавленная магнетитовая суспензия?

### **3.1.5. Обогащение в потоках воды на наклонных плоскостях**

Обогащение в потоках воды на наклонных плоскостях осуществляется в потоках малой глубины. На частицы в потоке воды действует ряд сил: гравитационная сила, сила потока воды, сила трения, сила сопротивления среды. Эти силы заставляют тяжелые и легкие частицы двигаться по-разному. Разделение минеральных частиц по плотностям и крупности происходит за счет различия в характере их движения. При малых скоростях потока зерна оседают на дне, при больших – взвешиваются в потоке. Для гравитационного расслоения зерен по плотностям в текущем потоке воды создаются условия, которые исключают переход тяжелых зерен во взвешенное состояние. В результате в верхних слоях потока будут находиться легкие частицы, а тяжелые будут скользить по дну. Легкие зерна минералов будут выноситься верхними слоями пульпы с большей скоростью, чем нижние слои, содержащие тяжелые частицы.

Данный принцип обогащения используется в аппаратах: струйных концентраторах, моечных желобах, шлюзах, концентрационных столах, спиральных сепараторах и др.

**Шлюзы и моечный желоб** применяются для первой стадии обогащения руд с низким содержанием тяжелых минералов, как для мелкозернистых, так и для крупнокусковых. Этим способом удаляется основная часть породы в оловянных, вольфрамовых, золото- и платиносодержащих рудах. В потоке пульпы по наклонному желобу (коробу)

тяжелая фракция частиц движется по дну и удаляется в разгрузочную камеру, а легкая выносится со слоями потока воды.

**Струйный концентратор** (рис. . 3.1.5.1.), представляет собой наклонный желоб (2) суживающийся в сторону разгрузки. Исходная пульпа подается с малой начальной скоростью в верхнюю широкую часть аппарата (1). Во время стекания по желобу происходит сужение потока, увеличение его глубины. Характер движения изменяется от ламинарного к турбулентному. Частицы перегруппировываются таким образом, что зерна легкие выбрасываются в верхние слои (4), а тяжелые – в нижние слои потока (3). На выходе наблюдается веер пульпы. Разделяя его перегородками-отсекателями (5), можно получить разные продукты по плотности.

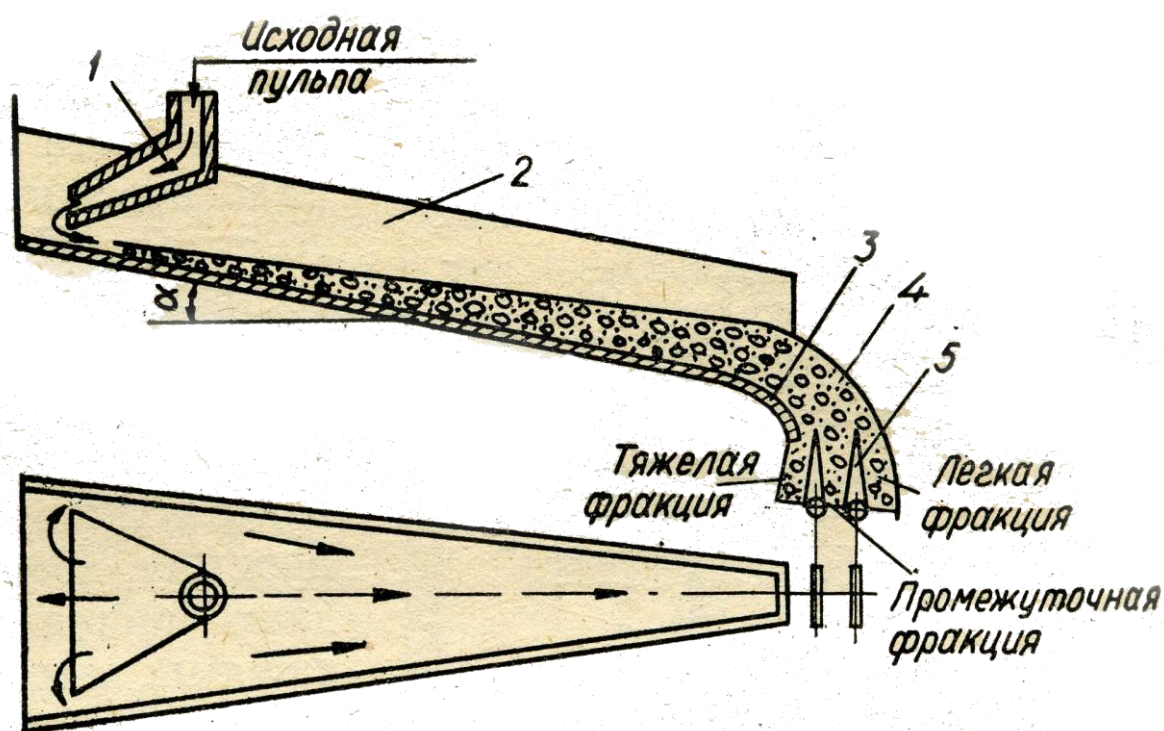


Рис. 3.1.4.5.1. Струйный концентратор.

1 – питающая воронка; 2 – суживающийся наклонный желоб; 3 – слой потока с тяжелыми частицами; 4 – слой потока с легкими частицами; 5 – перегородки-отсекатели

Применяется при обогащении россыпей минералов, например, титаново-циркониевых или ильменито-цирконорутитовых песков, в которых полезные минералы представлены мелкими свободными час-

тицами. Плотность полезных минералов должна сильно отличаться от плотности пустой породы.

### 3.1.5.1. Спиральный сепаратор



В спиральных сепараторах (рис. 3.1.5.1.1.) исходная пульпа загружается сверху в приемное устройство и по желобу (1) стекает вниз под действием силы тяжести.

Под действием центробежных сил инерции и динамического давления частицы перераспределяются по сечению потока. Тяжелые частицы смещаются к центру и собираются отсекателями (2). Легкие прижимаются к борту и выносятся вместе с пульпой.

Спиральные сепараторы применяются для первичного обогащения мелкозернистых песков (0,02-3 мм), содержащих ильменит,

циркон, рутил, редкие и благородные металлы, железные руды, алмазы и т. д. с получением грубых (черновых) концентратов. Особенно широко известны на углеобогачительных фабриках, где применяются для обогащения мелкого угля 0,2-3 мм.

Спиральные сепараторы просты по конструкции и в обслуживании, занимают мало места, не требуют затрат энергии, но выдают недостаточно качественные концентраты (на эффективность оказывает влияние гранулометрический состав и форма зерен).

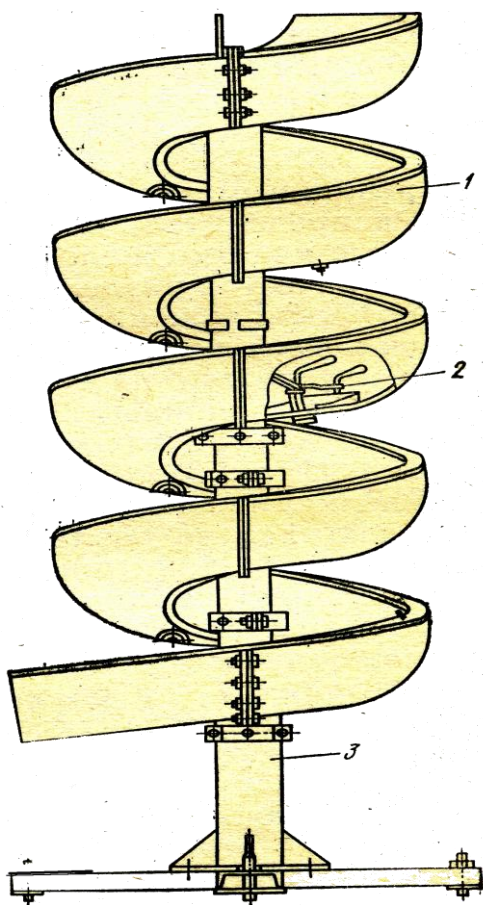


Рис. 3.1.5.1.1. Спиральный сепаратор

### 3.1.5.2. Концентрационный стол

Концентрационные столы бывают подвижные и неподвижные. Подвижные концентрационные столы бывают ленточными, круглыми и качающимися. Качающиеся концентрационные столы используются для обогащения различных руд чаще, чем другие известные типы. На углях их не применяют – малопроизводительны. Очень часто с их помощью обогащают золотосодержащие и редкоземельные руды.

Качающийся концентрационный стол СКМ-1 (рис. 3.1.5.2.1.) состоит из деревянной деки (1) трапецевидной формы, которая опирается на шесть роликов опор скольжения (3), установленных на рычагах, закрепленных в кронштейнах рамы (4).

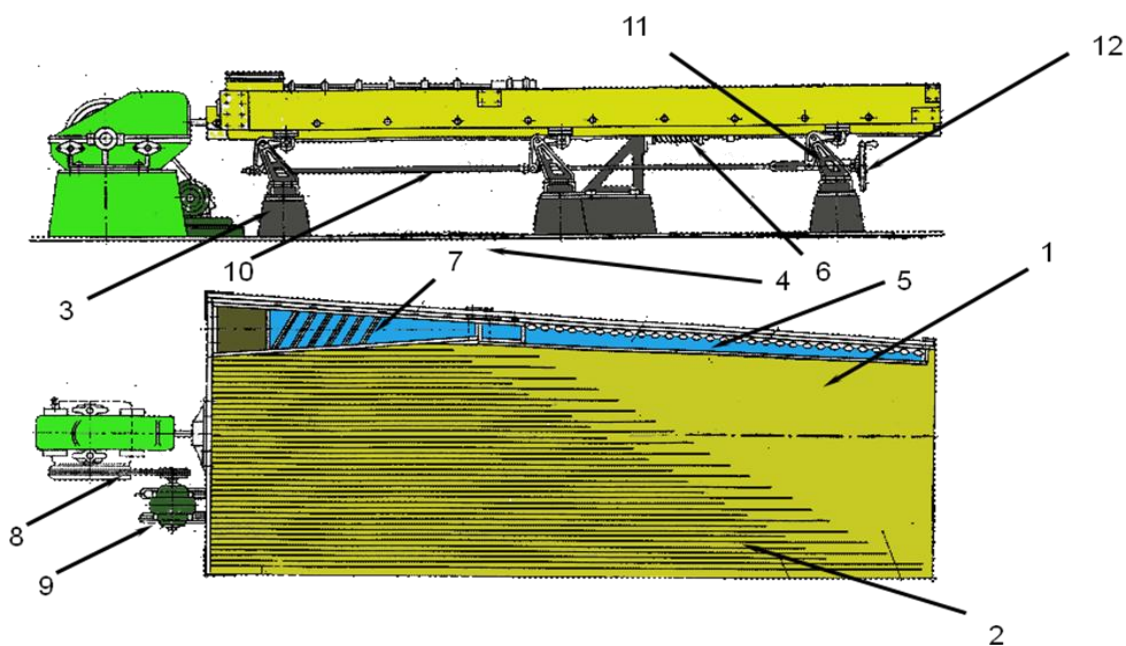


Рис. 3.1.5.2.1. Качающийся концентрационный стол СКМ-1.

- 1 – дека; 2 – рифли; 3 – опора деки; 4 – рама; 5 – желоб для воды; 6 – натяжное устройство; 7 – желоб для пульпы; 8 – приводной механизм; 9 – электродвигатель; 10 – тяга; 11 – винт; 12 – маховичок кренового механизма

Поверхность деки может быть из алюминиевых сплавов без покрытия либо покрывается линолеумом, резиной или стеклопластиком, на котором крепятся деревянные планки – рифли (2). В продольном направлении рифли скашивают по высоте и у разгрузочного конца они имеют минимальную высоту. Скашивание рифлей способствует расхождению продуктов веером по поверхности деки. Для регулирования



поперечного наклона деки имеется специальный креновый механизм, при вращении маховика (12) которого дека за счет винта (11) поворачивается на одинаковый угол. Поперечный угол наклона деки составляет  $2-5^\circ$  для мелкого материала и  $5-9^\circ$  – для более крупного.

Дека стола совершает возвратно поступательное движение за счет приводного механизма (8), с которой она соединена тягой (10). Возникающая инерционная сила продвигает тяжелые частицы по рифлям, лёгкие смываются течением воды.

Качающийся концентрационный стол высокоэффективен, т. е. отличается большим извлечением полезного компонента из руды и хорошим качеством концентрата.

Недостаток – низкая производительность.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Каким образом происходит процесс обогащения в потоках воды на наклонных плоскостях?
2. В каких аппаратах осуществляется данный принцип обогащения?
3. Как осуществляется процесс обогащения в струйных концентраторах?
4. Назовите область применения, устройство, принцип действия спиральных сепараторов их достоинства и недостатки.
5. Назовите область применения, устройство, принцип действия концентрационных столов их достоинства и недостатки

## **3.2. Флотационные методы обогащения полезных ископаемых**



Флотационный процесс обогащения основан на использовании различий в естественной или искусственной смачиваемости природных минералов. Флотация – способ разделения минералов, при которых одни минералы – *гидрофобные* закрепляются на межфазовой поверхности, а другие – *гид-*

*рофильные* такой способностью не обладают.

Плохо смачиваемые водой гидрофобные минералы, в основном, являются полезными: сульфиды цветных и черных металлов, тальк, уголь, графит. Хорошо смачиваемые водой гидрофильные минералы, в основном, пустая порода: кварц, карбонаты, кальцит и т. д.

Во флотации межфазовой границей, к которой прикрепляются минералы, обычно являются: вода-воздух, масло-вода, вода-газ.

Универсальность метода заключается в том, что при помощи реагентов можно менять состояние поверхности частиц, т. е. усиливать или уменьшать природную гидрофильность или гидрофобность



поверхности, гидрофобизировать гидрофильную поверхность или гидрофилизировать гидрофобную.

Флотационному методу обогащения подвергаются частицы, как правило, имеющие размеры менее 0,5 мм, т. е. шламы.

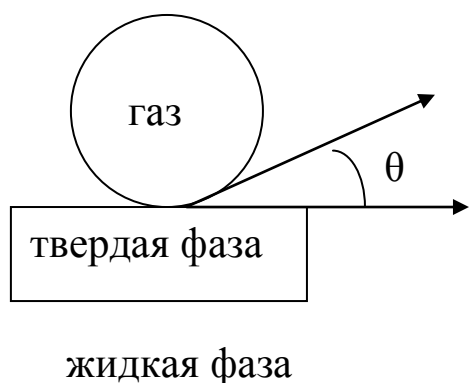
Наличие в пульпе микроников – частиц 0,01-0,005 мм ухудшает процесс флотации за счет их очень большой сорбционной способности. Огромное количество очень маленьких частиц обладают огромной общей поверхностью и, за счет этого, поглощают большое количество реагентов, хотя сами, как правило, не флотируются. Поэтому переизмельчать руду нежелательно.

Существует большое разнообразие флотационных процессов: *пенная флотация, плёночная, масляная флотация*, масляная грануляция и др. Пленочной флотацией называется процесс, при котором гидрофобные частицы, попадая на поверхность движущегося потока воды, остаются на ней, образуя пленку, а гидрофильные частицы тонут. Пленочная флотация используется в процессе флотогравитации при доводке гравитационных концентратов. Масляной флотацией называется процесс, при котором гидрофобные частицы прилипают к каплям масла в пульпе и всплывают наверх, а гидрофильные частицы остаются взвешенными в пульпе. Разделение минеральных частиц может осуществляться также при помощи гидрофобной твердой поверхности

(флотация твердой стенкой) или твердой поверхности, покрытой слоем гидрофобной вязкой жидкости (обогащение на жировой поверхности). К таким поверхностям, помещенным в пульпу, избирательно прилипают гидрофобные частицы. Флотация на жировой поверхности используется при обогащении алмазов. В промышленности широко применяется пенная флотация. Известны разновидности пенной флотации: *флотация кипячением*, *химическая флотация* (например, если порода содержит кальцит, то добавляя серную кислоту можно флотировать гидрофобные частицы на образующихся пузырьках углекислого газа), *вакуумная флотация*, *флотация под давлением*, *электрофлотация* (получение пузырьков электролизом воды) и другие виды. Традиционно на преобладающем большинстве обогатительных фабрик применяется пенная флотация минералов на пузырьках воздуха.

Пенной флотацией называется процесс, при котором гидрофобные частицы прилипают к вводимым в пульпу пузырькам воздуха или газа и поднимаются с ними вверх, образуя пену. Гидрофильные частицы остаются в пульпе во взвешенном состоянии.

Продукты пенной флотации называются: *пенный* и *камерный*.



Степень гидрофобности поверхности характеризует ее смачиваемость водой. Смачиваемость характеризуется величиной краевого угла смачивания поверхности –  $\theta$ . Это угол, образованный поверхностью раздела двух фаз с поверхностью третьей фазы. Краевой угол принято измерять со стороны жидкой фазы.

Вопросы для самопроверки

### 3.2.1. Флотационные реагенты

Для управления процессом флотации применяются флотационные реагенты. Степень гидрофобности поверхности можно изменять с помощью реагентов *собирателей*. Они увеличивают гидрофобность поверхности. Наиболее известные реагенты-собиратели бывают полярные: ксантогенаты (применяются при обогащении сульфидных полиметаллических руд), карбоновые жирные кислоты (применяются при обогащении окисленных руд) и аполярные: керосин, газойль (применяются при обогащении углей).

Депрессоры также изменяют степень смачивания поверхности минерала, но в обратную сторону. Они увеличивают гидрофильность поверхности и, особенно важны, для разделения полиметаллических руд друг от друга. Например, для разделения сульфидных руд часто применяются цианиды. Для подавления флотационной активности породы – жидкое стекло.

Процессом образования пены и стабилизации пузырьков можно управлять при помощи реагентов – *вспенивателей*. Для стимуляции диспергирования воздуха и пенообразования на рудах чаще всего применяют сосновое масло, при обогащения углей – КОБС (кубовые остатки при производстве бутиловых спиртов).

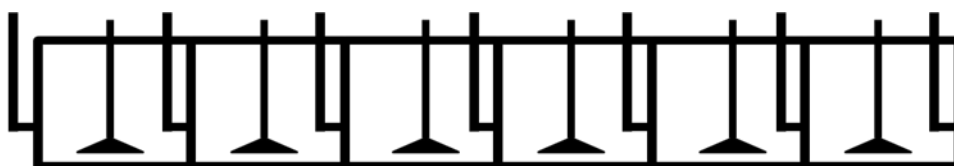
Активаторы восстанавливают флотационную способность частиц прилипать к пузырькам воздуха или подготавливают поверхность к нанесению собирателей.

Регуляторы среды подготавливают пульпу к процессу флотации, например, изменяют нейтральность среды в сторону необходимую для эффективной работы собирателей.

### **3.2.2. Флотационные машины**

По способу передачи нагрузки из камеры в камеру флотационные машины можно подразделить на три вида: камерные, прямоточные, камерно-прямоточные.

#### *Камерные флотационные машины*



Камерные флотационные машины состоят из ряда последовательно установленных камер, в каждой из которых имеется импеллер – мешалка особой конструкции и межкамерный карман с шиберным устройством. Каждая камера является всасывающей. Высота пенного порога в каждой камере устанавливается уровнем пульпы, который регулируется шиберным устройством. Это усложняет процесс обслуживания, но позволяет в одной машине производить различные операции (основные, перечистные, контрольные) (рис. 3.2.2.1.).

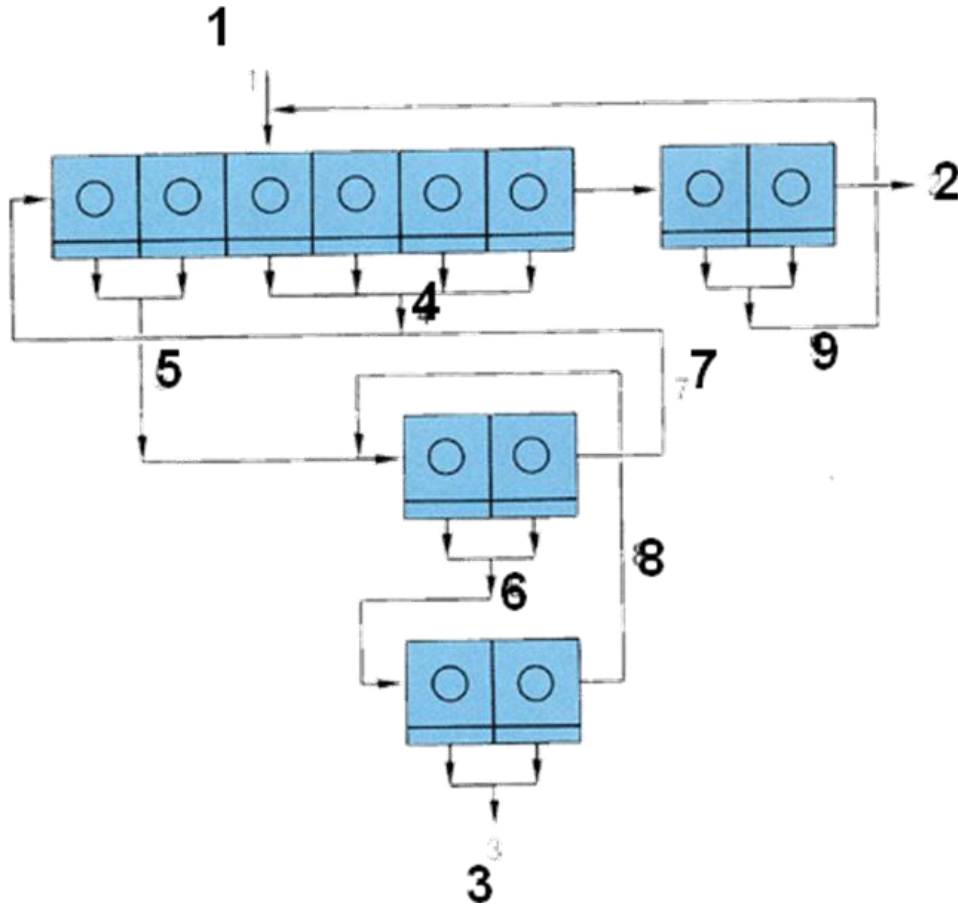
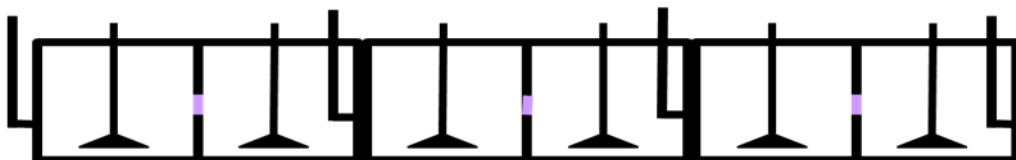


Рис. 3.2.2.1. Схема компоновки флотационных машин.

- 1 – подача пульпы; 2 – отвальные хвосты; 3 – конечный концентрат;  
 4 – первичный концентрат; 5 – концентрат первой перечистки;  
 6 – концентрат второй перечистки; 7 – промпродукт второй  
 перечистки; 8 – промпродукт третьей перечистки;  
 9 – концентрат контрольной флотации

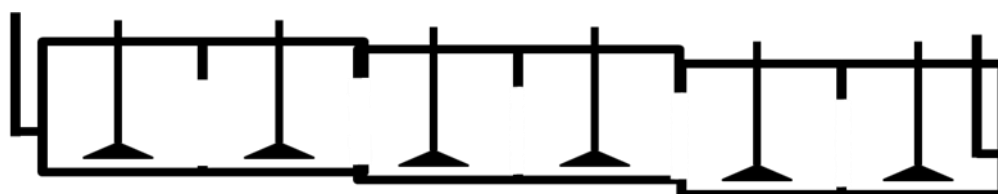
*Камерно-прямоточные флотационные машины*



Камерно-прямоточные флотационные машины состоят из ряда камер, в каждой из которых также имеется импеллер, но межкамерный карман с шибберным устройством установлен в каждой секции, которая состоит обычно из двух-трех камер. Первая камера является всасы-

вающей, вторая и последующие в секции – прямоточные.

### *Прямоточные флотационные машины*



Прямоточные флотационные машины представляют собой ванну, разделенную на секции с импеллерами. В секциях между камерами практически нет внутренних перегородок. Они имеются только в верхней части ванны для того, чтобы исключить возможный частичный обратный поток пульпы. Пульпа по длине машины перемещается под действием силы тяжести, т. к. машина устанавливается под наклоном. Карман с шиберным устройством установлен в последней камере секции. Это упрощает работы по обслуживанию процесса, т. к. уровень пульпы регулируется только в последней камере. Но и создает проблемы, т. к. из-за наклона машины в каждой секции устанавливается своя высота пенного порога.

По способу подачи воздуха в камеру машины бывают:

– *механические*, в которых перемешивание и аэрация пульпы осуществляется с помощью импеллера;

– *пневмомеханические* – перемешивание производится импеллером, аэрация воздуходувками;

– *пневматические* – перемешивание и аэрация происходит подачей сжатого воздуха, через пористые перегородки или форсунки с большой скоростью.

#### **3.2.2.1. Механические флотационные машины**

##### **«Механобр»**

Каждая секция машины (рис. 3.2.2.1.1.) собирается из двух камер: всасывающей и прямоточной.

Всасывающая камера имеет карман (1) для подачи исходной пульпы, которая поступает в камеру через патрубок (2) и центральную трубу импеллера (7). Вал импеллера вращается внутри трубы (7), к нижней части трубы крепится надимпеллерный диск – статор (4) с лопатками (5), расположенными под углом 60 градусов к радиусу.

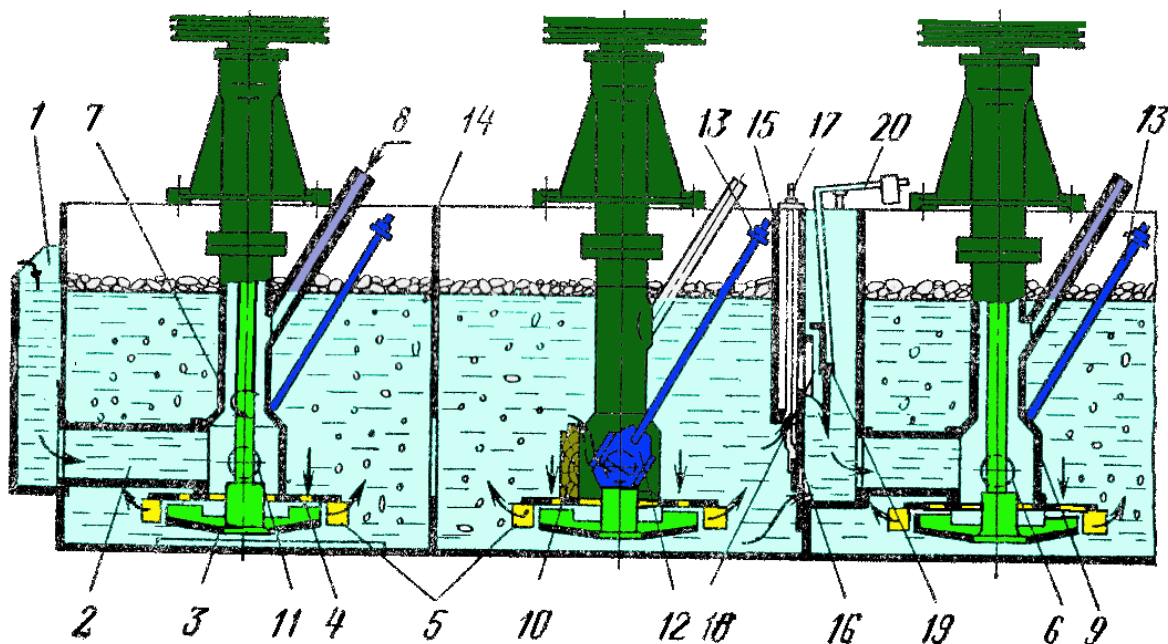


Рис. 3.2.2.1.1. Механическая флотационная машина «Механобр».

- 1 – приемный карман; 2 – патрубок; 3 – импеллер; 4 – отверстия в диске; 5 – направляющие лопатки статора; 6 – вал импеллера, 7 – труба импеллера; 8 – патрубок, для подачи воздуха; 9 – надимпеллерный стакан; 10 – пробка; 11 – отверстие; 12 – заслонка; 13 – тяга; 14 – перегородка; 15 – карман; 16 – отверстие для выноса крупных песков; 17 – стержень для регулировки размера отверстия шибером; 18 – отверстие, 19 – крышка; 20 – рычаг с контргрузом

При вращении вала (6) пульпа лопатками отбрасывается от центра к периферии, в результате чего в центральной зоне импеллера между импеллером (3) и надимпеллерным диском создается небольшое разрежение – зона вакуума, которая заполняется мгновенно поступающей пульпой и воздухом. Воздух из атмосферы поступает в аэратор по патрубку (8) и трубе импеллера (7), засасывается (эжектируется) за счет создаваемого разрежения, диспергируется системой импеллер-надимпеллерный диск и выбрасывается в пульпу.

Для внутрикамерной циркуляции пульпы надимпеллерный диск имеет круглые отверстия, расположенные по окружности. Кроме того для регулирования внутрикамерного потока в нижней части трубы, называемой надимпеллерным стаканом (9) имеется два отверстия (11), которые служат для внутрикамерной циркуляции пульпы. Одно можно

использовать для подвода промпродукта, другое можно закрыть или частично прикрыть заслонкой (12) с помощью штока (13).

Пенный продукт (как правило, концентрат) идет на обезвоживание или перечистку. Камерный продукт перемещается самотеком на дофлотацию в следующую камеру или из последней камеры в отходы.

К конструкции механических флотационных машин предъявляются определённые требования. Должно соблюдаться определенное соотношение стороны камеры –  $a$  и диаметра импеллера –  $D$ . Если

соотношение  $\frac{a}{D}$ , меньше чем 1,5, то возникает гидравлический удар,

что приводит к шуму и износу деталей машины. Если,  $a/D$  больше 1,5, то сложно осуществить полноценное перемешивание и аэрацию, в результате шламуется камера флотационной машины. Также для механических машин есть ограничение по окружной скорости вращения импеллера – не более 9 м/с, т. к. иначе наступает явление кавитации: образование большого количества микроскопических пузырьков из бывшего растворенного воздуха, которые разрушают лопасти импеллера. На механических флотационных машинах устанавливают успокоительные решётки для обеспечения спокойных условий в верхней зоне камеры, чтобы не допустить отрыва минералов от пузырьков.

Механические флотационные машины широко применяются, т. к. имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами машин: интенсивную аэрацию и перемешивание пульпы, большую производительность, у отечественных машин очень хорошие конструктивные гидродинамические характеристики, возможность работы с широким диапазоном крупности частиц, отсутствие воздухоудовного хозяйства. Но имеются и недостатки в конструкции: сравнительно быстрый износ деталей и из-за этого непостоянство аэрации, а также то, что регулировку зазора между импеллером и надимпеллерным диском приходится проводить практически вслепую. Сильные восходящие потоки пульпы вызывают бурление и нарушают пенообразование.

#### **3.2.2.2. Механические флотационные машины угольные**

Флотационные машины угольные комплектуются из трех секций. Каждая секция состоит из двух камер: всасывающей и прямоточной. Флотационные машины угольные (рис. 3.2.2.2.1.) отличаются от рудных тем, что импеллер помещён в аэрационную камеру (11) изолирующую зону аэрации и флотации.

Это создаёт благоприятные условия для всплывания флотацион-



ных комплексов уголь-пузырёк. Верхняя часть аэрационной камеры представляет собой крышку с лопатками, выполняющую роль статора. Воздух при вращении вала импеллеров увлекается в аэрационную камеру через патрубок (8). Пульпа из приемного кармана (3) поступает во флотационную камеру (1), в аэрационную камеру (11) попадает через кольцевые отверстия двумя путями: к нижней части центробежного импеллера (4) и к верхней части. Там пульпа аэрируется и затем отправляется на осевой импеллер (2), равномерно смешивается с частью неаэрированной пульпы и выбрасывается во флотационную камеру через успокоитель с перфорированной поверхностью.

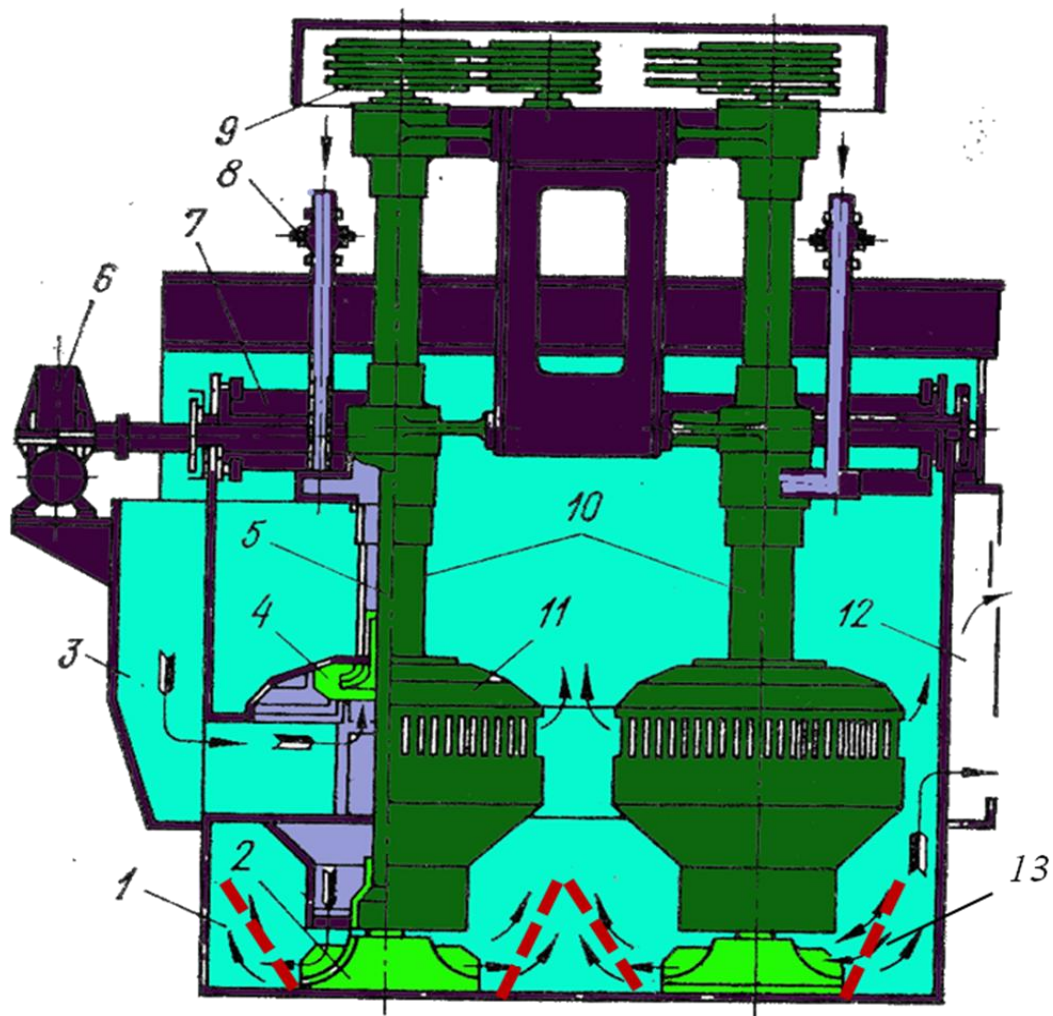


Рис. 3.2.2.2.1. Флотационная машина угольная МФУ 2- 63.

- 1 – корпус; 2 и 4 – центробежный и осевой импеллеры;  
 3 – карман; 5 – вал; 6 – привод; 7 – пеногон; 8 – воздухозаборная труба;  
 9 – приводной шкив; 10 – блок-импеллеры; 11 – аэрационная камера;  
 12 – переливное устройство, 13 – успокоительные решетки

Успокоительная решётка обеспечивает более свободный отвод пульпо-воздушного потока. Часть более насыщенной воздухом пульпы, выбрасывается в верхний слой флотационной камеры через щели в аэрационной камере. Этим достигается аэрация верхних слоёв пульпы и стабилизация работы осевого импеллера (2). Таким образом, в машине осуществляется принцип послойной аэрации на уровне центробежного (4) и осевого импеллера (2). Пена удаляется из камер с обеих сторон двухрядным пеногоном (6, 7). Детали флотационной машины (импеллеры, статоры, аэрационные камеры) изготавливают из износостойких сплавов, т. к. они находятся в условиях интенсивного коррозионного и абразивного воздействия. Внутреннюю часть камеры футеруют плитками из каменного литья, что также предотвращает ее быстрое изнашивание.

### ***3.2.2.3. Пневмомеханические флотационные машины***



Пневмомеханические флотационные машины (рис. 3.2.2.3.1) отличаются от механических тем, что аэратор только диспергирует воздух, но не всасывает его. Сжатый воздух в пульпу поступает отдельно при помощи насосов-воздуходувок.

Пневмомеханические флотационные машины применяются при обогащении калийных, фосфатных солей, цинковых, молибденовых руд и флотация углей.

У пневмомеханических флотационных машин есть свои преимущества по сравнению с механическими: за счет лучшей организации потоков пульпы в камере и большей их глубины увеличивается в 1,3 – 1,5 раза скорость флотации; сокращается удельный расход энергии на 15 – 20 %; имеется возможность регулирования аэрации. Наличие эффективного перемешивания в этих машинах позволяет применять их при флотации материала с содержанием класса 0,074мм -40% и выше.

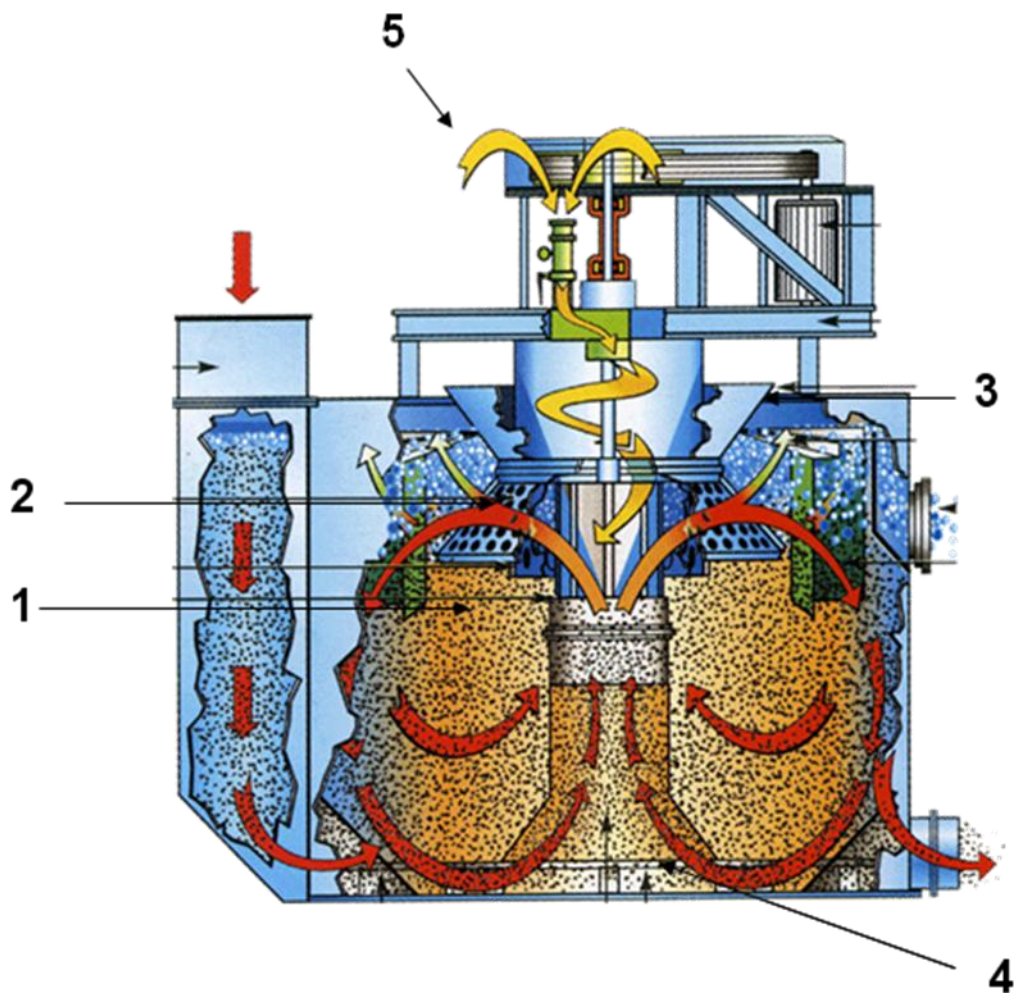


Рис. 3.2.2.3.1. Пневмомеханическая флотационная машина «Smart Cell WEMCO».

1 – ротор; 2 – диспергатор; 3 – отражатель пены; 4 – всасывающая труба; 5 – подача воздуха

Они имеют простую конструкцию, удобны в эксплуатации (в них легко заменяются и меньше изнашиваются блоки импеллера). Все пневмомеханические флотационные машины проточные, поэтому в них проще регулируется уровень пульпы.

Недостатки: невозможность флотации крупнозернистого материала; сложность процесса замены блок-аэратора (возможно только при полной выработке камер); невозможность организации покамерной регулировки уровня пульпы. В проточных машинах возникает обратный поток пульпы, который усиливает разброс частиц по времени пребывания в камере и тем самым снижает скорость флотации. Обратный поток может

быть уменьшен за счет увеличения подачи прямого потока и повышения степени изоляции камер установкой межкамерных перегородок

#### **3.2.2.4. Пневматические флотационные машины**



Пневматические флотомашинны применяются для флотации полезных ископаемых простого состава, т.е. при простых схемах обогащения. В пневматических флотационных машинах пульпа аэрируется и перемешивается путем особой подачи воздуха.

Наиболее известны машины с двумя способами подачи воздуха: под давлением – ФПС-16 (пенная сепарация); CoalPro; Пневмофлот (PNEUFLOT cells HUMBOLDT WEDAG) и аэролифтные («Механобр», АФМ-2,5).

В днище камеры, боковых стенках или по ходу подачи пульпы имеются пористые перегородки или форсунки, через которые нагнетается воздух.

Крупность пузырьков и циркуляция пульпы зависят от его давления, размера отверстий в перегородках, изготовленных из ткани, перфорированной резины и т.д.

Современные пневматические флотационные машины делают большими колонного типа, например, пневматическая флотационная машина PNEUFLOT cells HUMBOLDT WEDAG (рис. 3.2.2.4.1).

Пульпа предварительно аэрируется и смешивается с реагентами перед поступлением во флотационный насос-питатель.

Во время закачивания в камеру тонкодисперсный воздух контактирует с флотационной пульпой посредством запатентованного аэратора.

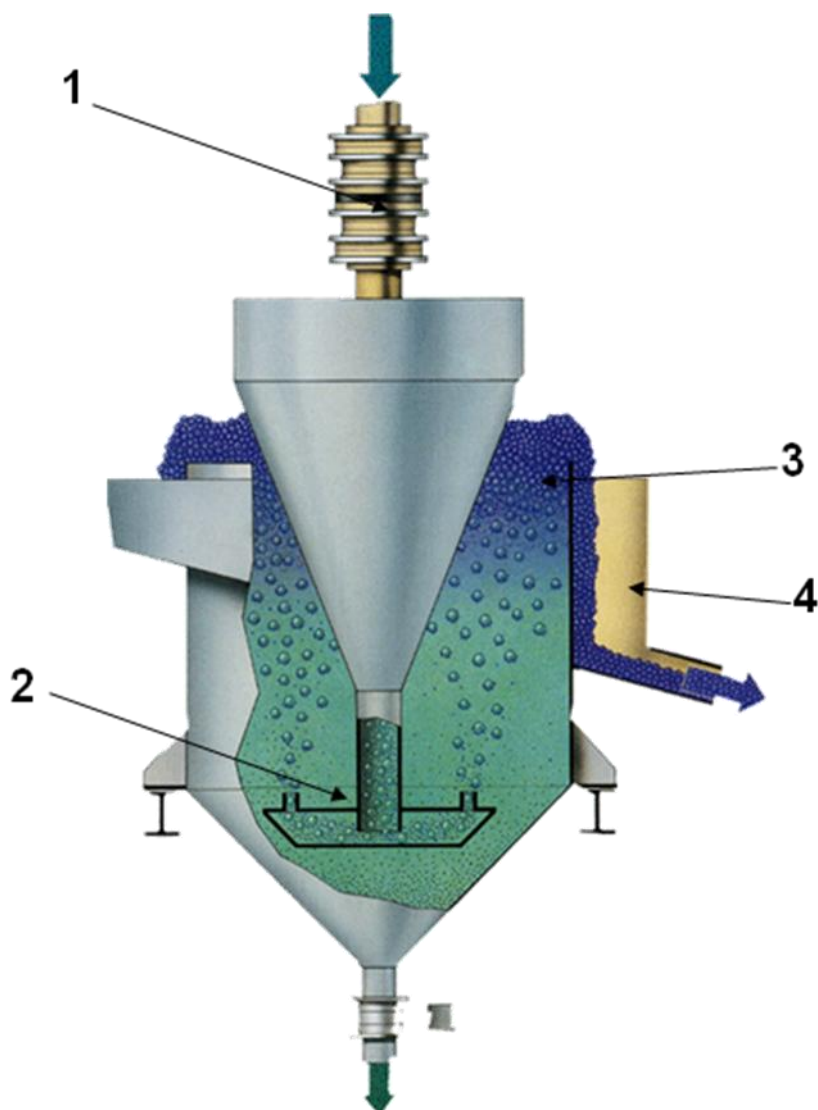


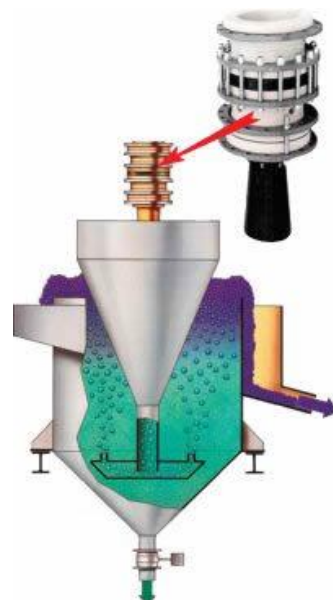
Рис. 3.2.2.4.1. Пневматическая флотационная машина PNEUFLOT cells HUMBOLDT WEDAG.

1 – аэратор; 2 – дистрибьютер; 3 – пена; 4 – кольцеобразный желоб

*Аэратор* (рис. 3.2.2.4.2.) устанавливается на вертикальной нисходящей трубе-питателе.

Взаимодействие пузырька и частицы в основном осуществляется внутри аэратора и частично в нисходящей трубе во время их оседания к распределителю пульпы.

Преимущества пневматических флотационных машин: небольшие площади для установки; малая металлоемкость; низкие капитальные затраты; низкие эксплуатационные расходы вследствие отсутствия подвижных частей и низкой степени их износа,



что сокращает затраты на техническое обслуживание; низкое энергопотребление; высокая эффективность при высоком уровне содержания твердого в пене; высокая селективность разделения; высокая производительность.

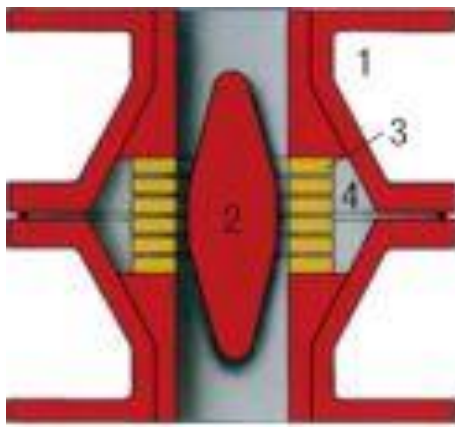


Рис. 3.2.2.4.2. Схематический разрез аэратора

- 1 – корпус, состоящий из 2-х частей из полипропилена;  
2 – вытеснительное тело из керамики для образования кольцевого канала 8-12 мм; 3 – кольцевые шайбы из керамики с диаметром щели от 25 до 100 мкм; 4 – камера сжатого воздуха, соединенная с устройством его подачи

Недостатки: интенсивность перемешивания ниже, чем у механических; размер пузырьков в 2- 3 раза больше, следовательно, низкая удельная производительность на один кубометр воздуха. Есть вариант повышения производительности подачей воздуха через сопла со сверхзвуковой скоростью. Это обеспечивает тонкое его диспергирование. Недостатком является необходимость применения насосов, ненадежность аэраторов у пневматических флотационных машин с аэролифтной загрузкой (зашламовка воздухподающих трубок), чувствительность к изменению плотности пульпы и крупности измельченной руды, трудности при флотации крупного и тяжелого материала из-за недостаточного перемешивания.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. В чем заключается процесс флотации?
2. Чем отличаются гидрофобные минералы от гидрофильных?

3. Какие классы крупности частиц руды подвергаются обогащению флотационными методами?
4. Расскажите, какие вы знаете типы флотационных процессов?
5. Что представляет собой пенная флотация минералов на пузырьках воздуха?
6. В чем заключается актуальность применения флотационных методов обогащения, например, для полиметаллических, тонковкрапленных руд, угольных шламов и т. д.?
7. Дайте определение краевому углу смачивания.
8. Со стороны какой из фаз принято измерять краевой угол?
9. Какие факторы оказывают влияние на флотацию?
10. Какие типы флотационных машин по способу передачи нагрузки из камеры в камеру вам известны?
11. Какие типы флотационных машин по способу аэрации пульпы вы знаете?
12. Опишите конструкцию, принцип действия, достоинства и недостатки, требования к конструкции механической флотационной машины «Механобр».
13. В чем особенность флотационных угольных машин – МФУ?
14. Как вы понимаете явление кавитации?

### **3.3. Магнитные методы обогащения**

Магнитные методы обогащения осуществляются в воздушной либо в водной среде и в соответствии с этим, процесс называют *мокрой* или *сухой* магнитной сепарацией.

Чаще всего магнитным методом обогащают железо и марганец-содержащие руды, осуществляют доводку концентратов руд редких металлов, регенерацию сильномагнитных утяжелителей и т.д.

Магнитные методы обогащения основаны на различие магнитных свойств минералов, а именно их *магнитной восприимчивости*. Разделение минералов тем эффективнее, чем существенней различия в магнитных свойствах материалов.

Магнитная восприимчивость – величина, характеризующая связь намагниченности вещества с магнитным полем в этом веществе и обозначается греческой буквой  $\kappa$  (каппа).

По этому свойству они делятся на три группы:

*Сильномагнитные* (ферромагнетики)

- металлы: железо, никель, кобальт;

- минералы-окислы металлов: магнетит ( $FeO \cdot Fe_2O_3$ ); пирротин, маггемит ( $\gamma - Fe_2O_3$ ) и все ферриты типа ( $MeO \cdot Fe_2O_3$ ).

Эти минералы извлекаются на магнитных сепараторах с полем слабой напряженности  $H=1500$  Э (Эрстед) со слабомагнитным полем (открытые многополюсные магнитные системы).

*Слабомагнитные* (парамагнетики)

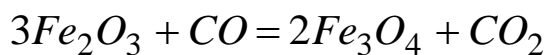
- вольфрамит, биотит, гематит, лимонит, сидерит.

Минералы этой группы извлекаются на магнитных сепараторах с полем высокой напряженности  $H 4000 < H < 17000$  Э в сепараторах с сильным магнитным полем (замкнутые магнитные системы).

*Немагнитные* минералы (диамагнетики)

- кварц, полевошпат, кварцит, касситерит, мусковит.

Слабомагнитные минералы железа – гематит, сидерит, лимонит при обжиге в соответствующих условиях переходят в сильномагнитные – магнетит и маггемит. В качестве восстановителя применяют уголь, природные газы и т.д. содержащие СО.



Магнитное обогащение осуществляется в неоднородных магнитных полях, которые создаются магнитной системой сепаратора, состоящей из определенным образом направленных магнитов. Процесс разделения сопровождается флокуляцией материала – образованием в рабочей зоне сепаратора флокул и прядей из магнитных зерен. В эти флокулы увлекаются немагнитные частицы. Для уменьшения такого загрязнения применяются магнитные системы с полосами чередующейся полярности (по ходу движения материала; флокулы меняют ориентацию и частично разрушаются).

***Способы обогащения частиц по магнитным свойствам:***

Известны 3 способа разделения частиц по магнитным свойствам (рис. 3.3.1.):

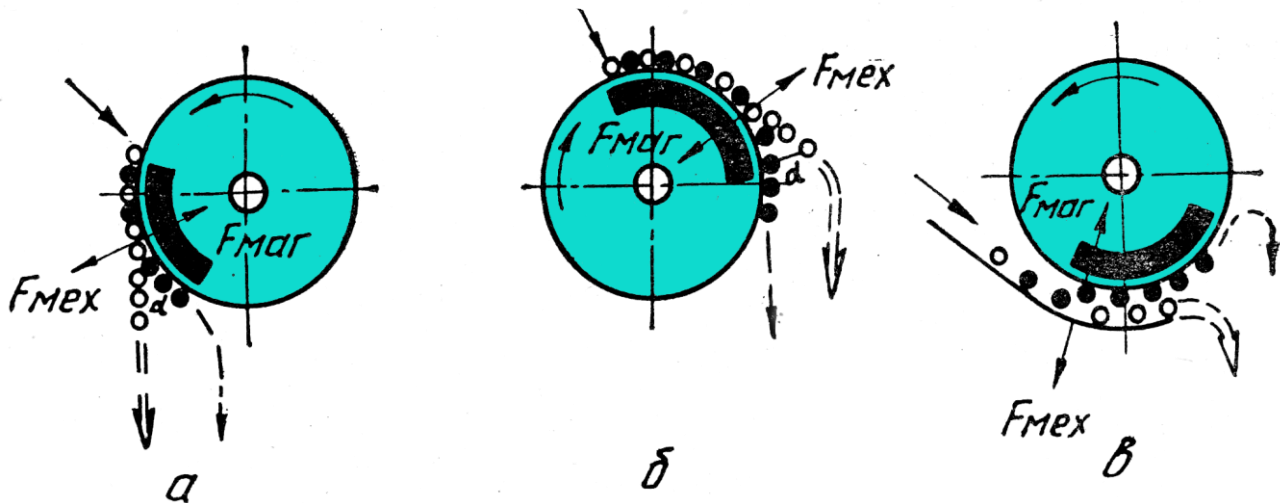
а) отклонение магнитных частиц (поток, минуя магнит, разделяется на два),

б) удерживание (поток магнитных частиц перпендикулярен поверхности барабана). Поскольку направления потока частиц и магнитной силы совпадают, потери минимальны, достигается максимальное



извлечение магнитных частиц и. максимальная производительность по концентрату

в) извлечение магнитных частиц (поток под магнитом). В этом случае достигается максимальная чистота концентратов.



*Условные обозначения продуктов:*

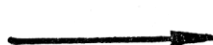


-  — *исходного;*
-  — *магнитного;*
-  — *немагнитного*

Рис. 3.3.1. Способы разделения частиц по магнитным свойствам: а) отклонение; б) удерживание; в) извлечение магнитных частиц

Крупность частиц, обогащаемых магнитными методами зависит от размера зерна полезного. Обогащению подвергаются руды с малыми размерами кусков 3-6 мм (металлические руды обычно имеют тонкую вкрапленность). Более крупные по размерам магнетитовые руды с размером зерна до 40 мм обогащаются сепараторами с постоянными магнитами, до 150 мм только с помощью электромагнитов.

### **3.3.1. Магнитные сепараторы**

Магнитные сепараторы состоят из магнитной системы, встроенной в барабан, валок или диск, ванны, резинового скребка для снятия с барабана магнитного материала и питателя, по которому подается материал на барабан сепаратора. Магнитные сепараторы имеют много общего в конструкции и принципе действия, но имеются и различия.

Например, *сепараторы барабанные для сухого обогащения сильномагнитных руд* (рис. 3.3.1.1.) имеют вращающийся барабан с магнитом внутри. Исходная руда питателем подается на барабан или под барабан сепаратора. Магнитные частицы притягиваются к барабану и разгружаются на выходе из зоны действия магнитных сил. Немагнитная разгружается в приемник для немагнитного продукта.



Рис. 3.3.1.1. Магнитный сепаратор. Шерегеш.  
Обогащение магнетитовых руд

*Сепараторы для мокрого обогащения сильномагнитных руд* (рис. 3.3.1.2.) (противоточный магнитный барабанный сепаратор) обогащает руду в потоках воды. Исходная руда с водой (пульпа) поступает в ванну сепаратора. Магнитные частицы, попадая в зону действия поля магнитной силы, притягиваются к барабану, при его вращении выходят из области действия магнитного поля и удаляются с поверх-

ности барабана скребком. Немагнитная фракция разгружается в нижней части ванны сепаратора. Сепараторы для мокрого обогащения сильномагнитных руд используются также для регенерации магнетитовых суспензий, которые используются для отделения углей от породы.



Рис. 3.3.1.2. Барабанный сепаратор с постоянными магнитами для регенерации магнетитовой суспензии

*Сепараторы для обогащения слабомагнитных руд (валковые, роликовые и дисковые).* Руда движется по ленте конвейера, попадает в область действия магнитного поля под вращающиеся в разные стороны диски сепаратора. Магнитные частицы извлекаются дисками и сбрасываются с них центробежными силами в расположенные по обе стороны от конвейера желоба.

### **3.3.2. Классификация магнитных сепараторов**

*По напряженности и силе магнитного поля* различают сепараторы:

- 1) со слабым полем (80-120 кА/м) для сильномагнитных руд и для регенерации ферромагнитных суспензий;
- 2) с сильным полем (800-1600 кА/м) для слабомагнитных руд.

*По среде разделения материала* сепараторы бывают:

- 1) для сухого обогащения;
- 2) для мокрого обогащения.

По способу удаления продуктов обогащения они делятся на сепараторы:

1) сепараторы прямоточные (рис. 3.3.2.1.)

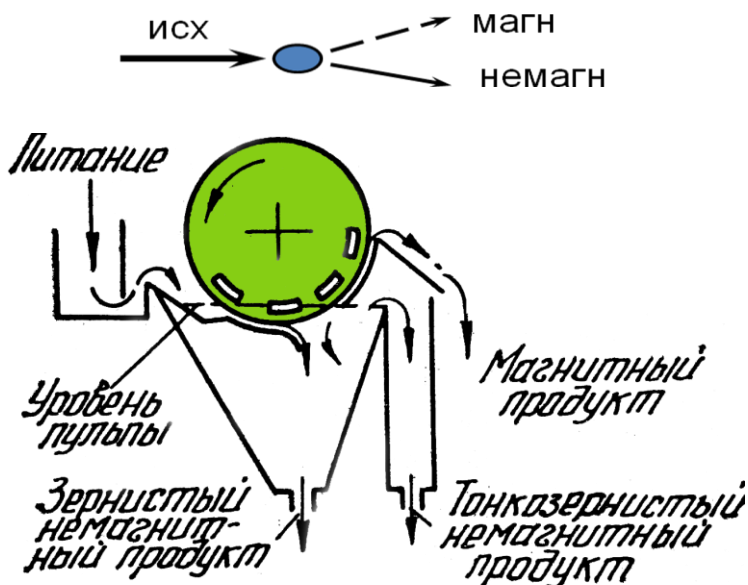


Рис. 3.3.2.1. Схема работы прямоточного сепаратора

2) сепараторы противоточные (рис. 3.3.2.2.)

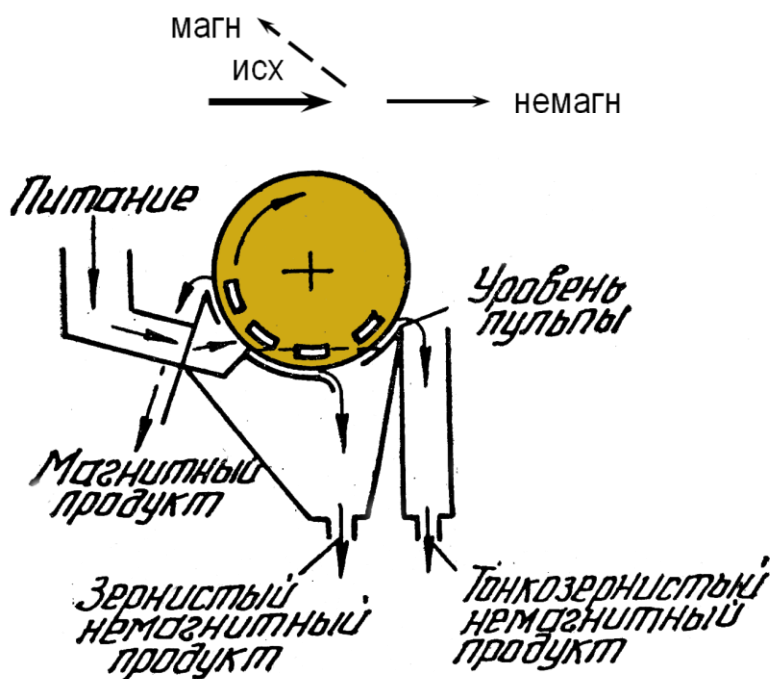


Рис. 3.3.2.2. Схема работы противоточного сепаратора

3) сепараторы полупротивоточные (рис. 3.3.2.3.)

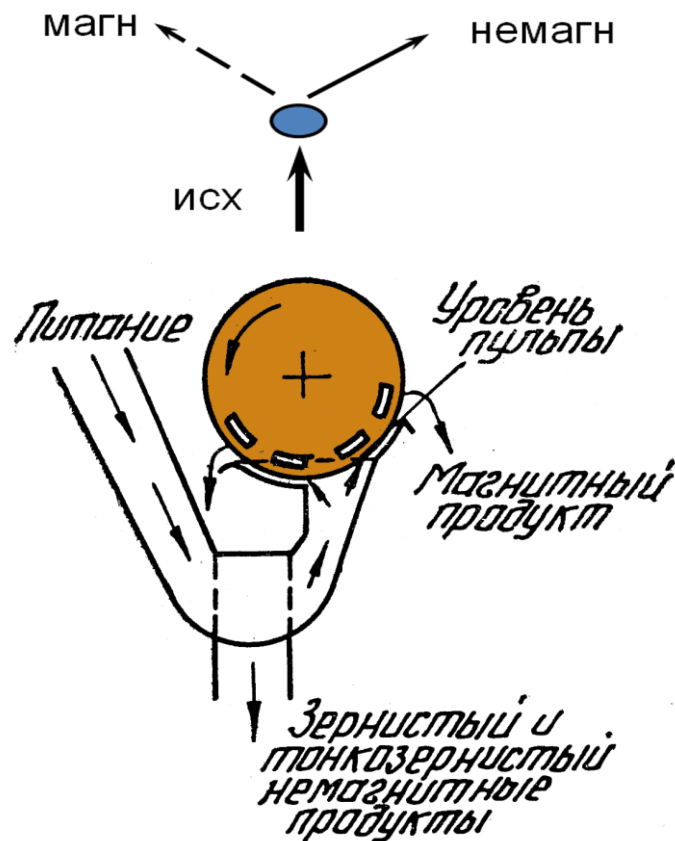


Рис. 3.3.2.3. Схема работы полупротивоточного сепаратора

По конструкции устройства для извлечения магнитного продукта) различают:

- 1) барабанные (в наименовании типоразмера сепаратора присутствуют буквы: для мокрой сепарации – БМ, для сухой – БС);
- 2) валковые (для сухого обогащения – ВС, для мокрого – ВМ);
- 3) дисковые (выпускаются только для сухой сепарации – ДС).

По способу создания электромагнитного поля:

электромагнитные – (в наименовании типоразмера сепаратора присутствует буква Э);

с постоянными магнитами (П).

### 3.3.3. Расшифровка типоразмеров магнитных сепараторов

Цифры в наименовании типоразмера означают:

- 1) первая цифра – количество барабанов (валков);
- 2) цифры после букв означают размеры барабана деленные на

10:

$$\frac{\text{диаметр барабана (валка)}}{10} / \frac{\text{длина барабана (валка)}}{10}.$$

*Пример:*

Расшифруйте наименование типоразмера сепаратора 4ЭВС 36/100.

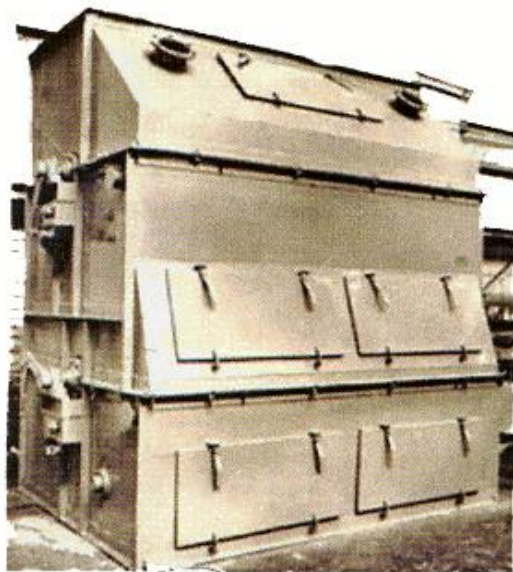
Решение

4 – количество валков;  
 Э – электромагнитный;  
 В – валковый;  
 С – сухое обогащение;  
 36 – диаметр валка 360 мм;  
 100 – длина валка 1000 мм.

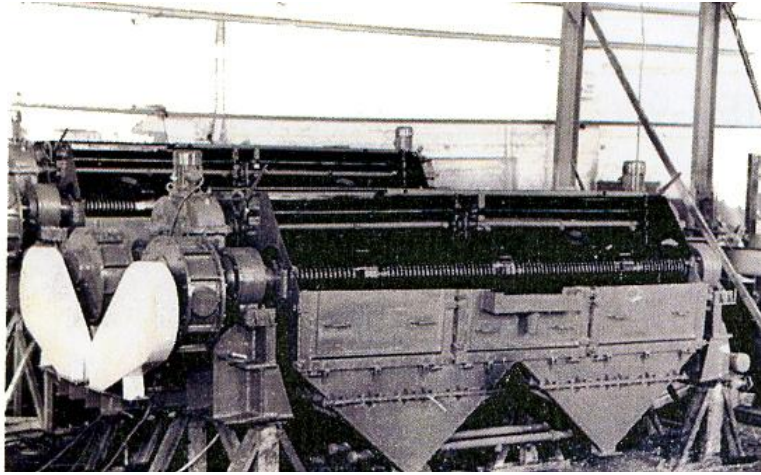
Ответ: 4ЭВС 36/100 – 4-х валковый электромагнитный сепаратор для сухого обогащения с диаметром валков – 360 мм и длиной – 1000 мм.

### ***Практическое задание***

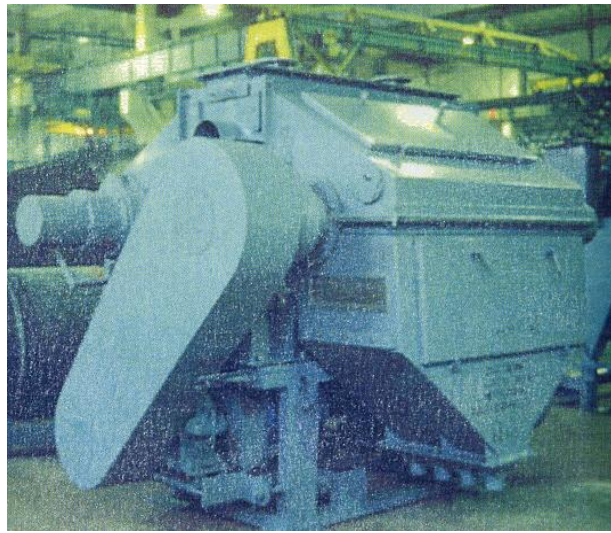
Расшифруйте наименование типоразмера сепараторов:



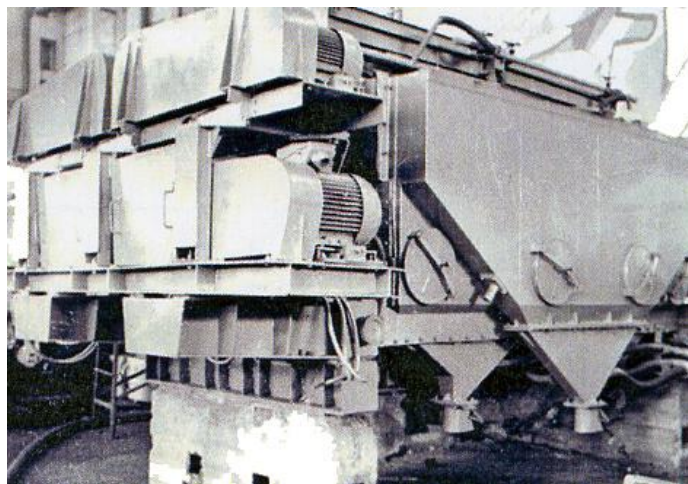
1) 2ПБМ-90/250



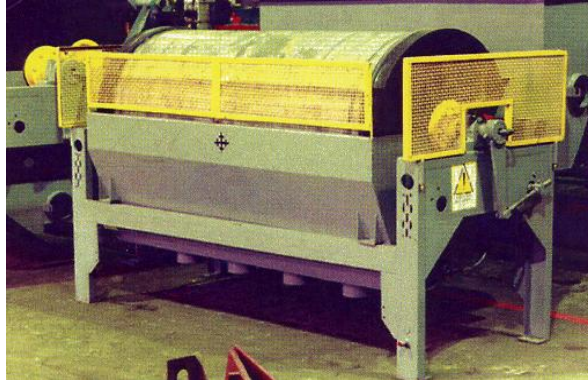
2) 2ЭВМ-38/250



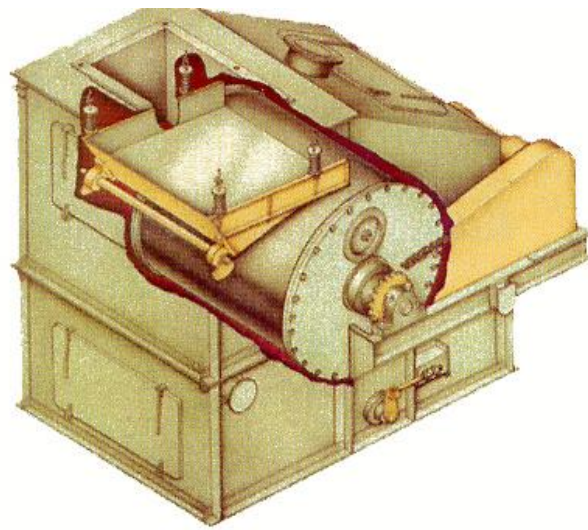
3) 2ЭВС-36/100



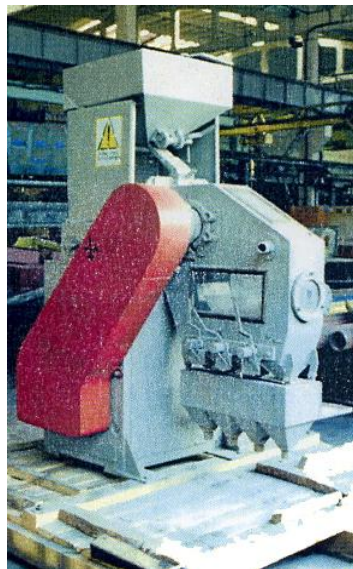
4) 4ЭВМ-40/250



5) ПБМ-90/195

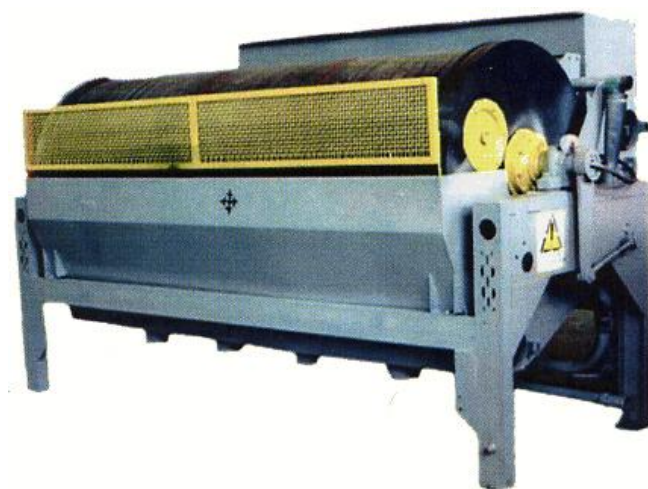


6) ПБС-90/100

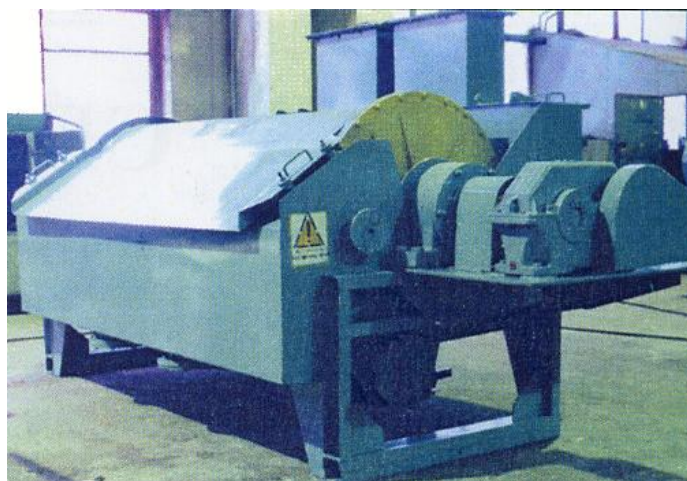


7) ЭВС-28/9

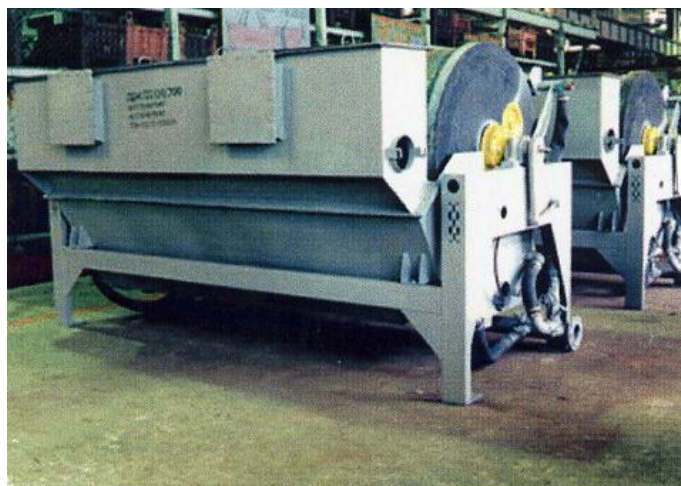




8) ПБМ-90/250



9) ЭБМ-90/250



10) ПБМ-150-200

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Дайте определение магнитному методу обогащения полезных ископаемых.
2. Что такое магнитная восприимчивость и какое отношение она имеет к процессу обогащения?
3. Какие типы минералов, отличающиеся по магнитной восприимчивости вы знаете?
4. Какие минералы обогащаются в слабомагнитном, а какие в сильном магнитном поле?
5. Каким образом минералы можно перевести из слабомагнитного состояния в сильномагнитное?
6. Объясните, каким образом осуществляется процесс флокуляции магнитного материала при магнитном обогащении. Какое он оказывает влияние на качество получаемых концентратов.
7. Назовите способы обогащения частиц по магнитным свойствам.
8. Назовите принципиальное устройство магнитных сепараторов.
9. Какие аппараты для обогащения полезных ископаемых в магнитных полях вам известны?
10. Опишите, каким образом обогащаются сильномагнитные руды в сепараторах барабанных для сухого обогащения.
11. Назовите область применения, конструкцию, принцип действия сепараторов для мокрого обогащения сильномагнитных руд (противоточных магнитных барабанных сепараторов).
12. Каким образом классифицируются магнитные сепараторы по напряженности и силе магнитного поля?
13. Каким образом классифицируются магнитные сепараторы по способу удаления продуктов обогащения?

### **3.4. Электрические методы обогащения**

Электрическое обогащение – процесс разделения минералов в электрическом поле из-за различия их свойств: электропроводности, диэлектрической проницаемости, электризацией трением (трибоэлектрический эффект). Для образования или усиления эффекта разделения частиц они предварительно заряжаются контактным электродом; в электрическом поле коронного разряда, радиационным методом (об-

лучение  $\alpha$  и  $\beta$ ); электризацией трением и т.д. Разделение минералов по электрическим свойствам производится в неоднородном электрическом поле. Кроме электрических сил на частицы действуют силы тяжести, центробежная сила, сила сопротивления среды.

Перед сепарацией необходимо провести сушку исходного материала и обеспыливание, т. к. пыль, вода деполяризуют материал). Электрические методы как самостоятельные применяются редко. Чаще их применяют для обогащения редкоземельных руд и доводки концентратов. Диаметр обогащаемых зерен от 5 до 0,05 мм.

### **3.4.1. Классификация минералов по электрическим свойствам**

Все руды делятся по величине удельного электрического сопротивления на

1) *проводники* (удельное сопротивление  $\rho < 10^9$  Ом·м): самородные металлы, графит, многие сульфидные минералы, магнетит, гематит, рутил и др.;

2) *полупроводники* ( $10^9 < \rho < 10^{12}$  Ом·м): гранат, боксит, лимонит, сидерит, хромит и др.;

3) *непроводники* (диэлектрики  $\rho > 10^{12}$  Ом·м): алмаз, кварц, полевой шпат.

### **3.4.2. Виды электросепарации**

Разделение минералов по электрическим свойствам чаще всего осуществляется с применением следующих видов электросепарации:

1) трибоэлектрической (из-за различной электризацией частиц трением);

2) по электрической проводимости (используется различие в электропроводности минералов);

3) диэлектрической электросепарации (если имеется различие в диэлектрической проницаемости разделяемых минералов);

4) пироэлектрической электросепарации (различная способность поляризоваться при нагревании и охлаждении, изменении давления).

Существуют и другие виды электросепарации.

### **3.4.3. Электрические сепараторы**

Электрические и электростатические сепараторы работают на принципе изменения траектории перемещения минеральных частиц под действием электрического поля. Разделение минералов проводится только в воздушной среде.

*Электрический барабанный сепаратор* (рис. 3.4.3.1.). Исходный материал крупностью 0-3 мм тонким слоем подается на осадительный электрод, который представляет собой заряженный барабан из нержавеющей стали. При контакте с ним частицы с большой электропроводностью получают большой заряд, т.к. заряжаются быстрее. Непроводящие заряжаются медленно и получают заряд только в месте касания, оставаясь практически незаряженными. Заряженные частицы отталкиваются от барабана т. к. имеют одноименный с барабаном заряд и попадают в бункер для проводников. Незаряженные частицы не меняют направления движения и попадают в бункер для непроводников, а если удерживаются на барабане, то снимаются щетками. В средней части электрического сепаратора разгружаются полупроводники.

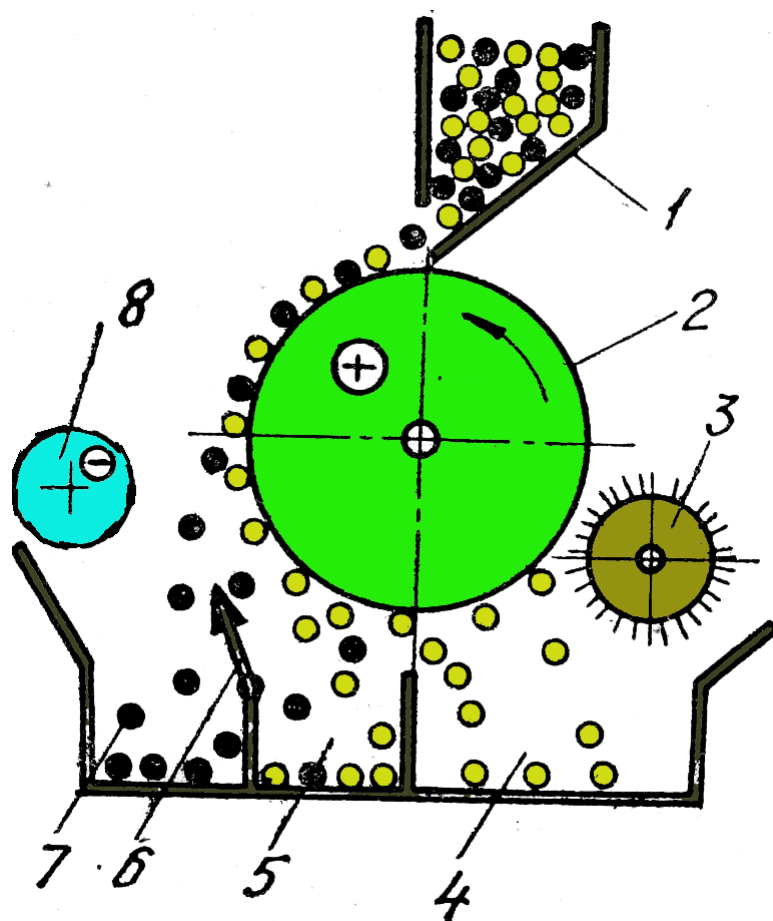


Рис. 3.4.3.1. Электрический барабанный сепаратор  
 1 – бункер, 2 – заряженный барабан (контактный осадительный электрод), 3 – щетки, 4 – бункер для диэлектриков, 5 – бункер для промежуточного продукта, 6 – разделительная перегородка, 7 – бункер для проводников, 8 – отклоняющий электрод

**Трибоэлектрический барабанный сепаратор СТЭ** (рис. 3.4.3.2.). Исходный материал интенсивно перемешивается в зарядном устройстве (электризаторе). Из-за трения о потоки воздуха или вращающиеся диски мешалки частицы электризуются одни положительно, другие отрицательно. Одни вещества легко отдают электроны, другие легко принимают. Разделение происходит в электростатическом неоднородном поле, между металлическим заземленным барабаном и цилиндрическим электродом, на который подается ток.

Если электрод заряжен отрицательно, то положительно заряженные частицы отклоняются в его сторону и попадают в соответствующий приемник. Отрицательно заряженные частицы прижимаются к барабану и попадают в свой приемник.

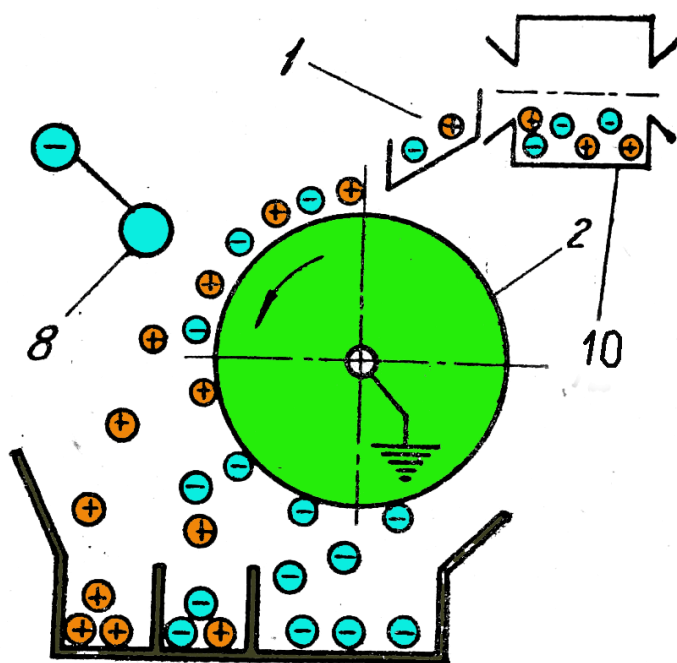
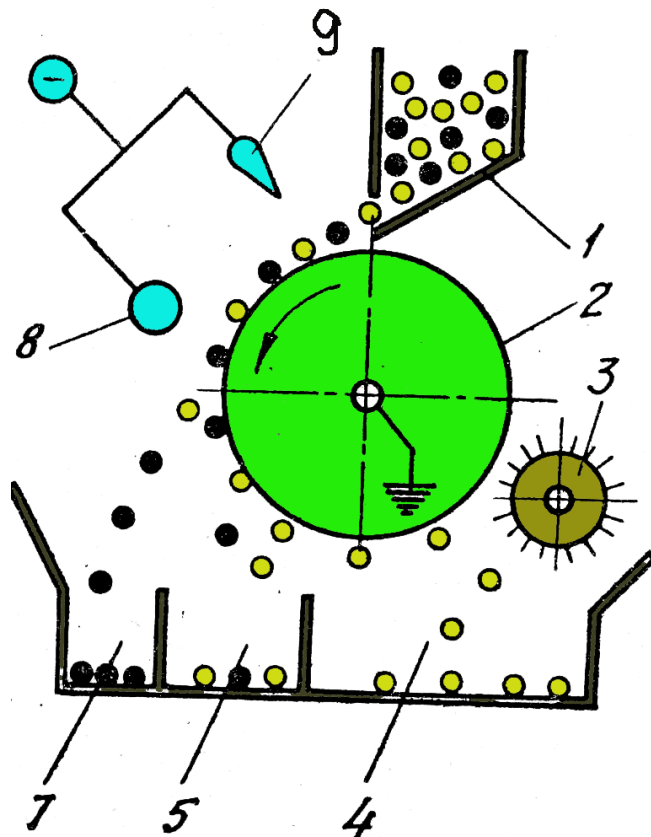


Рис. 3.4. 3.2. Трибоэлектростатический барабанный сепаратор  
1 – бункер, 2 – заземленный барабан (контактный осадительный электрод), 8 – отклоняющий электрод, 10 – электризатор

**Коронные и коронно-электростатические сепараторы** (рис. 3.4.3.3.). Коронные и коронно-электростатические сепараторы состоят из расположенных обычно одна над другой нескольких секций для возможности перечистки черновых концентратов.

Попадая в область коронного разряда, частицы заряжаются соот-

ветственно знаку короны. При этом они контактируют с осадительным электродом. Зерна-проводники быстро отдают свой заряд на землю и сбрасываются с барабана центробежными силами. Непроводящие частицы отрываются от барабана позже.



**Рис. 3.4.3.3.** Коронно-электростатический барабанный сепаратор  
1 – бункер, 2 – заземленный барабан (контактный осадительный электрод), 3 – щетки, 4 – бункер для диэлектриков, 5 – бункер для промпродукта, 7 – бункер для проводников, 8 – отклоняющий электрод, 9 – коронирующий электрод

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Дайте определение электрическому методу обогащения полезных ископаемых.
2. Как подготавливают минералы к обогащению электрическими методами?
3. Какие силы действуют на частицы при обогащении в электрическом поле?

4. Как классифицируют минералы по электрическим свойствам?
5. Какие вы знаете виды электрической сепарации?
6. Какие электрические и электростатические сепараторы вы знаете?
7. Назовите конструкцию, принцип действия электрического барабанного сепаратора.
8. Назовите конструкцию, принцип действия трибоэлектрического барабанного сепаратора.
9. Назовите конструкцию, принцип действия коронного и коронно-электростатического сепаратора.

### 3.5. Специальные методы обогащения

Ряд методов обогащения относят к разряду специальных.

**Ручная и механизированная рудоразборка** применяется для обогащения слюды, длиноволокнистого асбеста, руд, содержащих драгоценные камни и т. д. Этот способ основан на различии во внешних признаках: цвет, блеск, форма зерен. Отбирают тот материал, которого меньше. При этом, если отбирается полезный минерал, то процесс называется *рудоразборка*. Если отбирается пустая порода, то процесс называется *породовыборка* (рис. 3.5.1.)

При механизированной рудоразборке используются *фотометрические*, а также *радиометрические сепараторы*, осуществляющие автоматическое разделение по способности минералов по-разному отражать свет, принимать сигнал, поступающий в результате естественной или наведенной радиоактивности минералов.

Вероятность эффективного разделения минералов тем больше, чем больше различие в их свойствах. На эффективность разделения оказывают влияние крупность исходного сырья, особенности конструкции и режим работы радиометрических сепараторов. Минералы, подвергаемые механизированной рудоразборке, эффективно обогащаются в диапазоне крупности кусков от 15 до 300 мм.

Обогащению руды, содержащей весьма драгоценные минералы, например, алмазы, допускается в меньшей крупности (от 0,5-5 мм) из-за резкого отличия в свойствах от вмещающей породы.

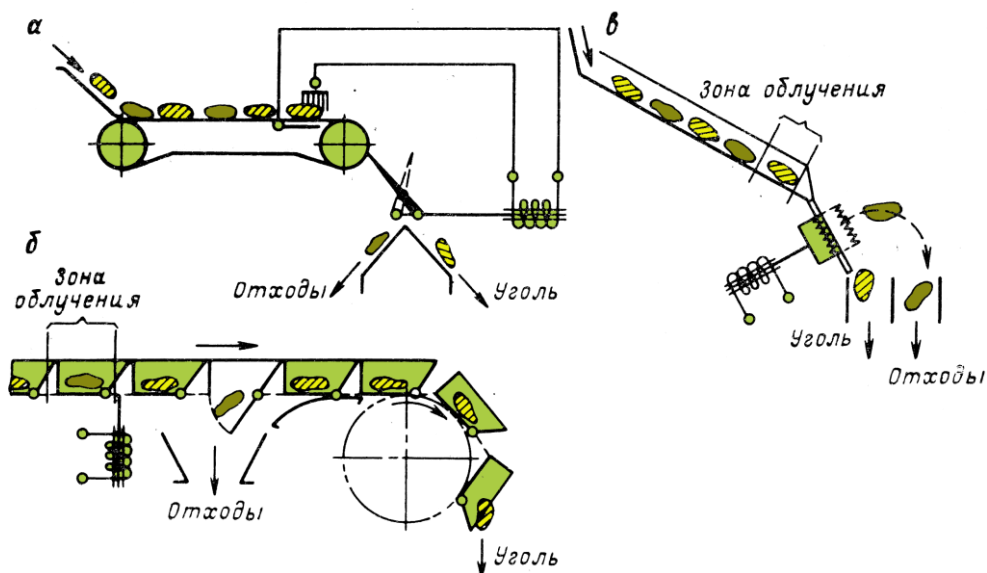


Рис. 3.5.1. Механизированная выборка породы.

а – электрический сепаратор; б – рентгенометрический сепаратор с ковшовой цепью; в – радиометрический сепаратор с выталкивающим сортировочным устройством.

При *радиометрической сепарации* используются различия в свойствах минеральных компонентов испускать, отражать или поглощать различные виды излучения.

### **Методы радиометрического обогащения**

1. *Авторадиометрический* применяется для обогащения минералов, обладающих естественной радиоактивностью, например, урановых руд.
2. *Фотонейтронный* применяется для обогащения бериллиевых руд, так как ядра бериллия способны испускать нейтроны при облучении  $\gamma$ -лучами.
3. *Нейтронно-активационный* применяется для обогащения магниевых, медных, ванадиевых руд. Руды облучаются потоком нейтронов с образованием радиоактивных изотопов, способных излучать определенный вид лучей: гамма-, бета-, нейтронное излучение.
4. *Рентгенорадиометрический* применяется для обогащения чаще всего оловянных руд, при этом руды облучаются  $\gamma$ - или X-лучами, при этом снимают спектры для определения химического элементного состава минералов.
5. *Гамма-абсорбционный* применяется для обогащения руд с раз-



личной способностью поглощения минералами гамма излучения. Эффективен при обогащении железных руд, углей и других полезных ископаемых с высоким содержанием ценных компонентов.

6. *Нейронно-абсорбционный* применяется для обогащения руд бора.
7. *Люминесцентный* применяется для обогащения руд с различной способностью излучать свет в видимом диапазоне электромагнитных волн при воздействии ультрафиолетового, рентгеновского или  $\gamma$  - излучения. Эффективен при обогащении алмазов.
8. *Фотометрический метод обогащения* (рис. 3.5.2.) осуществляет механическое разделение минеральных зёрен, имеющих разный цвет или блеск, лучепреломление и применяется для обогащения магнетитовых, кварцевых, мела, золотосодержащих руд из-за различия в свойстве отражать или преломлять лучи.

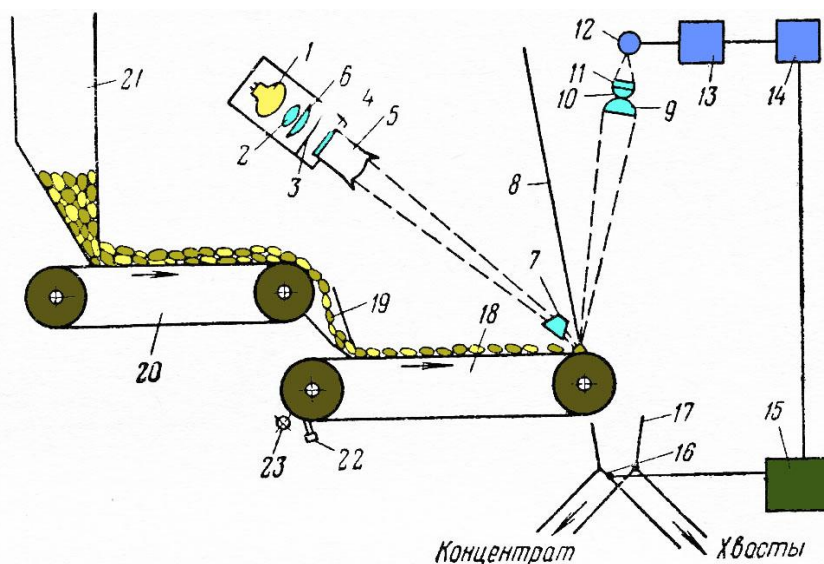


Рис. 3.5.2. Схема оптического сепаратора. 1 – фонарь; 2, 3, 6, 7, 9, 10 – линзы оптической системы; 4 – регулирующая щель; 5 – поляризатор; 8 – светонепроницаемый экран; 11 – анализатор, скрещенный под прямым углом с поляризатором; 12 – фотоумножитель; 13 – источник питания фотоумножителя; 14 - усилитель и триггерное устройство; 15 – соленоид; 16 – делительный шиббер; 17 – двусторонний желоб приемника; 18 – лента конвейера; 19 – воронка; 20 – ленточный питатель; 21 – бункер для питания; 22 – разбрызгиватель, подающий воду для очистки ленты; 23 – щетки.

Одним из специальных методов обогащения является метод, который можно назвать *избирательным дроблением*. Он применяется для обогащения углей и сланцев, асбеста, магнийсодержащих руд. Метод основан на различии в механической прочности минералов, составляющих руду: одни легко разрушаются и переходят в мелкие классы, другие прочные остаются в крупных классах. Отделение минералов осуществляется грохочением

Можно избирательно разрушать определенные минералы, составляющие сросток, применяя метод *декрипитации*. Он основан на способности минералов разрушаться (растрескиваться) при нагревании и резком охлаждении руды за счет различий значений коэффициентов теплового расширения рудообразующих минералов. В этом случае одни минералы разрушаются внутри куска, а другие нет. Метод декрипитации можно использовать, если один из минералов является кристаллогидратом, т. е. содержит кристаллизационную влагу. При сильном нагревании влага испаряется внутри кристалла (создается внутреннее давление паров воды) и разрушает минерал. После декрипитационной обработки минералы отправляют на дробление, а затем разделяют на грохоте не только по размерам, но и по свойствам (на минеральные продукты, состоящие из разных веществ).

*Обогащение по крупности* используется также в том случае, когда ценные минералы представляют собой более мелкие зерна или, наоборот, крупными, по сравнению с зёрнами пустой породы или же имеют иную форму. Например, в россыпях драгоценных металлов выделение крупных классов позволяет избавиться от значительной части пустой породы (рис. 3.5.1.3. а).

К специальным методам обогащения относятся также методы, которые называются *обогащение по трению*, *обогащение по форме*. Разделение частиц по этим свойствам основано на различии в скоростях движения по наклонной плоскости. Окатанные частицы имеют большую скорость, чем угловатые и шероховатые (рис. 3.5.3. б-г). При движении по наклонной плоскости волокнистые и плоские частички скользят, а округлые зёрна скатываются вниз. Коэффициент трения качения всегда меньше коэффициента трения скольжения, поэтому плоские и округлые частички движутся по наклонной плоскости с разными скоростями и по разным траекториям, что создаёт условия для их разделения. Различия в форме зёрен и коэффициенте трения позволяет отделять плоские чешуйчатые частички слюды или волокнистые агрега-

ты асбеста от частичек породы, которые имеют округлую форму. Устройства, которые применяют для обогащения, просты в конструкции и представляют собой различные рабочие поверхности. Это плоскостные сепараторы: с неподвижной поверхностью «Горка», плоскостной с отражателями и щелями, полочный с трамплином и лотково-барабанный.

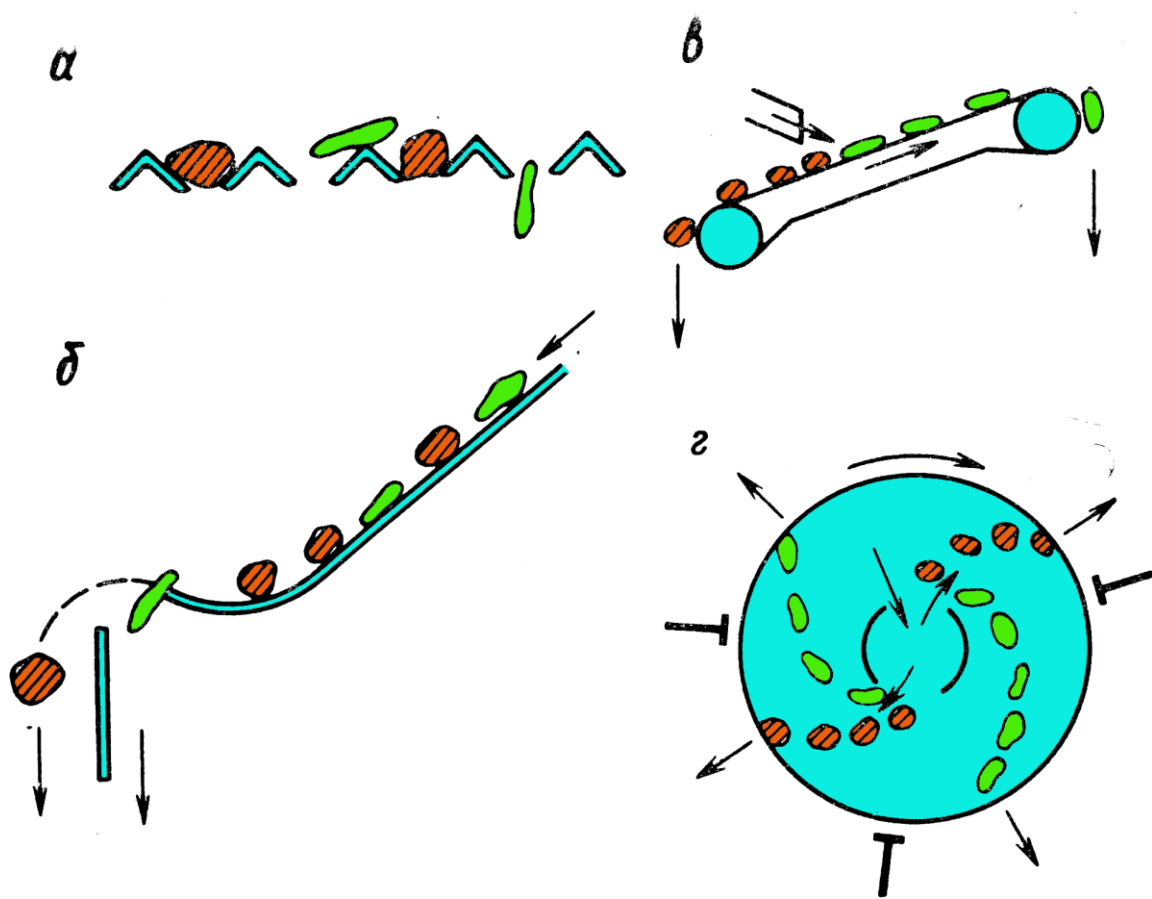


Рис. 3.5.3. Обогащение по форме и трению.

**Обогащение по упругости** основано на различии траектории движения частиц с различным коэффициентом упругости при столкновении с наклонной поверхностью.

Отличия в сорбционных свойствах атомов минералов полезного компонента и пустой породы лежит в основе **сорбционных способов обогащения** (рис. 3.5.4.), например, золота. При этом золото подвергают **выщелачиванию** в растворах цианидов, затем золотосодержащий раствор подвергают контакту с ионообменными смолами, прогоняя через колонки.

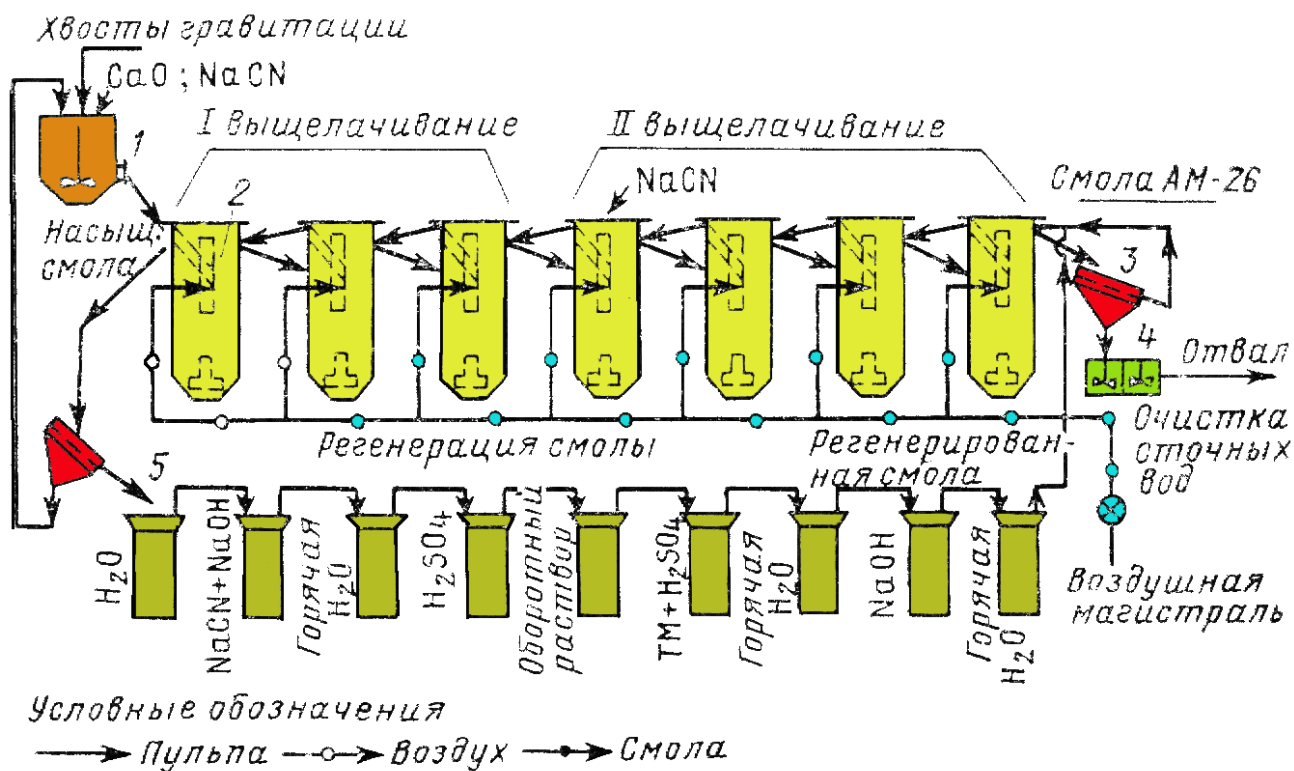


Рис. 3.5.4. Сорбционный способ обогащения растворенного золота с помощью ионообменных смол

**Кучное выщелачивание** (обработка рудных штабелей) может осуществляться химическим (цианированием, обработка слабыми растворами серной кислоты) либо бактериальными методами. При этом **химическое и бактериальное выщелачивание** ряда полезных ископаемых (золото, медь, никель) из руды обуславливается разными свойствами компонентов полезного ископаемого взаимодействовать с химическими реагентами и бактериями. При выщелачивании ценные компоненты руды растворяются и отделяются от нерастворимого остатка посредством подходящего растворителя.

К специальным процессам можно также отнести процессы выщелачивания типа скважинного растворения солей с дальнейшим выпариванием раствора. В основе этого метода лежит разная растворимость минералов.

**Обогащение на жировых поверхностях** основано на различии в смачиваемости поверхностей минералов, подлежащих разделению. Частицы избирательно закрепляются на границе раздела фаз: жировая поверхность – газ и поэтому этот вид обогащения можно также отнести к разновидностям флотационных. Процесс обогащения на жиром-

вых поверхностях используется при обогащении алмазов при переработке черновых концентратов кимберлитовых руд с крупностью частиц более 0,5 мм. Гидрофильные частицы породы удаляются с потоком пульпы, а гидрофобные алмазы увязают в жировой смазке поверхности. В качестве жировой поверхности применяют смесь масел (машинные масла, вазелин, парафин и т. д.), а в качестве реагента-собирателя используются аполярные (автол) и полярные реагенты (олеиновая кислота).

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какие виды специальных методов обогащения вы знаете?
2. Чем отличается рудоразборка от породовыборки?
3. Назовите область применения ручной и механизированной рудоразборки.
4. Какие методы радиометрического обогащения вы знаете. Чем они отличаются друг от друга?
5. Назовите область применения и сущность избирательного дробления.
6. Объясните понятие декрипитации и какое отношение оно имеет к обогащению полезных ископаемых?
7. Как осуществляется обогащение по крупности?
8. Каким образом минералы можно разделить по различию коэффициента трения и по форме?
9. Объясните, каким образом осуществляется процесс обогащения по упругости?
10. Что такое кучное выщелачивание?
11. Объясните, как осуществляется обогащение способом химического и бактериального выщелачивания?

## 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ

Вспомогательные процессы переработки полезных ископаемых предназначены для снижения влажности продуктов обогащения до кондиционного уровня, сгущения пульп, осветления оборотных вод, а также их обеспыливания и обесшламливания.

### 4.1. Обезвоживание продуктов обогащения

В основном процессы обогащения полезных ископаемых производятся в водной среде. Излишняя влага удорожает перевозку и хранение концентратов, уменьшает сыпучесть продуктов, благоприятствует смерзанию кусков в зимнее время и делает продукты обогащения малопригодными. Влагу из них следует удалять, доводя продукты обогащения до нормативных показателей. Кондиционная влажность угольных концентратов не более 9 % в летний период времени и не более 7 % – в зимний.

Обезвоживание продуктов обогащения это процесс удаления из них влаги.

Содержание влаги в продуктах обогащения руды определяется как отношение массы воды в продукте к общей массе сырого продукта и выражается процентным отношением.

$$W = \frac{Q_{H_2O}}{Q_{H_2O+руда}} 100 \%,$$

где  $Q_{H_2O}$  – масса воды в продукте,  $Q_{H_2O+руда}$  – общая масса сырого продукта.

#### 4.1.1. Виды влаги

По типу связи с минералом различают следующие виды влаги:

*Химически связанная влага* (внутренняя) связана с молекулой вещества в кристаллической решетке.

*Адсорбированная влага*. Представляет собой гидратную пленку, которая удерживается за счет сил адсорбции. Адсорбированная влага бывает:

*гигроскопической*, которая химически связана с поверхностью и образует на поверхности мономолекулярную водяную плёнку,

*адгезионной* – влаги смачивания, которая представлена на поверхности в виде плёнки из нескольких (от ста до сотни тысяч) мономолекулярных слоев воды.

*Капиллярная влага* представлена в минерале молекулами воды, связанными в капиллярах (порах) силами капиллярного давления. Зависит от пористости минерала.

*Гравитационная* (свободная) влага – вода, удерживаемая в промежутках между частицами.

В зависимости от содержания влаги продукты обогащения различают:

*Пульпы.* Это обводненные продукты – механические смеси твердого и воды (суспензии); влажностью не менее 40%, обладают текучестью. Характеризуются процентным содержанием влаги – влажностью ( $W$ ) либо содержанием твердого к жидкому [г/л]. Весовое содержание жидкого к твердому обозначается часто как Ж:Т, например, 7:1, 10:1 и т.д. Содержат все виды влаги.

*Мокрые* продукты имеют влажность в диапазоне: 15-25 %  $<W < 40$  % и содержат часть капиллярной, адсорбционную и др. виды влаги.

*Влажные* продукты имеют влажность в диапазоне 5-6 %  $<W < 15$ -25 %. Содержат часть капиллярной влаги, а также другие виды влаги, кроме гравитационной (свободной).

*Воздушно-сухие* продукты имеют влажность  $W \sim 4$ -6 %. содержат только в определенной пропорции адсорбционную в основном гигроскопическую и кристаллизационную влагу (химически связанную) в зависимости от пористости, смачиваемости вещества.

*Сухие* продукты. Их влажность  $W < 4$ -6 %. Содержат только внутреннюю (химически связанную влагу) и частично гигроскопическую.

#### **4.1.2. Методы обезвоживания**

Выбор метода обезвоживания зависит от характеристик материала, который обезвоживается, в основном, гранулометрического и минералогического составов, его начальной влажности, а также кондиционных требований по влажности. Чем мельче куски руды, тем сложнее их обезвоживать. Часто, за одну стадию невозможно достичь кондиционной влажности. Поэтому на фабрике для продуктов обогащения, представленных мелочью, используют разные операции обезвоживания, проводимые в несколько стадий.

Для обезвоживания продуктов обогащения используют следующие

щие методы:

*Дренаживание* – стекание свободной влаги под собственным весом. Аппараты – грохоты, элеваторы.

*Сгущение* – осаждение шлама в пульпе под действием силы тяжести частиц с использованием реагентов – флокулянтов. Аппараты – сгустители, гидроциклоны.

*Центрифугирование* – обезвоживание пульпы в центробежных полях. Аппараты – фильтрующие, вибрационные, осадительные и комбинированные центрифуги.

*Фильтрование* – обезвоживание пульпы через пористую перегородку под действием вакуума или давления. Аппараты – вакуум-фильтры, фильтр-прессы.

*Термическая сушка* – обезвоживание частично обводненного мелкого материала и шламов под воздействием высоких температур. Аппараты – барабанные сушилки, трубы сушилки, сушилки кипящего слоя.

### 4.1.3. Дренаживание

*Дренаживание* – это стекание воды под действием силы тяжести при помощи встряхивания или естественным образом. Дренаживание применяют для обезвоживания продуктов крупных и средних классов крупности. Обычно, это продукты обогащения: концентрат, промпродукты, отходы. Это наиболее простой и дешевый способ удаления влаги. *Дренаживанием избавляются от свободной (гравитационной) влаги.*

При дренаживании осуществляется обезвоживание продуктов  
– в *бункерах и штабелях* на дренажных площадках, где происходит *естественный дренаж* под действием постоянной силы тяжести и  
– *дренаживание механическое* с помощью встряхивания на аппаратах: обезвоживающих грохотах, элеваторах, классификаторах, горизонтальных ковшовых конвейеров, механических спиральных классификаторах.

**Аппараты.** Крупный концентрат, например, угольный (13-100 мм) эффективно обезвоживается **в бункерах** в течение 6-8 часов до влажности 4-5 %. Мелкий угольный концентрат (0.5-13 мм) эффективно обезвоживается в бункерах в течение 16-24 часа. Поскольку обезвоживание в бункерах процесс длительный, в настоящее время он применяется крайне редко.



Время обезвоживания *на грохотах* значительно меньше по сравнению с бункерами, за счет механического разрыхления материала, лежащего на сите грохота. Это способствует эффективному отделению влаги. Обезвоживающие грохоты имеют щелевидные шпальтовые сита с сечением колосников трапециевидной формы диаметром 0,25; 0,5; 0,75 и 1 мм для мелкого материала. Для крупного применяются грохоты двухситные: верхнее – штампованное с круглыми отверстиями 23×25, 13×13, 6×6 мм, нижнее – щелевидное. Неподвижные сита применяются для предварительного обезвоживания. Это могут быть плоские сита, а также дуговые и конические грохоты, с дополнительным действием центробежных сил, повышающих эффективность обезвоживания.

Производительность обезвоживающих грохотов от 8 до 15 т/м<sup>2</sup> час. Для обезвоживания часто применяются грохоты типа ГИСЛ, которые зарекомендовали себя высокой эффективностью процесса обезвоживания (рис. 4.1.3.1.).



Рис. 4.1.3.1. Грохот инерционный с самобалансным самосинхронизирующимся вибратором.

Обезвоживание на грохотах уменьшает влажность, например, крупного угольного концентрата до 4-12 %, мелкого 10-20 %, шлама до 22-28 %.

Обезвоживание концентратов, промпродуктов и отходов производится также в элеваторах при извлечении их из отсадочных машин и классификаторов (рис. 4.1.3.2.).

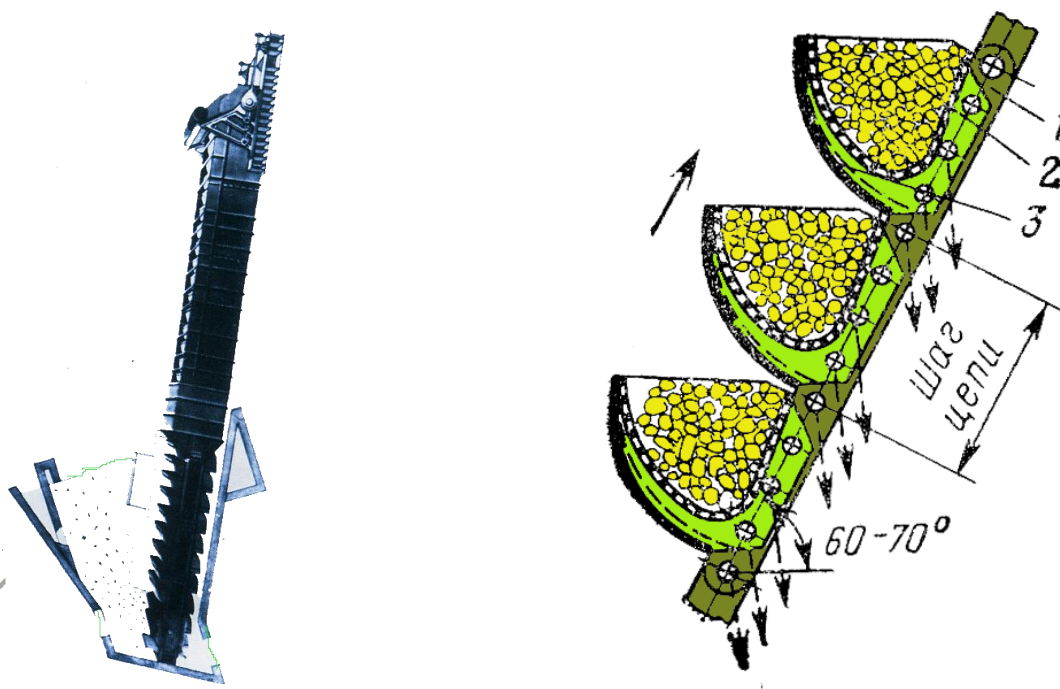


Рис. 4.1.3.2. Классификатор с обезвоживающим элеватором.  
1 – зубчатая или цепная передача, 2 – ковш с щелевидными отверстиями, 3 – стальные листы отводящие воду.

Эффективность обезвоживания продуктов обогащения в элеваторах довольно высока за счет большой их длины (до 40 м) и особой конструкции ковшей. Обезвоживающий элеватор представляет собой замкнутую цепь с перфорированными ковшами. Элеватор помещен в кожух с углом наклона  $60-75^\circ$ . Ковши элеваторов имеют щелевидные отверстия для дренажа воды, а также стальные листы отводящие воду.

Влажность крупного материала после обезвоживания на элеваторах достигает 10-15 %, мелкого – 15-25 %.

В элеваторах обезвоживаются также тяжёлые продукты отсадочных машин.

#### **4.1.4. Сгущение**

На обогатительной фабрике в воде, которая используется как среда для переработки сырья скапливается много частиц очень маленького размера – шламов. Они находятся во взвешенном состоянии и загрязняют воду. Ранее шламовую воду скапливали в отстойниках,

которые представляли собой железобетонные резервуары под открытым небом. В настоящее время из экологических соображений запрещено организовывать подобного типа отстойники. Шламовые отходы на фабрике необходимо осаждать из пульпы, обезвоживать сгущенный осадок и утилизировать. Процесс осаждения твердых шламовых частиц из пульпы под действием силы тяжести называется *сгущением*.

Для интенсификации процесса используются реагенты-флокулянты (типа Магнафлок, Праестол и т. д.). Можно сгущать пульпы также реагентами коагулянтами (известь, хлористое железо, серная кислота и ее соли). Электролитная коагуляция сводится к понижению электрокинетического потенциала до некоторой предельной величины. В результате становится возможным сцепление взвешенных в пульпе шламовых частиц друг с другом - коагуляция. В настоящее время коагулянты применяются редко из-за большой химической активности этих реагентов, дороговизны и малой эффективности. Широкое применение нашли флокулянты из-за большой эффективности действия и химической пассивности.

Полимерные флокулянты (ПФ) – высокомолекулярные органические химические вещества, которые связывают взвешенные в пульпе частицы друг с другом, образуя флоккулы. Обладая большим объемом и массой, чем шламовые частицы, они преодолевают вязкость среды и осаждаются под действием гравитационных сил. Механизм образования флоккул заключается в адсорбции ПФ на частицах твердой фазы и образовании координационных связей с молекулами поверхностного слоя частицы. Полимерная цепь, связанная с одной частицей, может также присоединяться другими своими адсорбционно-активными группами к другим частицам, образуя, так называемые “мостики” между отдельными частицами. Процесс образования агрегатов шламовых частиц-флокул называется *мостиковой флокуляцией*. Кроме мостиковой флокуляции известен еще *механизм адсорбционного (или химического) покрытия участков поверхности частиц* и понижения за счет этого электрохимического потенциала поверхности частиц, что приводит к их коагуляции и образования агрегатов.

Процесс сгущения применяется часто для обезвоживания шламовых отходов фабрики: отходов флотации, фугатов центрифуг, подрешетных шламовых продуктов грохотов и т. д. При сгущении содержание влаги снижается до 40-50%.

В процессе осаждения частиц из пульпы происходит одновре-

менно осветление шламовой воды (рис. 4.1.4.1.), которая поступает обратно в технологический процесс.

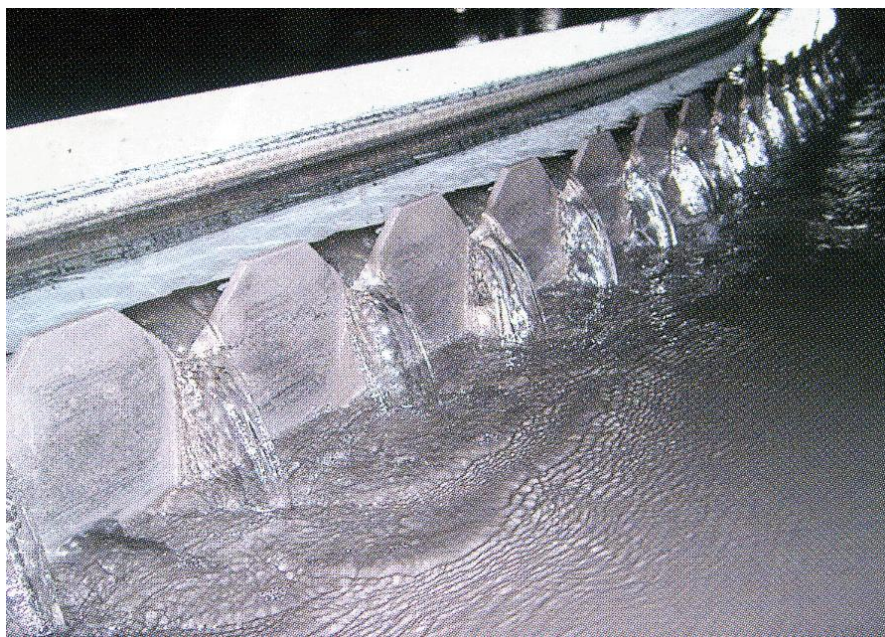


Рис. 4.1.4.1. Перелив радиального сгустителя, получаемый после осветления

Эффективность процесса сгущения зависит от крупности частиц, плотности и температуры пульпы и от эффективности процесса флокуляции. Эффективное действие флокулянтов связано с их молекулярной массой, химической активностью ионов, и условия применения флокулянта. Активность флокулянтов повышается по мере увеличения их молекулярной массы. Молекулярная масса эффективных высокомолекулярных флокулянтов более  $10^6$ .

С повышением температуры вязкость пульпы уменьшается, благодаря чему увеличивается скорость осаждения, а также разбавление пульпы.

**Аппараты сгустители.** В качестве сгустителей наиболее известны в настоящее время радиальные сгустители с центральным или с периферическим приводом (рис. 4.1.4.2.). Используются также пирамидальные отстойники, сгустительные воронки, пластинчатые сгустители и гидроциклоны.

*Радиальные (цилиндрические) сгустители* – аппараты с диаметром чана от 2м до 25м (с центральным приводом) и от 15 до 200м (с периферическим).

Содержание твердого в сгущенном продукте: 400-500 г/л



Рис. 4.1.4.2. Сгустители радиальный с периферическим приводом

Сгуститель радиальный с центральным приводом (рис. 4.1.4.3 ) состоит из чана (1), который представляет собой железобетонный круглый резервуар, подвижной фермы – крестовины с гребками, поставленной под углом так, что при вращении вала материал перемещается от периферии к центральному разгрузочному отверстию.

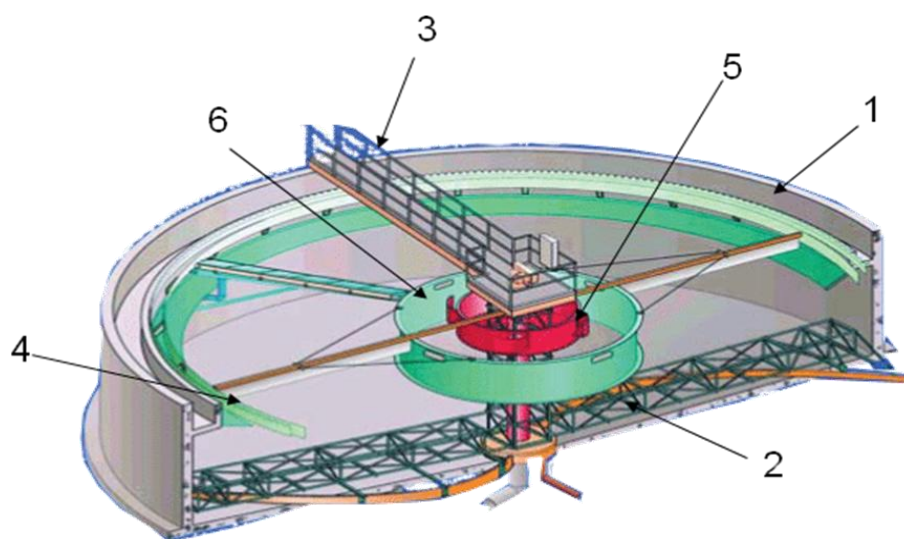


Рис. 4.1.4.3. Сгуститель радиальный с центральным приводом.  
1 – чан, 2 – подвижная ферма, 3 – неподвижная ферма, 4 – круговой рельс, 5 – опорная головка, 6 – вращающаяся часть опорной головки

Один конец подвижной фермы (2) опирается на вращающуюся часть центральной головки (6), а другой ходовым колесом на круговой рельс (4). На неподвижной ферме (3) уложен желоб, по которому пульпа поступает в резервуар через окно опорной головки (5). К нижнему колесу подвижной фермы прикреплены наклонные скребки.

На неподвижной ферме смонтирована рама с механизмом привода, состоящего из электродвигателя, редуктора и устройства для передачи вращательного движения ходовому колесу. Ходовое колесо, перемещаясь по круговому рельсу, приводит в движение подвижную ферму (2), которая осуществляет перемешивание пульпы.

*Сгустительные воронки* имеют площадь поверхности осаждения 7-15 м<sup>2</sup> и используются для дополнительного сгущения шлама, например после радиального сгустителя.

*Гидроциклоны* широко известные как аппараты-классификаторы. В процессе разделения частиц по размерам они одновременно сгущают продукт, состоящий из наиболее крупных частиц – пески и поэтому используется как сгуститель. Для сгущения шламов применяют гидроциклоны больших размеров 600-1500 мм, которые чаще всего устанавливаются вертикально или под некоторым углом наклона к горизонту (рис. 4.1.4.4.).

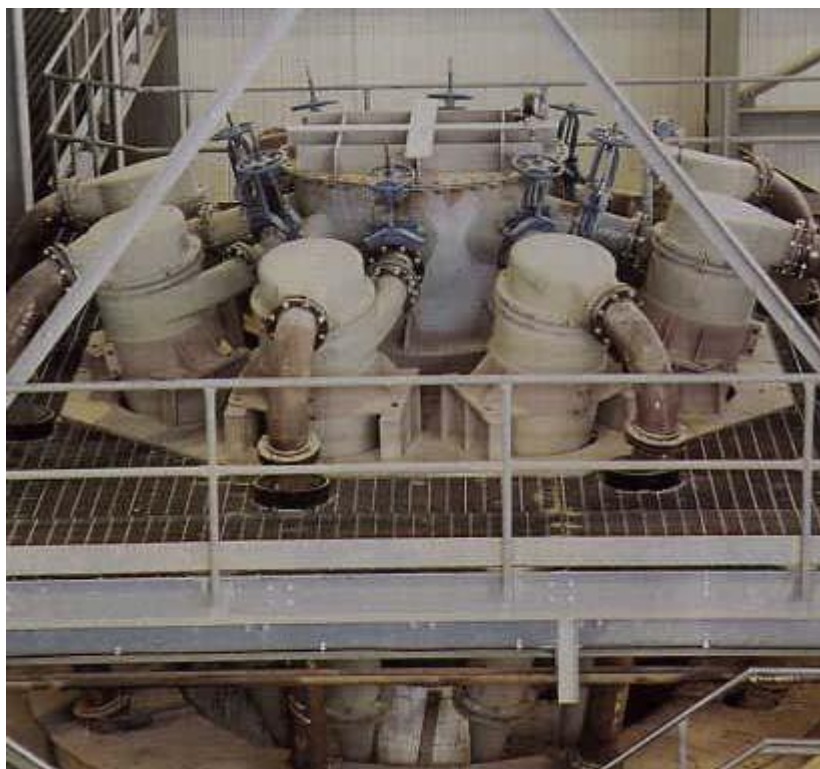


Рис. 4.1.4.4. Гидроциклоны

*Пластинчатые сгустители* – сгустители с наклонными пластинами (рис. 4.1.4.5.). Любая по-



верхность имеет шероховатости, которые могут быть центрами образования флоккул. На этом принципе основан процесс обезвоживания шламов в пластинчатых сгустителях.

В пластинчатом сгустителе имеется ряд наклонных пластин (9), которые заключены в корпус. Питание сгустителя (5), смешиваясь с растворами флокулянтов в смесителе (4) поступает в камеру с пластинами.

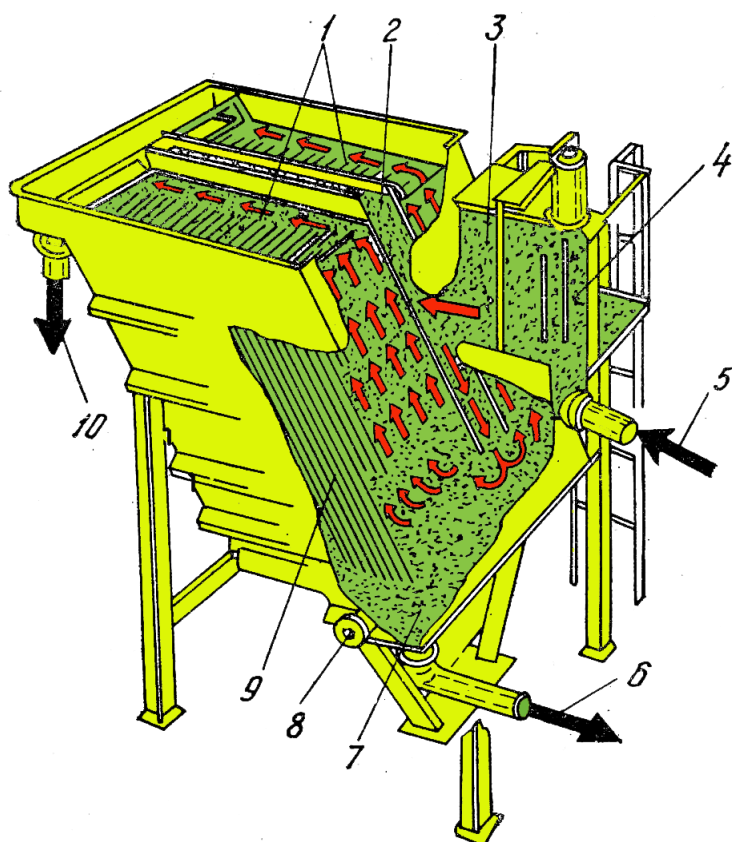


Рис. 4.1.4.5. Сгуститель с наклонными пластинами.

- 1 – распределительные отверстия для потока, 2 – питающий желоб,
- 3 – бак для флокулянта, 4 – смеситель, 5 – питание, 6 – сгущенный продукт, 7 – бункер для сгущенного шлама, 8 – пакет вибраторов,
- 9 – наклонные пластины, 10 – слив осветленной воды

Образующиеся флоккулы «захватываются» пластинами(9) и становятся центрами образования агрегатов, которые сползают по пластинам в бункер для сгущенного шлама (7). Для интенсификации процесса пластины снабжены вибраторами (8). В верхней части корпуса имеется патрубок для слива осветленной воды.

*Пирамидальные отстойники* представляют собой ряд последовательных соединенных железобетонных ячеек размером 6×6 м (или 7×7 м) с пирамидальной нижней частью, оборудованных выпускными кранами для сгущенного продукта. Содержание твердого в сгущенном продукте: 300-600 г/л.

#### ***4.1.5. Центрифугирование***

Центрифугирование – это процесс обезвоживания продуктов обогащения, состоящих из мелких кусков руды или угля под действием центробежных сил. Центробежные силы интенсифицируют процесс обезвоживания продуктов обогащения. Аппараты называются центрифугами. Известны два типа обезвоживающих центрифуг: фильтрующие и осадительные центрифуги. Фильтрующие центрифуги обезвоживают материал крупностью кусков 2-25 мм, осадительные – 0-2 мм. Они отличаются по конструкции и принципу действия. Центрифуги предназначены для обезвоживания концентратов и промежуточных продуктов обогащения.

*Фильтрующие центрифуги* используются для обезвоживания мелких классов руды крупностью кусков 2-25 мм, а угля 3(0,5)-13 мм, которые предварительно обезвоживаются до влажности 25–30 % дренированием. Влажность обезвоженного осадка составляет 7–10 %.

Центрифуги бывают шнековые (рис. 4.1.5.1.), вибрационные (рис. 4.1.5.3.) и инерционные. Они отличаются по принципу разгрузки обезвоженного материала.

Аппараты: ФВШ; ВШП-32; «Рейнвельд»(Нидерланды, Англия, Франция); НВВ (с вибрационной разгрузкой); ВГ- горизонтальная вибрационная; вибрационная фильтрующая центрифуга HSG-1100.





Рис. 4.1.5.1. Центрифуга фильтрующая вертикальная шнековая ФВШ – 100С-1

**Фильтрующие центрифуги** (рис. 4.1.5.2.) состоят из корпуса (2), распределительного устройства (1), вращающейся корзины – ротора (3), который является просеивающей поверхностью. При обезвоживании мокрых продуктов обогащения в фильтрующих центрифугах минералы прижимаются к внутренней поверхности под действием центробежных сил. Вода с тонкими шламами отжимается через просеивающую поверхность ротора центрифуги и называется *фугатом*.

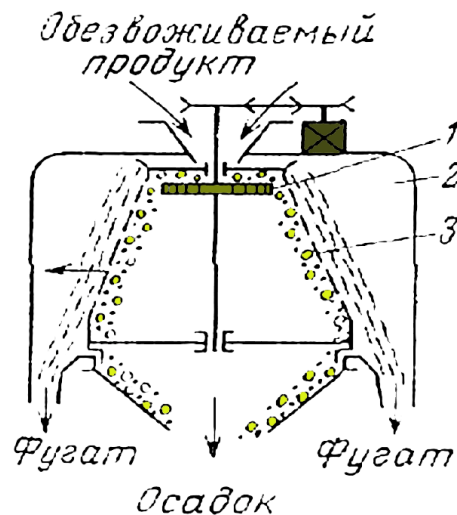


Рис. 4.1.5.2. Центрифуга фильтрующая вертикальная шнековая.

1 – распределительное устройство для обезвоживаемого материала, 2 – корпус, 3 – ротор

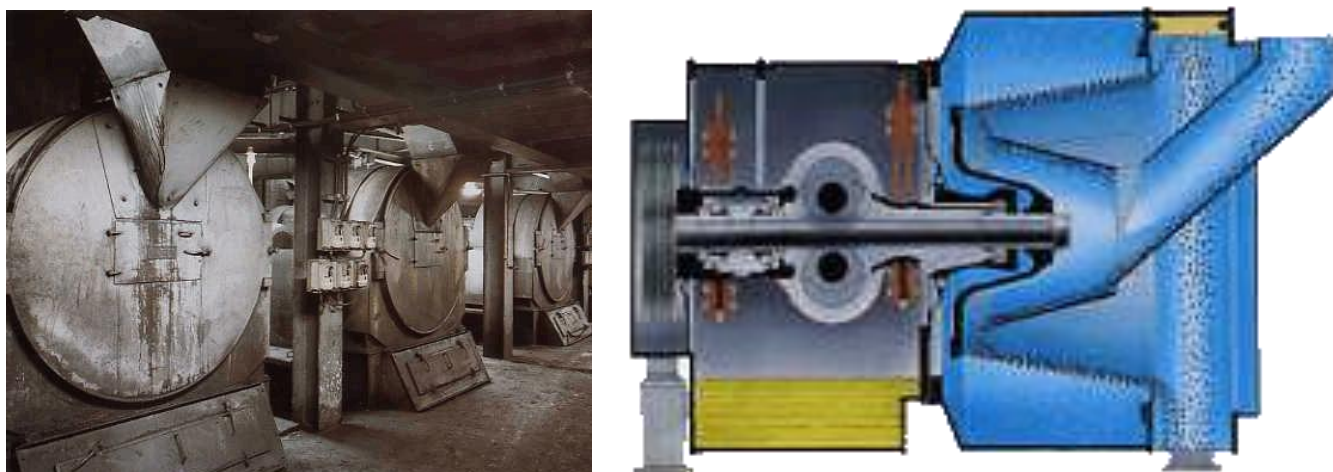


Рис. 4.1.5.3. Центрифуга фильтрующая вибрационная HSG-1100

*Центрифуги с вибрационной выгрузкой* отличаются автоматической очисткой поверхности сит и более интенсивным отделением влаги. Влажность обезвоженного угля класса 0-13 мм –  $W_{0-13}=7-8\%$ , на центрифуге HSG-1100W не более 7%.

*Осадительные центрифуги* (рис. 4.1.5.4.) используются для обезвоживания мелких классов руды крупностью кусков 0-2 мм и осветления оборотных вод углеобогатительных фабрик.

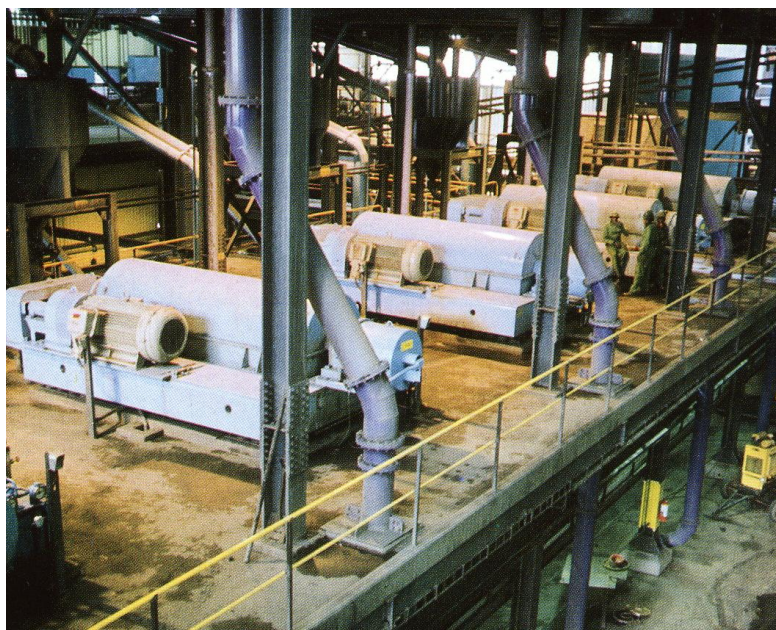


Рис. 4.1.5.4. Осадительные центрифуги

Аппараты: УЦМ-3; НОГШ-1350; «Декантер» и др.

Ротор расположен горизонтально (рис. 4.1.5.5.), внутри него размещен шнек и дополнительная фильтрующая насадка. Некоторые центрифуги оборудованы вибрационной разгрузкой.

Влажность обезвоженного угольного шлама осадительными центрифугами – 14-16 %.

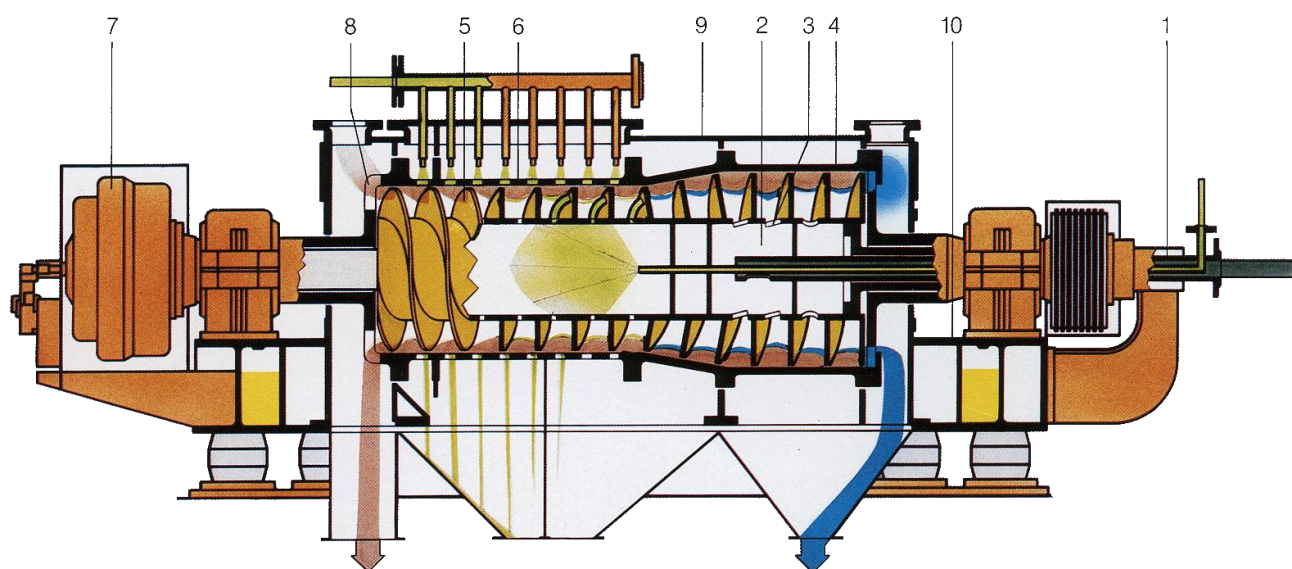


Рис. 4.1.5.5. Осадительная центрифуга «Декантер».

1 – входная труба; 2 – распределительная камера; 3 – отверстия распределительной камеры; 4 – барабан; 5 – шнек; 6 – фильтрующая часть; 7 – редуктор; 8 – выходные отверстия; 9 – корпус; 10 – основная рама

Пульпа, содержащая шлам, подлежащий обезвоживанию, поступает через входную трубу (1) в распределительную камеру (2), которая является внутренней частью ротора-шнека (5). Под действием центробежных сил пульпа распределяется по внутренней поверхности камеры и просачивается через отверстия распределительной камеры во внутреннюю часть ротора-барабана. Под действием центробежной силы более тяжелые твердые частицы суспензии осаждаются на стенках барабана. В *осадительной части* барабана отделенная центрифугированием жидкость (отжатая) течет навстречу передвижению осадка и выводится через сливной порог на торцевой стене (синяя стрелка).

Прижатые центробежными силами к стенкам барабана тяжелые твердые частицы суспензии перемещаются с помощью шнека (5) внутри барабана к *фильтрующей части*. Ротор-шнек вращается с большей скоростью для того, чтобы иметь возможность транспортировать осадок к месту разгрузки. Для регулирования скорости вращения шнека (для изменения числа оборотов шнека по сравнению со скоростью вращения барабана) установлен редуктор (7). В фильтрующей части (6) через отверстия сливается фугат (свободная жидкость). На этой ступени можно при необходимости промывать осадок. Обезвоженный продукт поступает через выходящие отверстия – разгрузочные окна (8) и выводится из корпуса (9).

#### **4.1.6. Фильтрование**

Фильтрование – это продавливание пульпы (шламовой воды) через фильтрующую поверхность с образованием осадка твердых частиц. Обычно на фильтрование поступают частицы размером не более 0,5 мм. Наиболее известны следующие типы фильтрующих аппаратов: дисковые, гипербарические, камерные вакуум-фильтры, ленточные и барабанные фильтр-прессы. Фильтрование заключается в удалении жидкости через фильтрующую поверхность за счет разности давлений по обеим сторонам фильтрующей ткани.

В дисковых, гипербарических, камерных вакуум-фильтрах производят обезвоживание флотационного концентрата (рис. 4.1.6.1.) и других продуктов обогащения с высоким содержанием полезного компонента. Частично обезвоженные в сгустителях шламовые отходы отжимают от воды ленточными и барабанными фильтр-прессами.



Рис. 4.1.6.1. Флотофильтровальное отделение

*Дисковые вакуум-фильтры* (рис. 4.1.6.2.) состоят из ряда полых дисков из фильтровальной ткани, помещенных частично в ванну с флотационным концентратом. Диски разделены на сектора, которые при вращении попеременно проходят зоны вакуума, «мертвую» зону и зону компрессионной отдувки. При этом на секторах, проходящих зону вакуума, образуется осадок, сектор с осадком при вращении дисков выходит из пульпы на воздух и при этом осадок на нем высушивается. В зоне компрессионной отдувки высушенный осадок откидывается сжатым воздухом в желоба на ленточный конвейер.

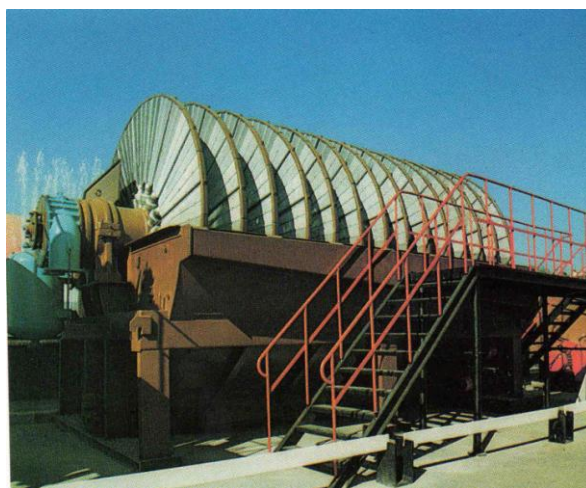


Рис. 4.1.6.2. Дисковые вакуум-фильтры ДУ-250 Сибирь

На углеобогащительных фабриках применяются вакуум-фильтры «ANDRITZ» (рис. 4.1.6.3.), ДУ250 Сибирь, Украина-80 и др.



Рис. 4.1.6.3. Дисковые вакуум-фильтры фирмы «ANDRITZ» на Беловской ЦОФ

Производительность дисковых вакуум-фильтров и эффективность обезвоживания увеличивается с применением флокулянтов. Они зависят от содержания гидрофильных и особенно глинистых частиц в питании фильтра, которые приводят к образованию обводненных осадков и зашламовке фильтрующей ткани.

*Гипербарические фильтры* (рис. 4.1.6.4.) работают по тому же принципу, но система фильтрующих дисков заключена в барокамеру.

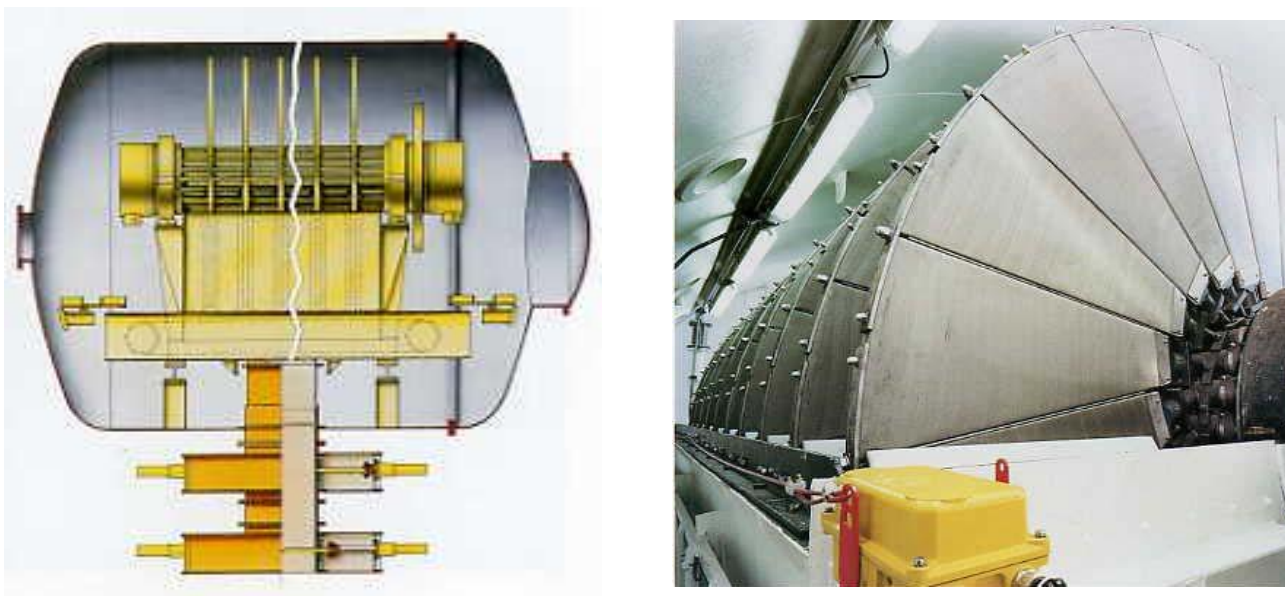


Рис. 4.1.6.4. Гипербарический фильтр фирмы «ANDRITZ»

*Фильтр-пресс ленточный* (рис. 4.1.6.5.) предназначен для обезвоживания породных шламов и мелких частиц породы (отходов флотации, спиральных сепараторов и т.д.).



Рис. 4.1.6.5. Ленточный фильтр-пресс фирмы «ANDRITZ»

Сгущенный продукт радиального сгустителя обязательно обрабатывается флокулянтами до творожистого состояния. Помещенный для обезвоживания на ленточный фильтр-пресс он проходит через распределители питания последовательно зоны (рис. 4.1.6.6): гравитационного дренажа (1), клиновидную зону (2) и зону сжатия-сдвига (3).

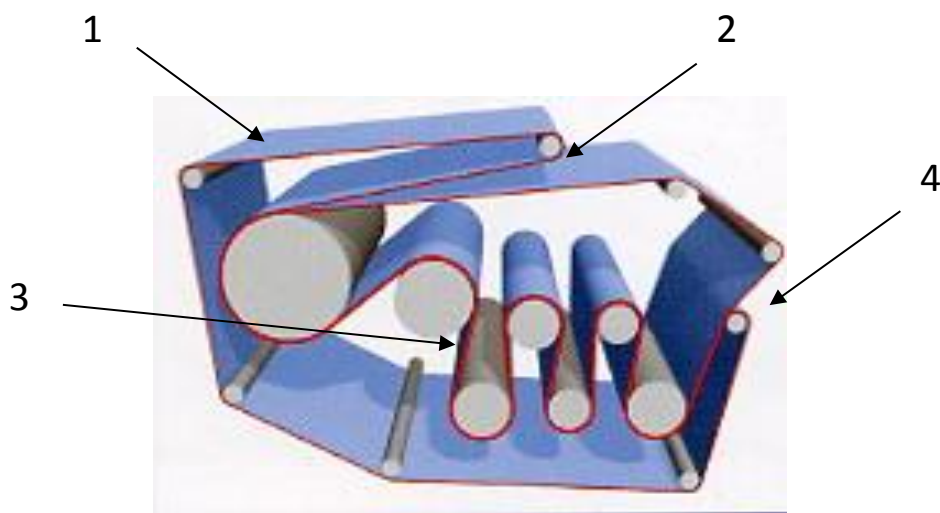


Рис. 4.1.6.6. Иллюстрация принципа работы ленточного фильтр-пресса

1 – зона гравитационного дренажа; 2 – клиновидная зона; 3 – зона сжатия-сдвига; 4 – зона разгрузки осадка фильтр-пресса

В зоне гравитационного дренажа из обезвоживаемого продукта удаляется до 50% влаги, затем он поступает в клинообразную зону, где происходит захват осадка между фильтровальными лентами фильтр-пресса. Важно выбрать оптимальный угол между лентами, чтобы обжим пульпы начинался как можно скорее, но не препятствовал свободному входу пульпы, т.к. в этом случае пульпа будет выдавливаться через края лент. В зоне сжатия-сдвига осуществляется максимальное усилие сжатия, которое увеличивается при уменьшении диаметра валков. Разгрузка осадка фильтр-пресса производится на ленточный конвейер и отгружается в породный отвал.

#### **4.1.7. Термическая сушка**

Сушка – процесс обезвоживания влажного материала, основанный на испарении воды при нагревании горячим воздухом. Аппараты называются сушилками. Основные типы сушилок:

- барабанные сушилки,
- трубы сушилки,
- сушилки кипящего слоя.

Дымовые топочные газы, проходя через слой материала, высушивают его и затем подвергаются обязательной очистке проходя через циклоны и скрубберы (рис. 4.1.7.1.)



Рис. 4.1.7.1. Сушильная установка с газоочистными сооружениями на обогатительной фабрике для энергетических углей. Канада

**Барабанная прямоточная сушилка** (рис. 4.1.7.2.) представляет собой барабан с наклоном  $1-5^\circ$  в сторону разгрузки. Сушилки бывают разных размеров с диаметром барабана от 0,5 до 3,5 м, длиной барабана от 2,5 до 27 м. Барабан опирается на опорные ролики и вращается вокруг своей оси. Частота вращения барабана 1-6 оборотов в минуту. Вращение барабана производится с помощью зубчатого обода, находящегося в зацеплении с шестерней привода. Время сушки 15-40 мин. Температура на входе от  $600$  до  $750^\circ\text{C}$ . Выходящие из топки газы имеют температуру около  $1100$ , но их объема недостаточно для сушки материала, поэтому в сушку добавляют некоторое количества воздуха из атмосферы. Температура топочных газов и пара на выходе  $70-150^\circ\text{C}$ . Высушенный материала содержит 4-7 % влаги. Производительность барабанных сушилок – 150-250 т/ч.





Рис. 4.1.7.2. Барабанная прямоточная сушилка

Внутри барабана устанавливают насадки (рис. 4.1.7.3.) для лучшего перемешивания материала.

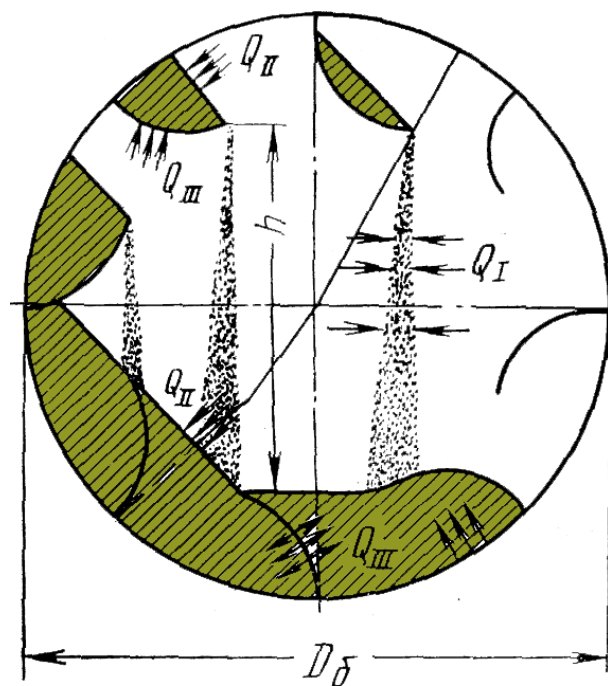


Рис. 4.1.7.3. Схема передачи тепла в сушильном барабане в процессе его вращения и перемешивания материала с помощью насадок-лифтеров.

Насадки бывают различного типа (рис. 4.1.7.4.), они служат лифтерами, поднимая и сбрасывая влажный материал, разрыхляя его и позволяя топочным газам уносить высушенный продукт из барабана.

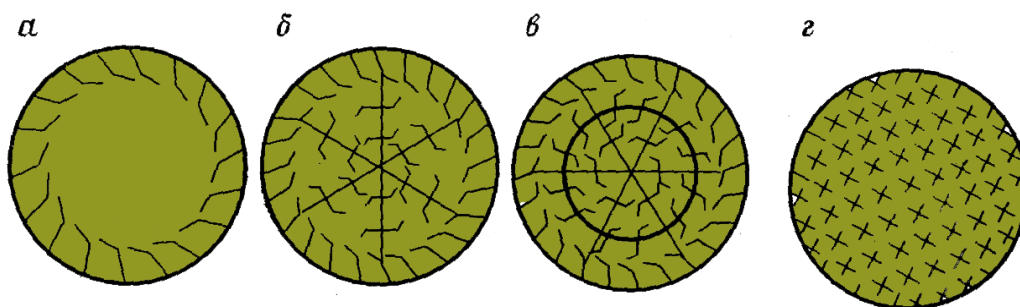


Рис. 4.1.7.4. Внутренние насадки барабанных прямоточных сушилок: а – периферийная; б – секторная; в – секторная с внутренним кольцом; г – крестообразная

Со стороны загрузки материала (рис. 4.1.7.5.) производится подача горячего газа из топки (1) в барабан (2) при помощи вентилятора-дымососа (5).

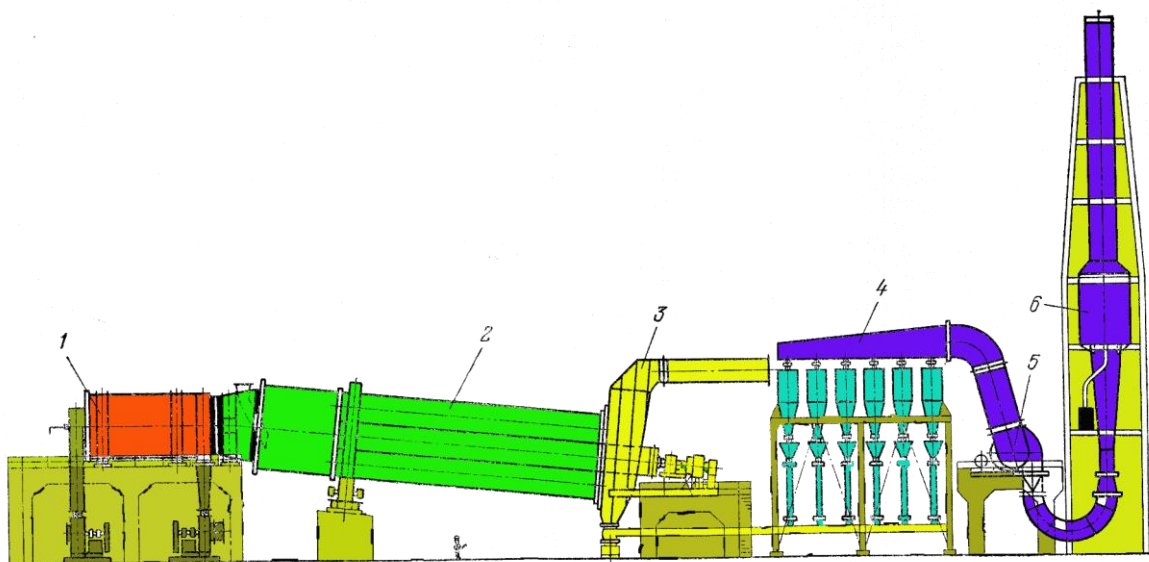


Рис. 4.1.7.5. Крупногабаритная барабанная сушильная установка с газоочистными сооружениями фирмы «Вено-Пик» (Франция).

1 – топка; 2 – сушильный барабан; 3 – разгрузочная камера; 4 – батарея циклонов; 5 – дымосос; 6 – мокрый пылеуловитель

Газ вместе с парами подвергается очистке. В камере (3), которая представляет собой циклон, высушенный продукт отделяется от газов и выгружается через разгрузочное устройство. Далее газы очищаются от пыли в батарейных пылеуловителях (4), а затем в скруббере – мокром пылеуловителе (6).

**Сушильная установка с трубой-сушилкой** (рис. 4.1.7.6.) также широко используется на обогатительных фабриках.

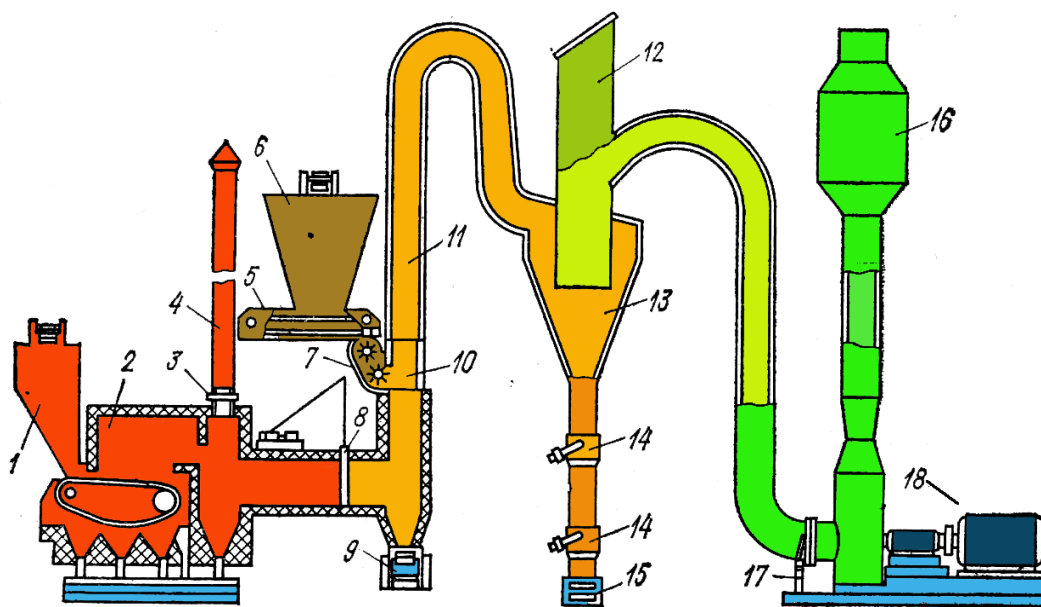


Рис. 4.1.7.6. Схема установки с трубой-сушилкой.

- 1 – топливный бункер; 2 – топка; 3 – клапан растопочной трубы; 4 – растопочная труба; 5 – скребковый питатель; 6 – бункер влажного угля; 7 – загрузочное устройство; 8 – шибер бора топки; 9 – провальная часть; 10 – загрузочная часть трубы-сушилki; 11 – труба-сушилka; 12 – аварийный клапан; 13 – циклон; 14 – затворы выпуска высушенного угля; 15 – конвейер высушенного угля; 16 – мокрый пылеуловитель; 17 – привод направляющего аппарата дымососа; 18 – дымосос

Из бункера питателя (6) забрасывателем (7) подается материал. В трубу сушилку (11) дымовые газы из топки (2) засасываются при помощи вентилятора дымососа (18) и движутся по трубе вверх, вынося с собой материал, подлежащий сушке.

В трубе материал высушивается, в циклоне (13) отделяется от газов и выгружается через разгрузочное устройство (14) на ленточный конвейер (15). Газы отчищаются от пыли в батарейных пылеуловителях, а затем в скруббере – мокром пылеуловителе (16). Пылеочистительная система имеет обязательно систему защиты от избыточного давления нагретых паров в виде самостоятельно открывающихся клапанов (12).

Крупность частиц поступающих на сушку в трубу-сушилку не более 10-15 мм. Производительность по влажному углю 250-500 кг/м<sup>3</sup>ч.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какие вспомогательные процессы переработки полезных ископаемых вы знаете?
2. Для чего необходимо обезвоживание продуктов обогащения?
3. Дайте определение содержанию влаги в продуктах обогащения руды.
4. Какие виды влаги вы знаете?
5. Как классифицируются продукты по влажности?
6. Какие методы обезвоживания продуктов обогащения применяются на фабрике?
7. Объясните, каким образом осуществляется процесс дренирования
8. Какие аппараты, используемые для дренирования вам известны, какова крупность подвергаемых дренированию частиц, влажность обезвоженных продуктов?
9. Что собой представляет процесс сгущения?
10. Назовите принципиальное устройство аппаратов, используемых для сгущения пульпы: радиального сгустителя, гидроциклона, пластинчатого сгустителя.
11. Что представляют собой реагенты-флокулянты и чем они отличаются от реагентов-коагулянтов?
12. Каким образом осуществляется процесс центрифугирования?
13. Каким образом обезвоживаются продукты в фильтрующих центрифугах, для какой крупности кусков они предназначены?
14. Чем отличаются фильтрующая вертикальная шнековая центрифуга от фильтрующей вибрационной?

15. Назовите область применения, конструкцию, принцип действия осадительной центрифуги «Декантер».
16. Каким образом классифицируются магнитные сепараторы по способу удаления продуктов обогащения?
17. Дайте определение процессу фильтрования. В чем заключается сущность этого процесса?
18. Назовите область применения, принципиальное устройство и действие дисковых вакуум-фильтров.
19. Назовите область применения, принципиальное устройство и действие ленточных фильтр-прессов.
20. Назовите основные типы сушильных агрегатов.
21. Назовите область применения, конструкцию, принцип действия барабанной прямоточной сушилки.

## 5. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

### 5.1. Окускование полезных ископаемых

Железорудные концентраты и концентраты других минералов часто необходимо подвергать окускованию, так как составляющие их частицы слишком мелкие (бывают до 40-60 % класса 0,074 мм) и непригодны для дальнейшего использования, например в сталеплавильной промышленности.

Окускование – это процесс обработки тонкозернистых минералов в агрегаты для возможности их дальнейшего эффективного использования.

Существует три способа окускования: брикетирование, агломерация и окомкование.

**Агломерация** – термохимический способ обработки мелких руд с целью окускования за счет их спекания. Применяется в основном для окускования железорудных концентратов. В процессе агломерации можно изменить химический состав руды, понижая содержание вредных примесей и, тем самым, улучшить ее металлургические свойства. Через слой шихты прокачивается горячий воздух, который получается в процессе сгорания твердого топлива, при этом образуются пористые агрегаты повышенной прочности. Аппараты – агломерационные машины. Температура спекания – 1150-1350°С.

**Брикетирование** – процесс окускования тонкоизмельченных минералов путем прессования под давлением с использованием связующих веществ с целью получения брикетов – кусков геометрически правильной формы. Аппараты – вальцовые брикетные, ленточные кольцевые и штемпельные прессы. Схема получения брикетов с помощью штемпельного прессы представлена на рис. 5.1.1. Штемпель прессы за одно возвратно-поступательное движение делает один брикет.

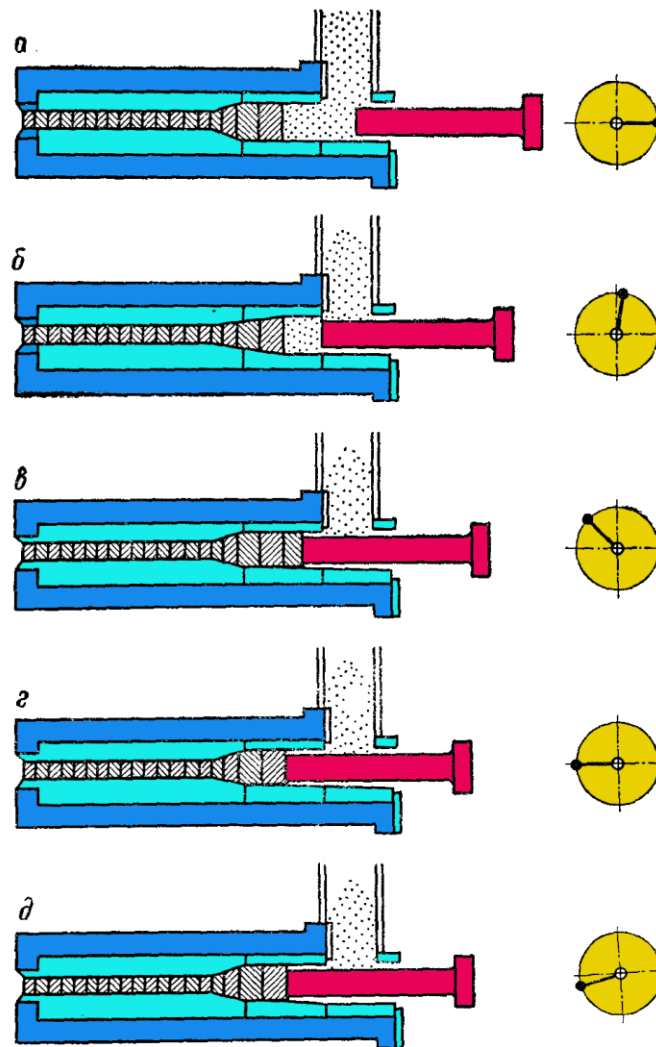


Рис. 5.1.1. Схема процесса брикетирования с помощью штемпельного пресса

В шихту для прессования добавляют связующие вещества: жидкое стекло, известь, сульфид-спиртовую барду и т. д. Расход 6-8 % к шихте.

Угольные брикеты бывают *бытовые* (основной потребитель – население) и *промышленные*, которые находят применение как сырье для полукоксования и коксования.

**Окомкование** – процесс окускования тонкоизмельченных влажных минералов (в основном железных концентратов) за счет их способности образовывать при перекачивании агрегаты округлой формы – *окатыши*. Сырые окатыши обжигают. Таким образом подготавливают, например, шихту для дальнейшей агломерации. Шихту перемешивают, увлажняют, добавляют связующие добавки, флюсы и веществ-

ва, которые интенсифицируют процесс: известь, мел, бентонит и т. д. и подвергают окомкованию. Аппараты: барабанные и чашевые (рис. 5.1.2.) окомкователи.

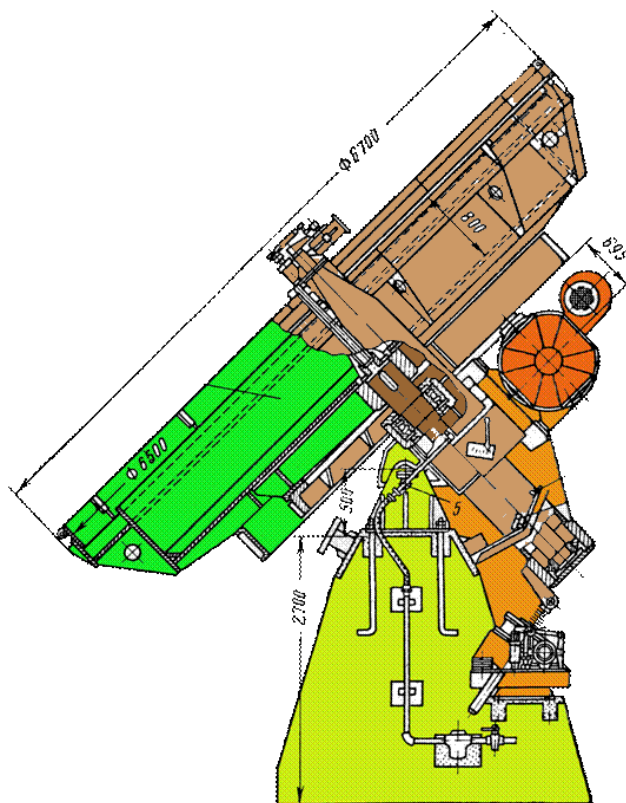


Рис. 5.1.2. Чашевый окомкователь

## ***5.2. Использование отходов обогащения***

При проектировании обогатительной фабрики разрабатываются условия применения отходов обогащения в других областях промышленности. Отвальные хвосты часто используют как сырье для других отраслей промышленности. Кварцевые отходы обогащения сырья применяются для стекольной промышленности, глинистые, содержащие окрашенные примеси, для лакокрасочной промышленности. Отвальные хвосты используют для строительства дорог, приготовления кирпичей и для различных строительных работ.

В настоящее время имеет место переработка гидроотвалов углей, зольность которых, как правило, не превышает 30 % (т.е. равносильно зольности углей в некоторых шахтах).



### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какие продукты обогащения необходимо подвергать окускованию?
2. Какие способы окускования вы знаете?
3. Каким образом осуществляется процесс агломерации?
4. Что представляет собой процесс окомкования продуктов обогащения руды?
5. Дайте определение процессу брикетирования продуктов обогащения.
6. Как классифицируются продукты по влажности?
7. Где находят применение отходы обогащения?

### *Рекомендуемая литература*

1. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. Том IV. Учебник для вузов/ А. А. Абрамов – М.: МГУ, 2008. – 710 с.
2. Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых: учебник для вузов: в 2 т. – М. : Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2006. – Т. 1. Обогащительные процессы. – 417 с.
3. Абрамов А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. В 3-х томах. Том 2. Технология обогащения полезных ископаемых. Учебник для вузов/ А. А. Абрамов – М.: МГУ, 2004. – 509 с.
4. Кармазин В. В. Кармазин В. И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. В 2-х томах. Том 1. Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых. Учебник для вузов/ В. В. Кармазин, В. И. Кармазин – М.: МГУ, 2005. – 670 с.
5. Современная техника и технология обогащения российских углей: Каталог-справочник/Л. А. Антипенко, Ю. Е. Кирюхин, А. А. Гущин, Ю. А. Толченкин под ред. В. М. Щадова. – Кемерово, Кузбассполиграфиздат, 2008. – 310 с.
6. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования. Каталог-справочник / Под общей редакцией В. М. Щадова / Сост. Г. С. Головин, А. С. Малолетнев. – М.: НТК .Трек. , 2007. – 292 с.
7. Шилаев, В. П. Основы обогащения полезных ископаемых. – М. : Недра, 1986. – 296 с.
8. Фридман, С. Э. Основы обогащения руд и углей и окускование концентратов: учебник для вузов / С. Е. Фридман, О. К. Щербаков, Н. Я. Еремин. – М. : Недра, 1991. – 270 с.
9. Бедрань, Н. Г. Переработка и качество полезных ископаемых: учебник для вузов / Н. Г. Бедрань, Л. М. Скоробогатова. – М. : Недра, 1986. – 290 с.
10. Кармазин, В. И. Процессы и машины для обогащения полезных ископаемых / В. И. Кармазин, Е. Е. Серго, А. П. Жендринский [и др.]. – М.: Недра, 1974. – 559 с.