



Л. А. СУСЛИНА

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебное пособие



Кемерово 2020

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

Л. А. СУСЛИНА

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебное пособие

Кемерово 2020

УДК 622.7(075.8)

Рецензенты:

А. А. Гуцин, к. т. н., зам. управляющего филиалом по НИР и экспертизе ООО «Сибирский научно-исследовательский институт углеобогащения», г. Прокопьевск

С. В. Скулдицкий, зам. директора по производству ПАО «Южный Кузбасс»

Суслина Людмила Алексеевна.

Обогащение полезных ископаемых : учебное пособие / Л. А. Суслина ; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2020. – ISBN 978-5-00137-184-7. – Текст : непосредственный.

Представлен материал о методах обогащения и подготовки сырья к обогащению, обезвоживания продуктов обогащения и комплексного использования сырья, расчета и составления баланса металлов, проведения ситового и фракционного анализов сырья и продуктов обогащения, а также материал для самопроверки в виде заданий и контрольных вопросов. Приведены ссылки на литературу и информацию в сети интернет.

Подготовлено для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело».

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева.

УДК 622.7(075.8)

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2020

© Суслина Л. А., 2020

ISBN 978-5-00137-184-7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Содержание издания изложено в пяти главах, включающих теоретические основы изучаемых тем, контрольные задания и контрольные вопросы.

Первая глава содержит общие понятия и терминологию, знакомит с технологическими показателями и схемами процесса обогащения, с методами усреднения полезных ископаемых.

Вторая глава посвящена методам подготовки сырья к обогащению. В ней описаны виды грохочения, дробления, измельчения и классификации по технологическому назначению; факторы, влияющие на производительность и эффективность грохочения; методы определения гранулометрического состава; методика проведения ситового анализа, представлена классификация грохотов. Эта глава содержит способы, степени, стадии, схемы дробления и измельчения руды, режимы работы мельниц, а также основные конструктивные особенности наиболее известных аппаратов грохотов, дробилок, мельниц, классификаторов, их преимущества и недостатки со ссылками на официальные сайты заводов-производителей.

Третья глава знакомит студентов с основными процессами переработки полезных ископаемых: гравитационными процессами обогащения (отсадкой и обогащением в тяжелых средах, обогащение в потоках воды на наклонных плоскостях), флотационными магнитными, электрическими и специальными процессами обогащения полезных ископаемых. В главе представлена методика проведения фракционного анализа; общие понятия о закономерностях падения минеральных зерен в воде и воздухе; классификация, устройство и принцип действия отсадочных машин, флотационных машин, магнитных и электрических сепараторов; принципиальное устройство и принцип действия тяжелосредных сепараторов и гидроциклонов, спиральных сепараторов и концентрационных столов. Также представлены схемы регенерации некондиционной суспензии, классификация флотационных реагентов, расшифровка типовых размеров магнитных сепараторов.

В четвертой главе описаны вспомогательные процессы переработки. Большое внимание уделено обезвоживанию продуктов обогащения, дана классификация видов влаги и продуктам по влажности, описаны методы обезвоживания и аппараты.

Пятая глава посвящена комплексному использованию минерального сырья, в основном окискованию полезных ископаемых и применению отходов обогащения.

Пособие содержит 119 рисунков, 53 фотографии, 24 ссылки на информацию из сети интернет, 13 схем, 4 графика и 6 таблиц.

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 высокомеханизированные предприятия со сложными технологическими процессами.



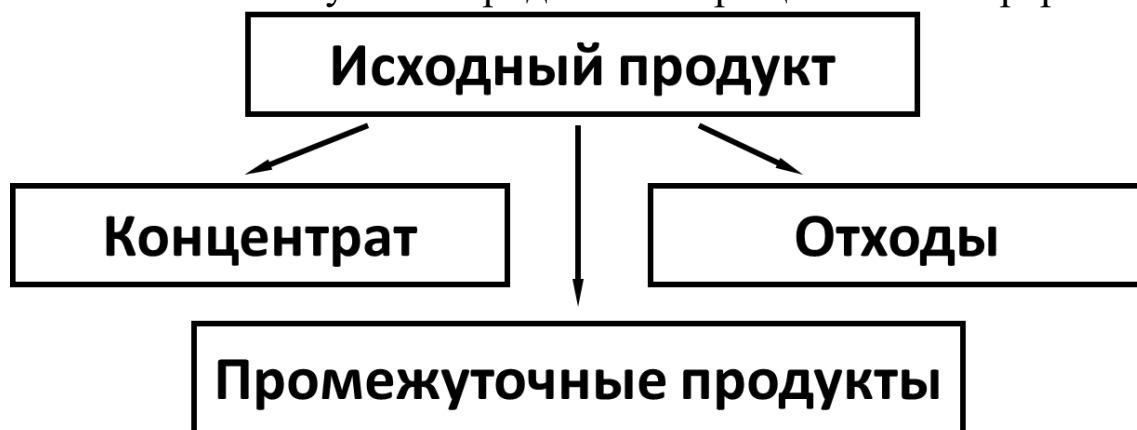
Полезные ископаемые – минеральные образования земной коры, химический состав и физические свойства которых позволяют эффективно использовать их в сфере материального производства (например, в качестве сырья или топлива).

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 %. В процессе обогащения содержание молибдена увеличивается от 0,1-0,01 (в исходном сырье) до 47-50 % (в концентрате), вольфрама – от 0,1-0,2 до 45-65 %, зольность угля снижается от 25-35 до 3-10 %. 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*. Промежуточные продукты (*промпродукты*) обычно состоят из сростков полезного компонента с пустой породой и 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 эф-

фективность 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 единицы.

Выход продукта обогащения определяется как отношение массы продукта обогащения к массе исходного сырья, обозначается греческой буквой γ (гамма) и измеряется в долях единицы или процентах:

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

где Q_i – масса i -того продукта обогащения (концентрата, отходов или промежуточных продуктов обогащения); $Q_{\text{исх}}$ – масса исходного продукта. Под термином «масса» подразумевается масса в единицу времени, в данном случае – производительность операции.

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 α (альфа), если речь идет о содержании ПК в исходной руде, и β (бета), если отражает содержание ПК в продуктах обогащения.

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

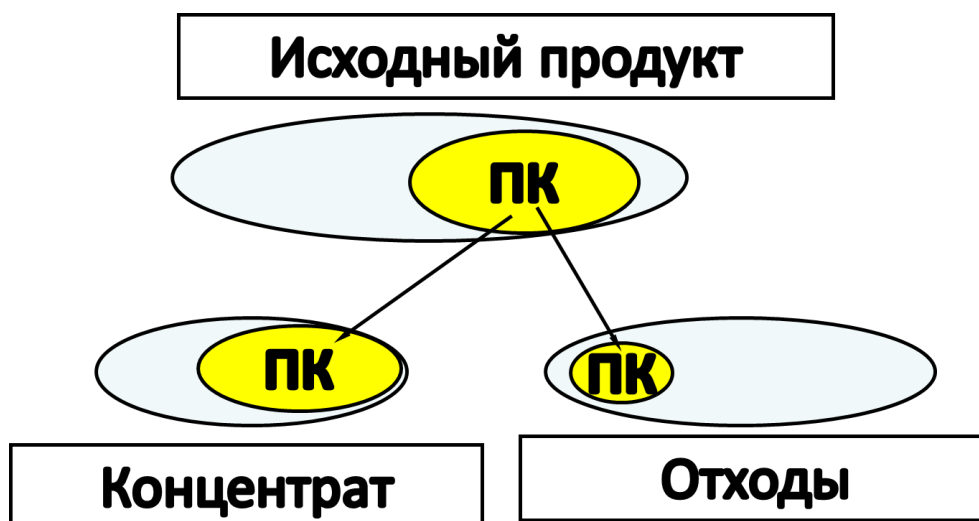
где $Q_{\text{ПК},i}$ – масса полезного компонента в i -том продукте обогащения; Q_i – масса i -того продукта обогащения (концентрата, отходов или промежуточных продуктов обогащения).

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 единицы или процентах и обозначается греческой буквой ε (эпсилон).

$$\varepsilon_i = \frac{Q_{\text{ПК},i}}{Q_{\text{ПК,исх}}} \cdot 100, \%$$

где $Q_{\text{ПК},i}$ – масса ПК в i -том продукте обогащения (концентрате, отходах или промежуточных продуктах обогащения); $Q_{\text{ПК,исх}}$ – масса полезного компонента в исходном продукте обогащения.



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 процентах):

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{К}} + \gamma_{\text{ОТХ}} &= 100, \\ \gamma_{\text{К}}\beta_{\text{К}} + \gamma_{\text{ОТХ}}\beta_{\text{ОТХ}} &= 100\alpha, \\ \varepsilon_{\text{К}} + \varepsilon_{\text{ОТХ}} &= 100, \\ \varepsilon_i &= \frac{\gamma_i\beta_i}{\alpha}, \end{aligned}$$

для углей:

$$\gamma_K A_K^d + \gamma_{\text{Отх}} A_{\text{Отх}}^d = 100 A_{\text{исх}}^d,$$

$$\varepsilon_i = \frac{\gamma_i (100 - A_i^d)}{100 - A_{\text{исх}}^d}.$$

1.2. Технологические схемы обогащения

Графическое изображение последовательности операций переработки полезных ископаемых отображается в технологических схемах обогащения. Технологическая схема обогатительной фабрики (ОФ) может быть представлена в нескольких видах.

Принципиальная схема обогащения (рис. 1.2.1) описывает последовательность обогатительных процессов и наименование конечных продуктов. Может быть использована для инженерных расчетов, а также для обучения персонала с целью получения общего представления о работе фабрики.

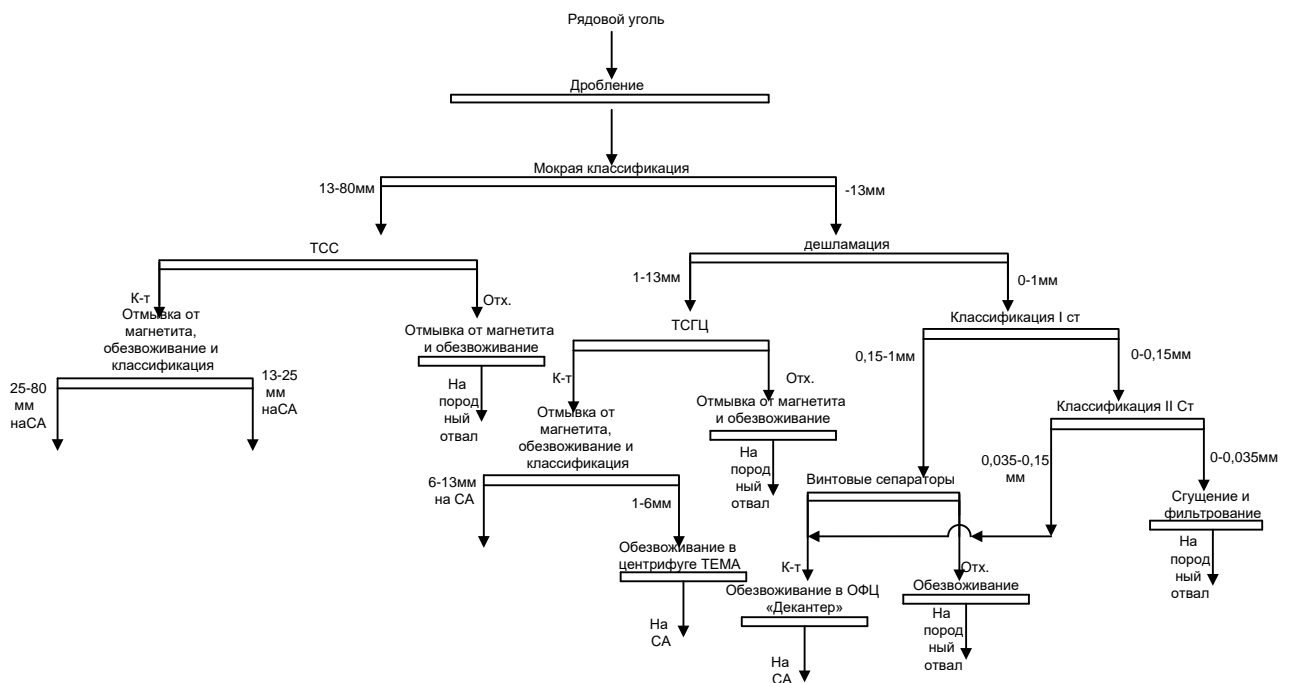


Рис. 1.2.1. Принципиальная схема ОФ Листвянская-2

Качественно-количественная схема изображена на рис. 1.2.2.

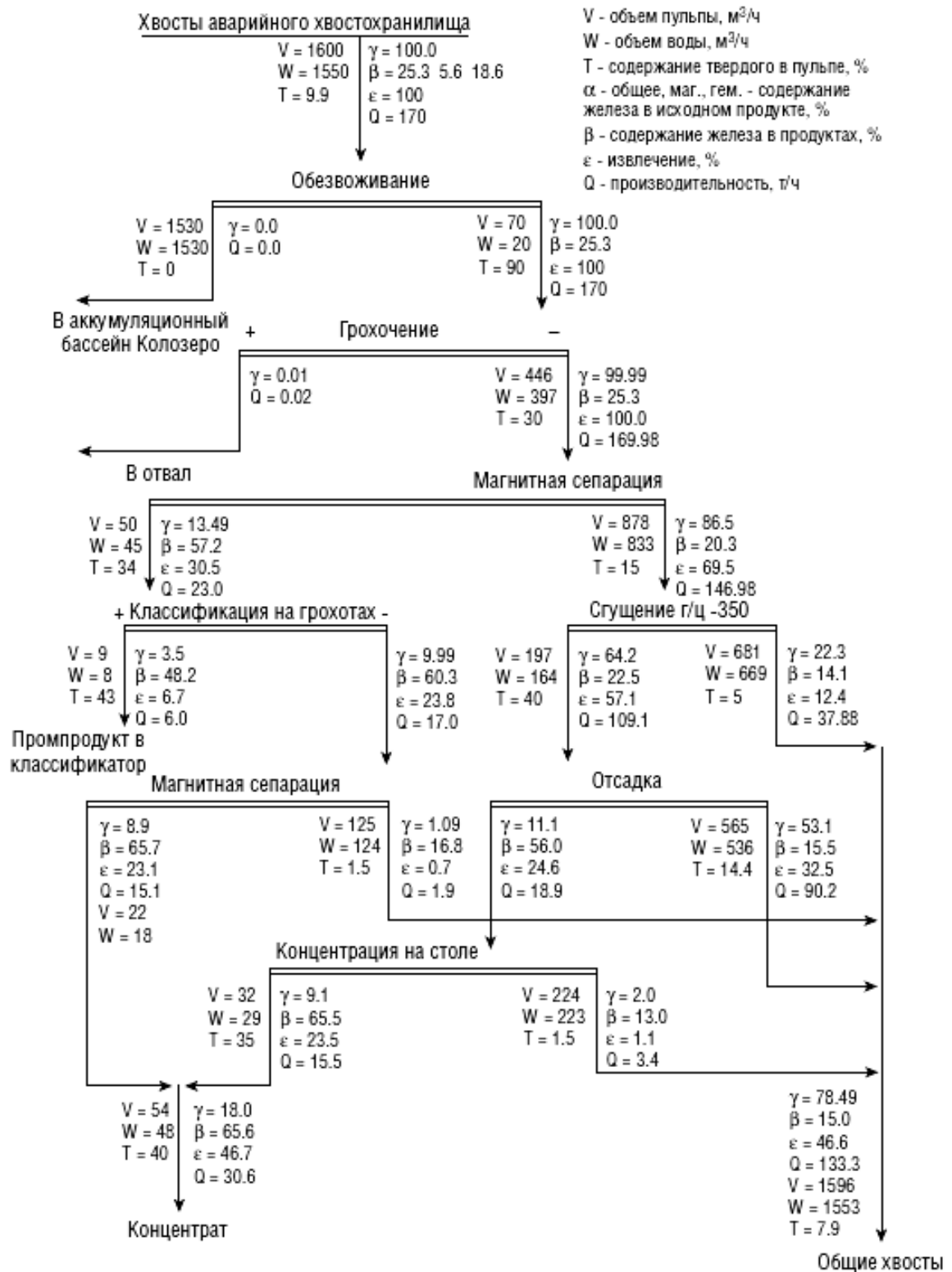


Рис. 1.2.2. Качественно-количественная и водно-шламовая схема на примере обогащения отвальных хвостов обогатительной фабрики

Качественно-количественная схема 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.

Водно-шламовая схема содержит данные о количестве воды ($\text{м}^3/\text{сут}$, $\text{м}^3/\text{ч}$) и твердого (т/сут, т/ч) в каждой операции, а также соотношение воды и твердого в продуктах обогащения в виде удельного расхода ($\text{м}^3/\text{т}$) 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 поступления исходного сырья на фабрику до выдачи товарного концентрата и отходов.

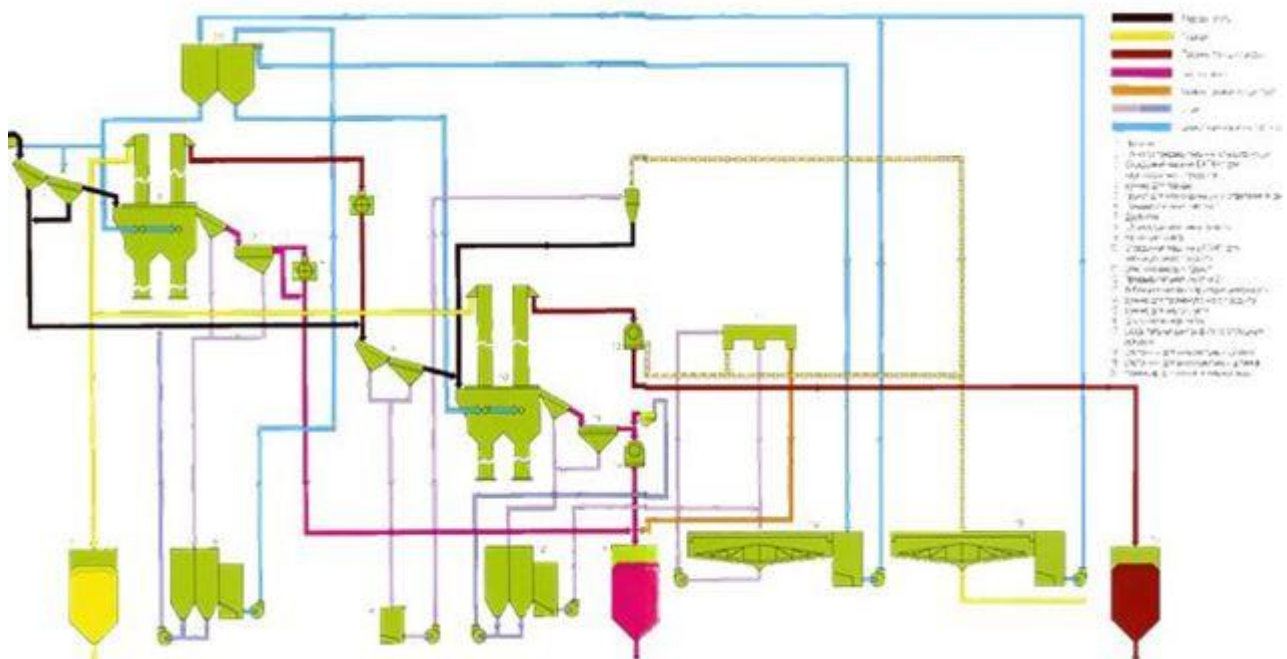


Рис. 1.2.3. Схема цепи аппаратов обогатительной фабрики

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

Компоновочные решения ОФ в 3D-модели. В настоящее время при проектировании обогатительных фабрик и изучении технологических процессов используют схемы, выполненные посредством 3D-моделирования (рис. 1.2.4). В результате трехмерного моделирования создается визуальный объемный образ обогатительной фабрики. Полученное изображение какого-либо оборудования в результате 3D-моделирования можно увидеть на экране монитора в различных ракурсах, поэтому 3D-моделирование часто применяется при проектировании новых объектов и реконструкциях существующих объектов со сложными узлами, где имеющиеся двухмерные чертежи являются недостаточными для реализации поставленных целей.

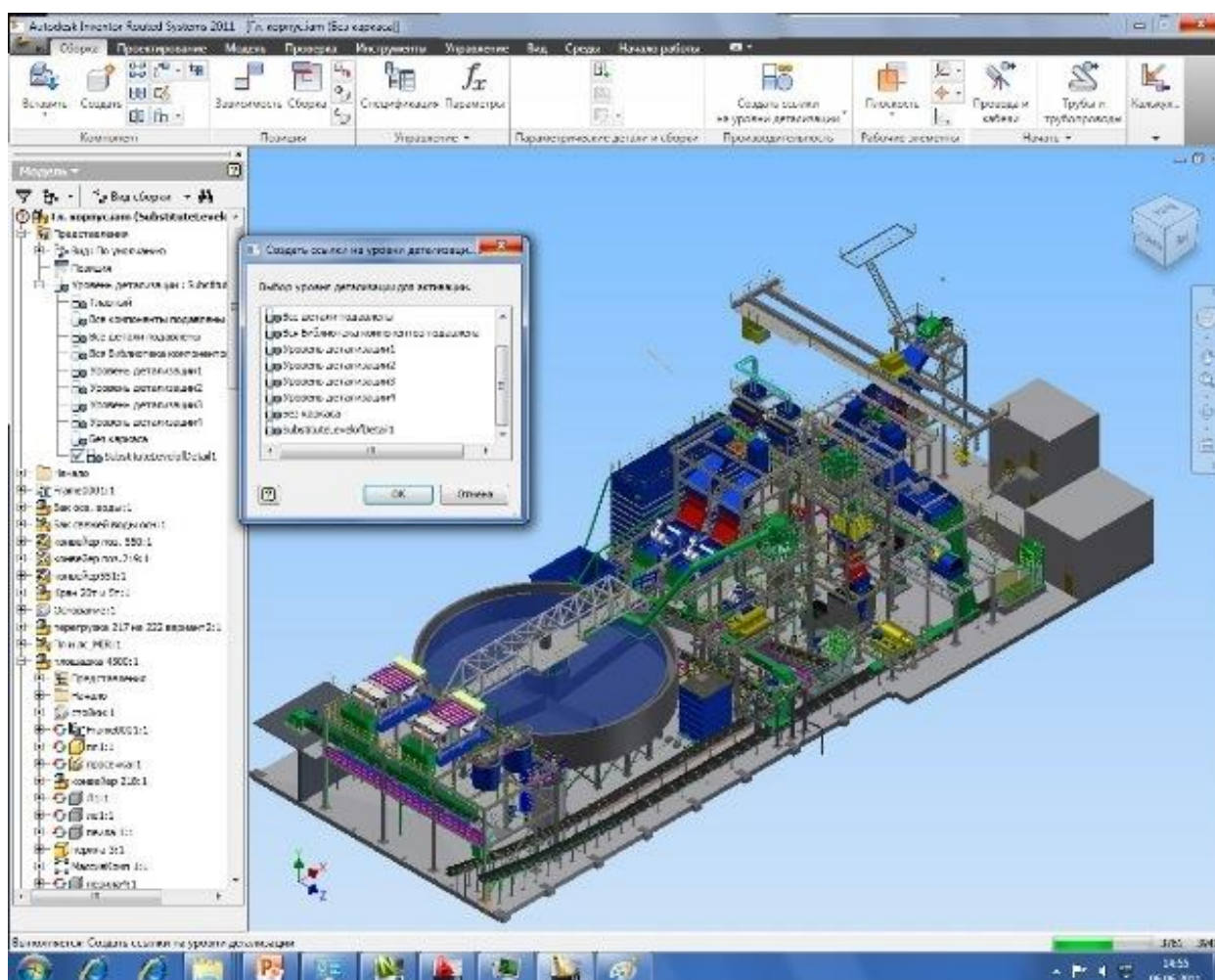


Рис. 1.2.4. Схема ОФ в виде 3D-модели

1.3. Усреднение полезных ископаемых

Обогащительные 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, которые отличаются вещественным составом рудных минералов, крупностью вкрапленности и другими показателями. Совместное эффективное обогащение разного сорта руд возможно только при условии усреднения их качества. Резерв мощности оборудования, необходимого для сглаживания и компенсации колебаний качества исходной руды даже на

10-25 % и менее, обходится дорого для обогатительной фабрики. Неуправляемые колебания качества исходной руды наносят значительно больший вред, чем усреднение. Положительным эффектом усреднения является существенное 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

- управление качеством руды во время добычи;
- перемешивание;
- сортовое усреднение.

Управление качеством руды во время добычи осуществляется следующим образом:

изменением нагрузки на участок разреза или на забой при добыче руды;

управлением 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.

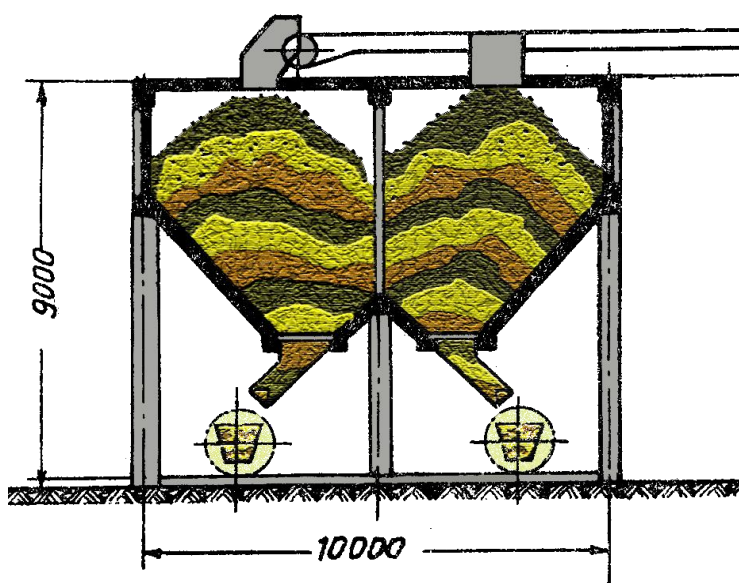


Рис. 1.3.1.3. Усреднительные бункеры-смесители

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.

Усреднение перемешиванием производится и на *внутрикарьерных складах*. Например, на автомобильных усреднительных складах (рис. 1.3.1.4) 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.

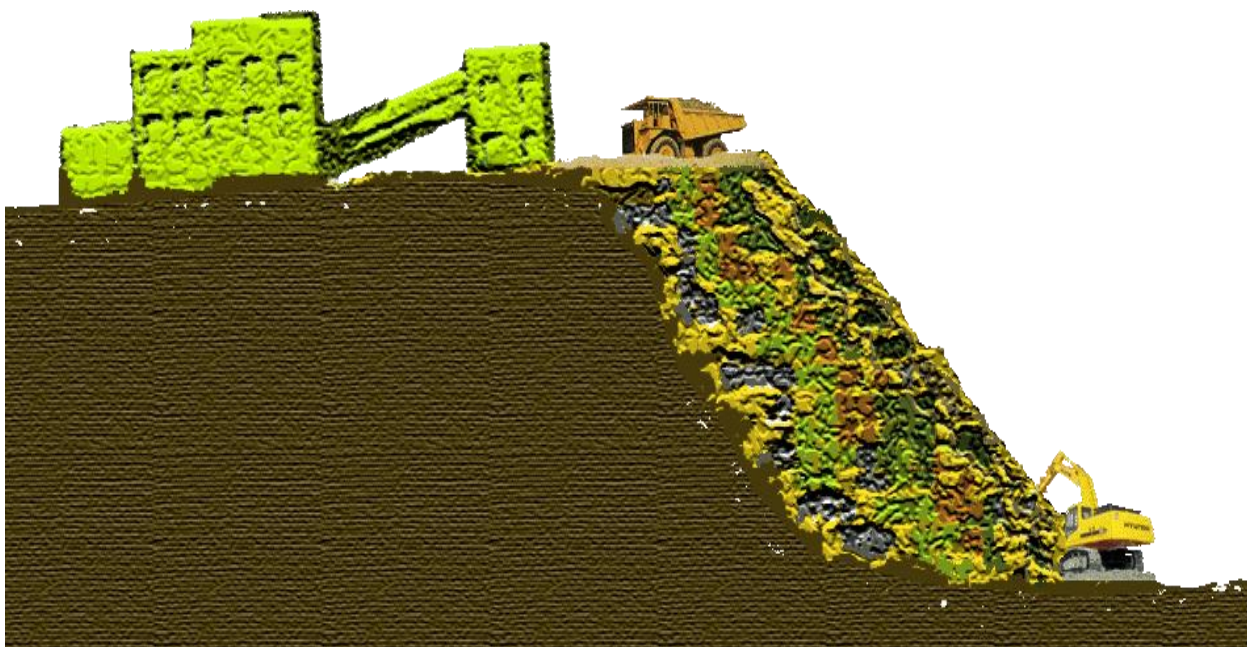


Рис. 1.3.1.4. Автомобильный усреднительный склад

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.

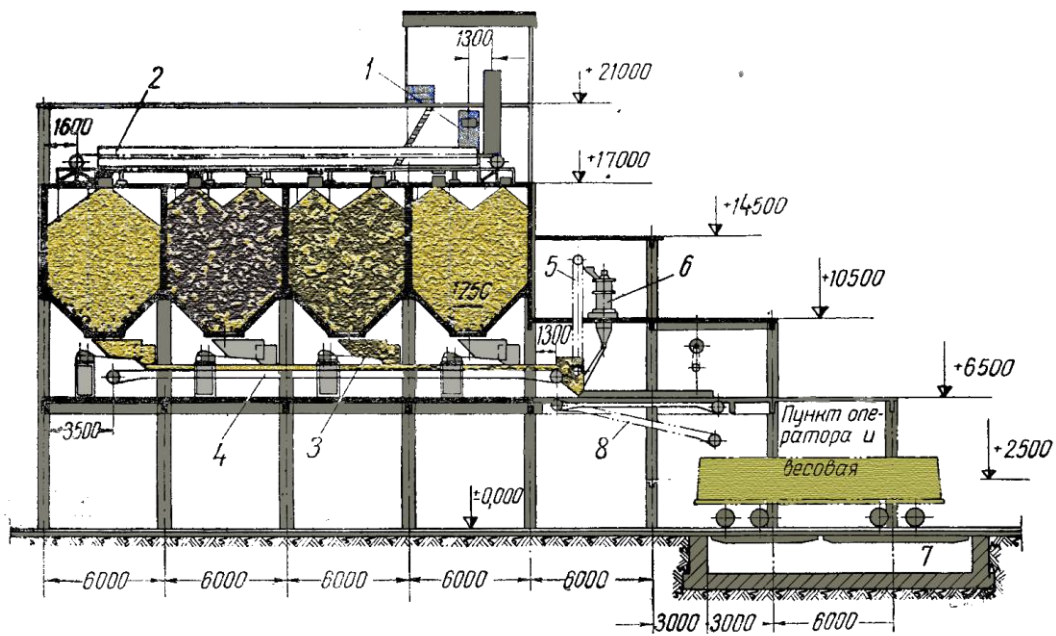


Рис. 1.3.1.1. Сортные аккумуляторы

Сортные 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.

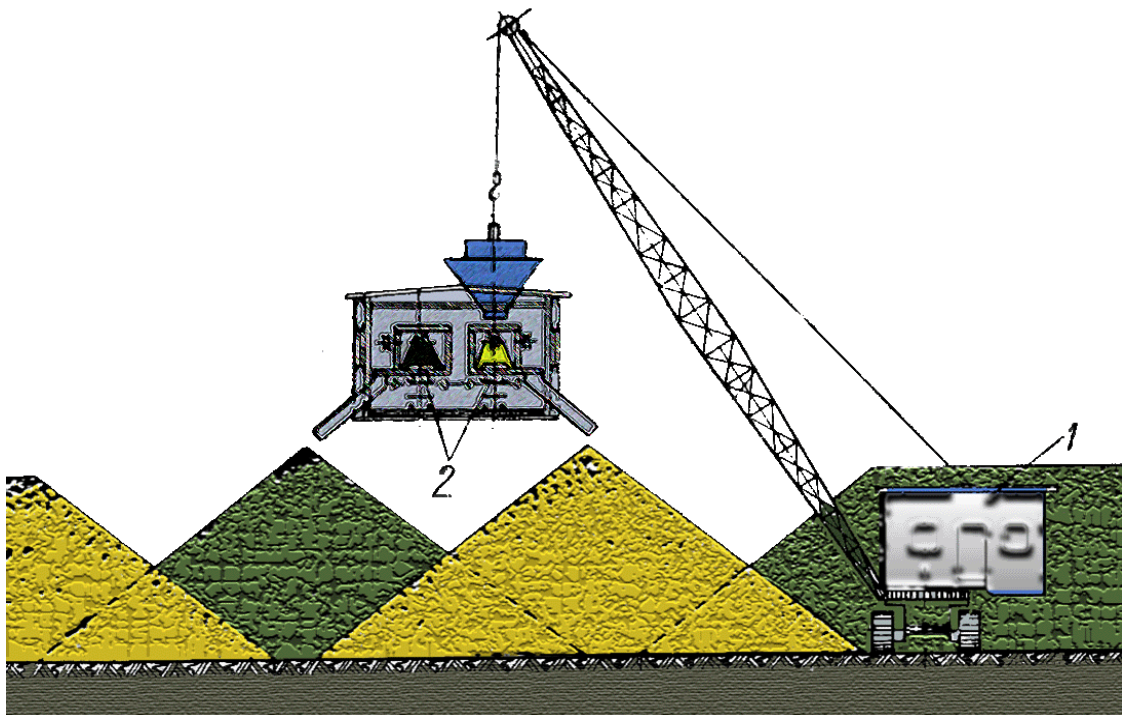


Рис. 1.3.1.2. Сортной усреднительный склад

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 добыче 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 подготовительные, основные (обогащительные) и вспомогательные.

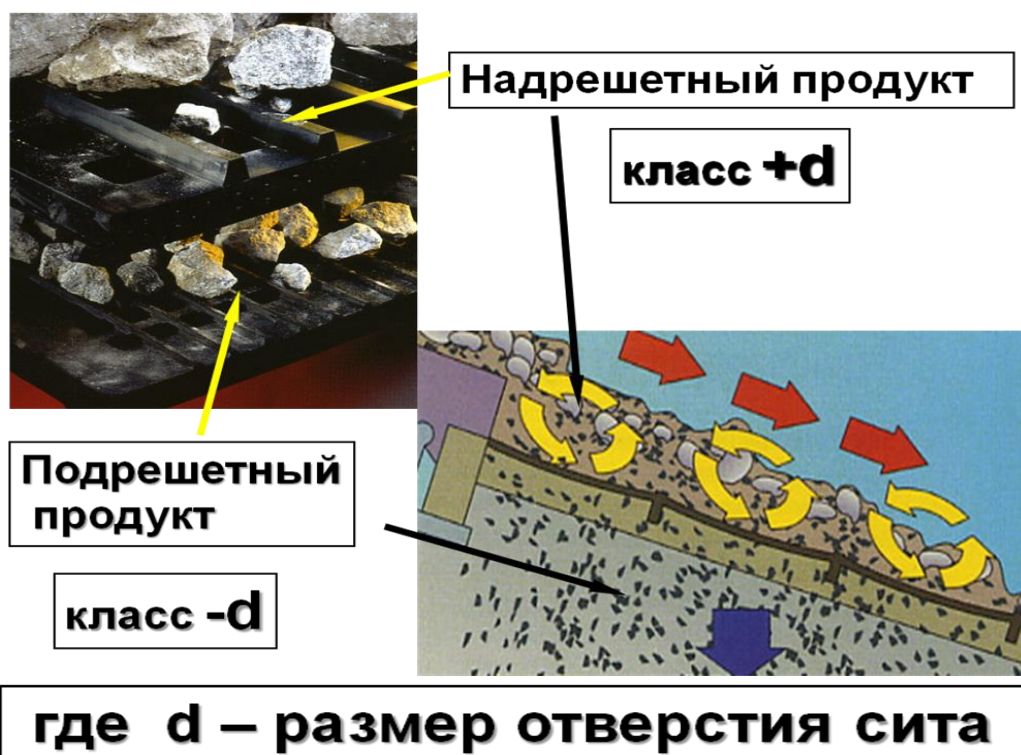
Подготовительные: дробление, измельчение, грохочение и классификация. Они предназначены для *раскрытия зерен* минералов и образования *смеси частиц* различного минерального состава, разделения смеси на машинные классы крупности для последующего разделения по свойствам.

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 как $-d_1+d_2$.

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 (мелочи) в подрешетный продукт определяется как 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 (подрешетным) 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 α – содержание нижнего класса в исходном материале и β – содержание нижнего класса в надрешетном продукте.

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

В некоторых случаях результаты грохочения оценивают по содержанию β – 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 влияние на грохочение. Большое количество трудногрохочимых и затрудняющих грохочение зерен уменьшает эффективность процесса.

Зерна, которые имеют размеры в диапазоне $0-0,75$ долей от диаметра отверстия сита (d), 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 $0,75d$, но меньше d – *трудногрохочимые*. Они проходят с трудом в промежутках между другими зернами и через отверстия.

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

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 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 такой же ширины, как сторона квадратного и диаметр круглого, допускают прохождение зерен более крупных. Квадратные отверстия пропускают на 15-20 % больше крупных частиц, чем круглые такого же размера. Сита и решета с прямоугольными отверстиями

имеют больший коэффициент живого сечения, большую произво-

дительность, низкую массу и стоимость, меньше подвергаются забиванию при грохочении влажного материала, чем аналогичные с круглыми или квадратными отверстиями, 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 (класса -13 мм) удерживают большое количество влаги из-за большой удельной поверхности в отличие от крупных. Угли класса крупности $+13$ мм можно избавить от лишней воды в одну стадию, всего лишь используя обезвоживающий грохот.

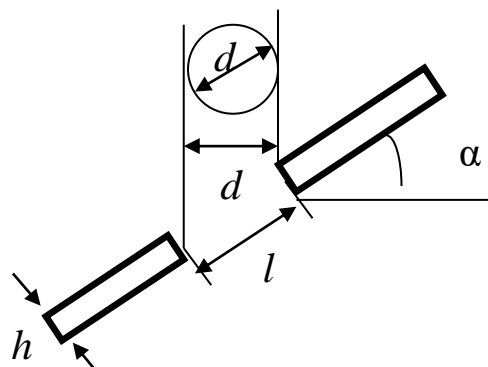
Внешняя влага вызывает слипание материала, залипание отверстий, образует пленки на ситах с мелкими отверстиями, в результате чего мелочь остается в надрешетном продукте и эффективность грохочения падает.



При **наличии глины** 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.



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

Если, например, $\alpha = 45^\circ$, 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 просеивания.

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

Подготовительное – предназначено для разделения материала на технологические машинные классы перед обогащением (для углей: на классы +13 мм (крупный уголь) и, например, –13+1 мм (мелкий уголь). Разделение на машинные классы необходимо, так как обогатительные аппараты эффективно работают только в определенных диапазонах крупности.

Окончательное (самостоятельное) 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 исходного материала).

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

- метод непосредственного измерения;
- ситовый анализ;
- седиментационный анализ;
- 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 № 2.

Таблица 2.1.4.1

Результаты ситового анализа

Класс крупности	Выход		Суммарный выход, %	
	Q, г	γ, %	по «+»	по «-»
+150	401,5	7,29	7,29	100,0
-150 +100	825,0	15,0	22,3	92,7
-100 +50	742,0	13,5	35,8	77,7
-50 +25	1100,0	20,0	55,8	64,2
-25 +13	671,0	12,2	68,0	44,2
-13 +6	467,5	8,50	76,5	32,0
-6 +3	467,0	8,49	85,0	23,5
-3 +1	297,0	5,40	90,4	15,0
-1 +0	528,0	9,60	100,0	9,60
Итого	5499	100,0		
№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5

В колонку № 1 записываются классы крупности, соответствующие 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.

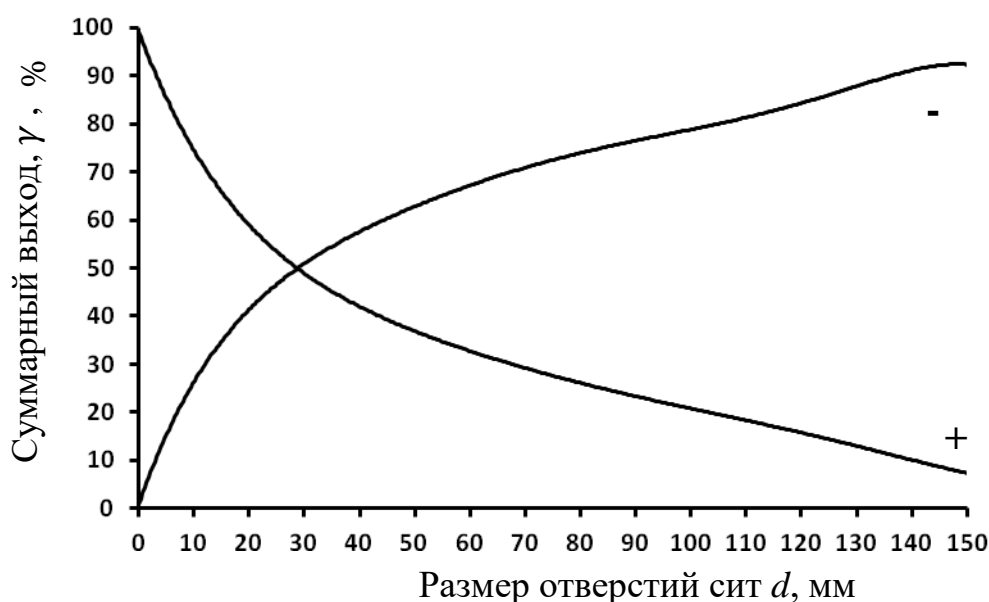


Рис. 2.1.4.1. Суммарные характеристики крупности

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

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

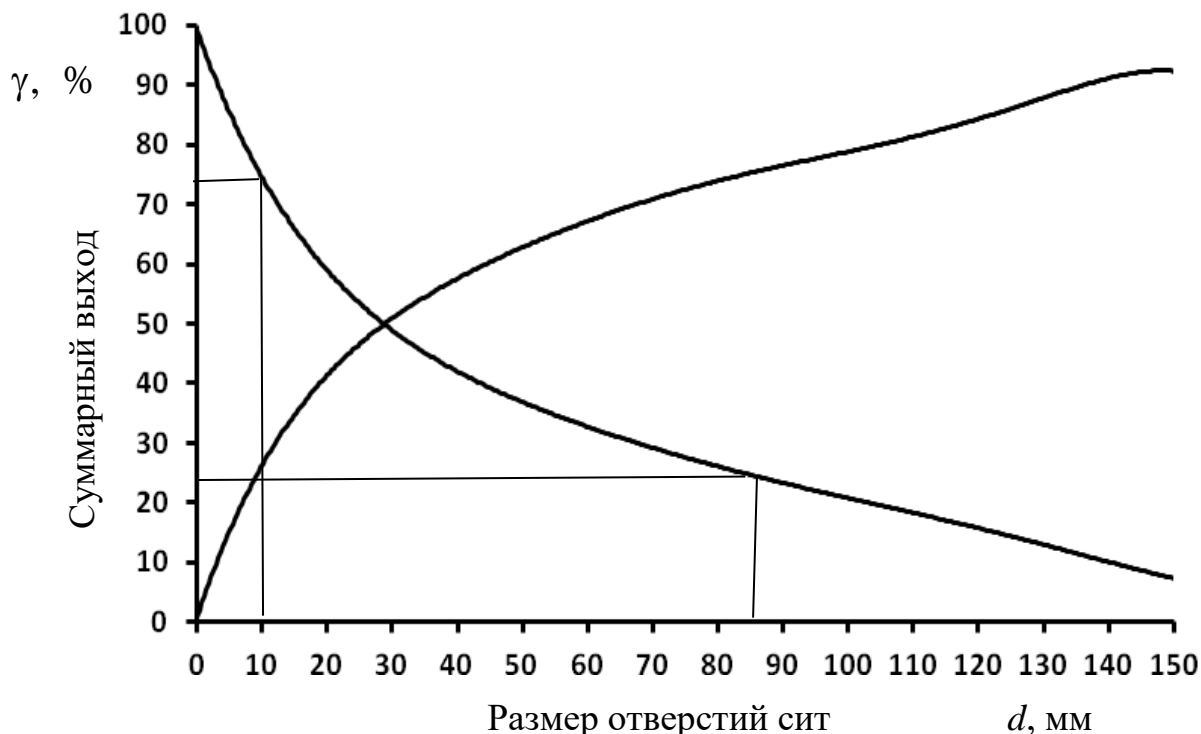


Рис. 2.1.4.2. Определение выхода класса $-85+10$ методом интерполяции

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 проводочными 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.

Сита (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.

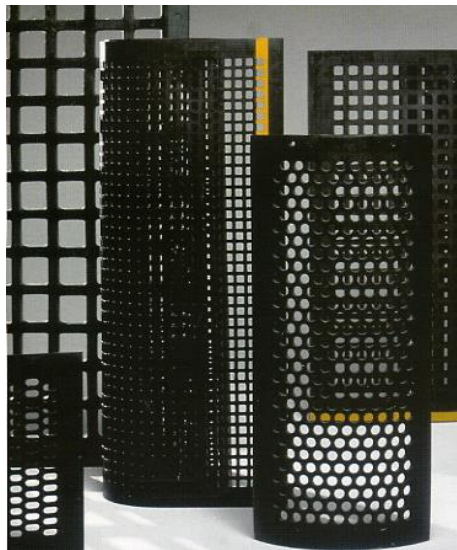


Рис. 2.1.5.1.1. Решета сварные и штампованные

Решета, как правило, имеют срок службы 4-6 месяцев. Для повышения 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 плетеные (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.

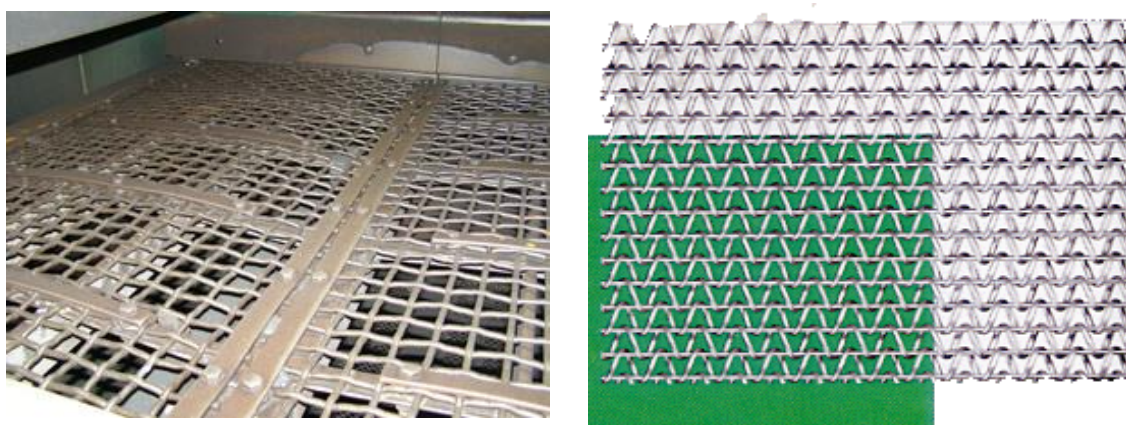


Рис. 2.1.5.1.3. Сита (проволочные сетки) тканые и плетенные

Широко применяются *шпальтовые* сита (рис. 2.1.5.1.4) – щелевидные с размерами $200 \times (0,25-16 \text{ мм})$ из стальной, бронзовой, медной, никелевой проволоки, а также из полимерных материалов.

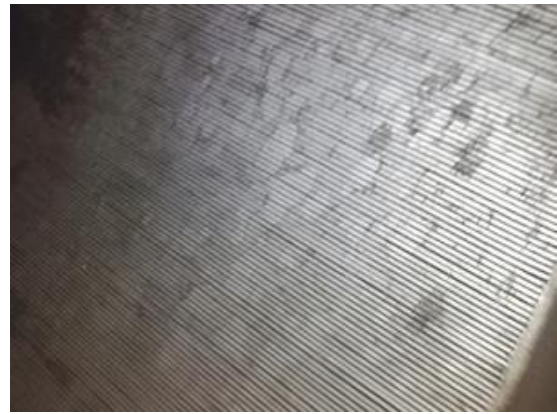


Рис. 2.1.5.1.4. Щелевидные (шпальтовые) сита с прямолинейной и криволинейной поверхностью

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. Колосниковые решетки устанавливают под углом 40-45° для руды и 30-35° для угля. Для влажного материала угол увеличивают на 5-10°.



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

Преимущество грохота – в простоте устройства и обслуживания, в отсутствии энергетических затрат. Недостатком является низкая эффективность просеивания – 50-60 %. Поэтому используют для выделения наиболее крупных классов: перед первой стадией дробления. Производительность в среднем 60 т/ч·м².

Дуговые грохоты (рис. 2.1.5.2.1) предназначены для мокрого грохочения тонкого и мелкого материала (0,1-2,5 мм), для обезвоживания и обесшламливания продуктов.

Дуговые грохоты широко применяются на обогатительных

фабриках. Кривизна поверхности способствует появлению центробежных сил. Таким образом увеличивается эффективность грохочения – до 90 %.

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, создавая условия для появления центробежных сил. Режимы просеивания можно менять напором пульпы и при помощи системы регулирования загрузочной щели (5).

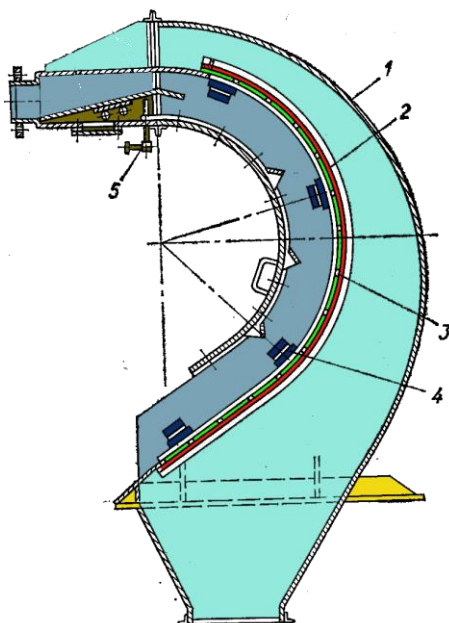


Рис. 2.1.5.2.2. Дуговой грохот:

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.

<https://zavodtrud.ru/obogatitelnoe-oborudovanie/groxota/groxot-dugovoj/>

Широко применяются **конусные** грохоты-сита (рис. 2.1.5.2.3) 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.

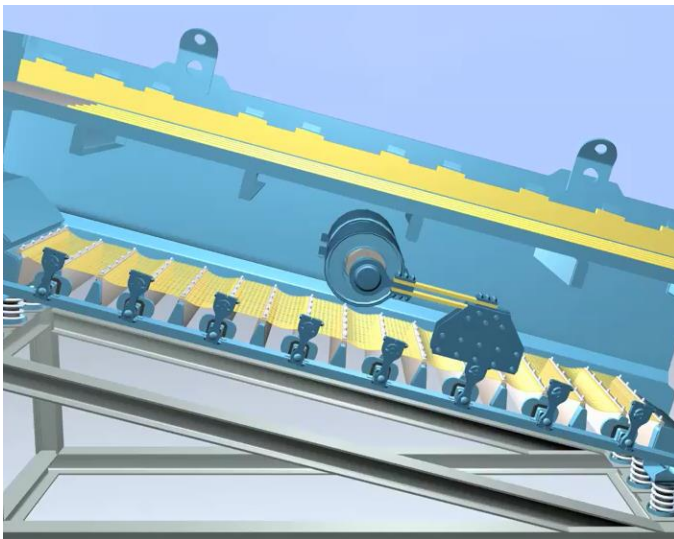


Рис. 2.1.5.2.3. Конусный грохот ГК-1,5М
ООО «Машстройиндустрия»

<https://www.m-stroy-i.ru/product/6-grokhhot-konusnyy-gk-15m>

2.1.5.3. Грохоты механического типа

Грохоты предварительной классификации предназначены

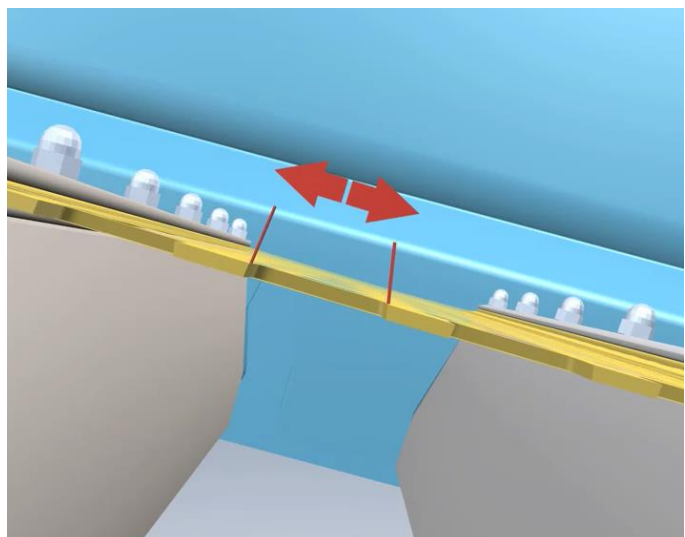


для сухого грохочения с выделением отсева для использования его без обогащения. Например, грохот LIWELL LF 3,0 (HEIN LEHMANN, Германия).

<https://www.heinlehmann.de/en/products>

Этот грохот имеет оригинальное устройство. Грохот сконструирован из двух встро-

енных друг в друга ситовых коробов. Короба совершают эксцентричные движения в противофазе (подобно бату-ту). Это приводит к попеременному натяжению и ослаблению ситовых панелей с частотой, соответствующей частоте вращения привода. Натяжение ситовых панелей приводит к повышению величины ускорения движения



поверхности более 50g, что существенно повышает эффективность классификации, а растяжение отверстий в полиуретановых ситах не позволяет частицам в них застревать.

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°. 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

Достоинство грохота состоит в невозможности заклинивания отверстий частицами из-за постоянной смены их положения. Недостатки: большой вес грохота, невозможность грохочения глинистых руд. <http://www.drobmash.ru/content/groxot-valkovyj-4-x-/>

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° для цилиндрического грохота, а для конического – горизонтальна.

<http://drobix.ru/grohoty-barabannye/>



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, возможность мокрого грохочения глинистых материалов за счет самоочистки просеивающих экранов в процессе непрерывного вращения барабана, отсутствие вибраций. Недостатки: низкие производительность и эффективность.

Инерционные грохоты имеют простейшее устройство (рис. 2.1.5.3.3) и предназначены для грохочения углей и руд, обезвоживания, обесшламливания, отмывки 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 необходимость установки амортизаторов для уменьшения нагрузки и вибрации на раму грохота и перекрытия здания.

Типы: ГИЛ, ГИС, ГИТ – грохоты инерционные легкого, среднего и тяжелого исполнения соответственно, применяют для предварительного разделения сырья по крупности чаще всего в зависимости от исполнения: ГИЛ для грохочения углей, ГИС для грохочения нерудных материалов, ГИТ для грохочения руд.

<http://www.zavodgdo.ru/dsob/grohoty>

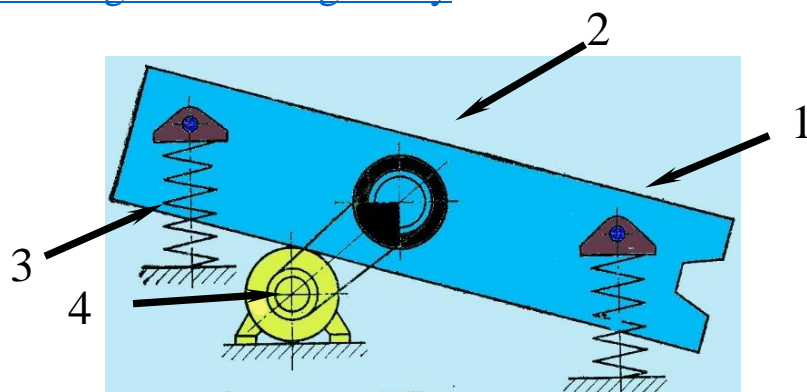


Рис. 2.1.5.3.3. Схема устройства инерционного грохота:
1 – короб с ситами; 2 – дебалансный вибратор; 3 – пружины амортизатора; 4 – привод клиноременной передачи

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. Используются в технологических схемах рудоподготовки и доводки золото- и алмазосодержащих руд; в схемах

глубокого обогащения кварца для производства высококачественного стекла; в схемах переработки глинистых руд и различных тонкоизмельченных нерудных материалов.

<https://mtspb.all.biz/grohot-gidravlicheskij-s-elastichnym-g228825>

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 амортизатора (2) к опорной конструкции.

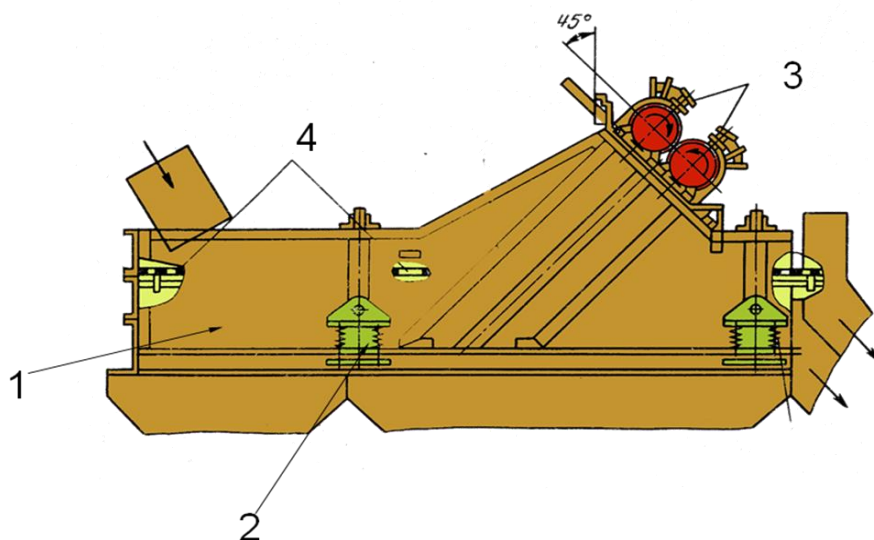


Рис. 2.1.5.3.3. Схема устройства инерционного грохота с самобалансным самосинхронизирующимся вибратором:

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

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

<http://www.teh-lib.ru/tpip/grohot-samobalansniy-samosinhroniziruyushiy.html>

За счет самобалансных вибрирующих устройств колебания передаются 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).

В любом положении дебалансов составляющие сил инерции, действующие вдоль оси y , уравниваются. Если в этом направ-

лении находится рама грохота, то вибрация на нее передаваться не будет. В позициях (1) и (3) осуществляется максимальный толчок в направлении оси x .

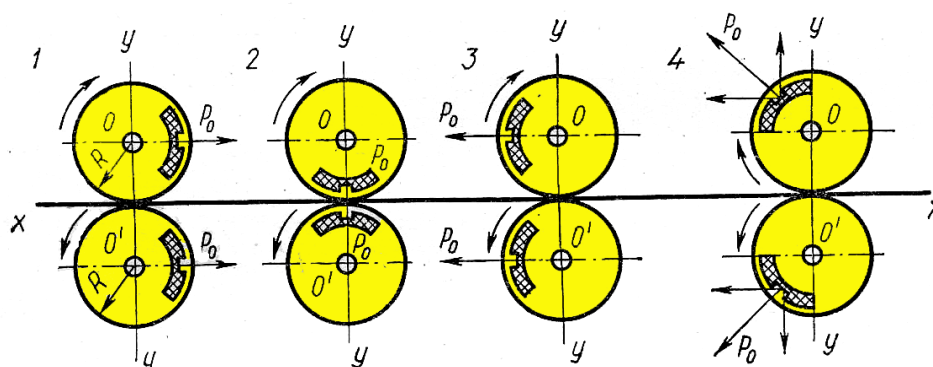


Рис. 2.1.5.3.4. Схема действия самобалансного вибратора

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

Площадь грохочения – от 1,28 до 12,5 м², размеры отверстия сита – от 4 до 100 мм.

Типы грохотов: ГСЛ, ГСС, ГСТ – грохот самобалансный легкого, среднего и тяжелого исполнения соответственно. На углеобогадательных фабриках часто применяются грохоты инерционные с самобалансным вибратором (ГИСЛ, ГИСТ).

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

Грохот состоит из двух масс: короба (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.

Плоские рессоры (5) обеспечивают направленные прямолинейные колебания рамы и короба под углом α к плоскости сита. Ре-

жим колебания грохота регулируется изменением частоты вращения вала сменой шкивов клиноременной передачи и изменением зазора между буферами (7).

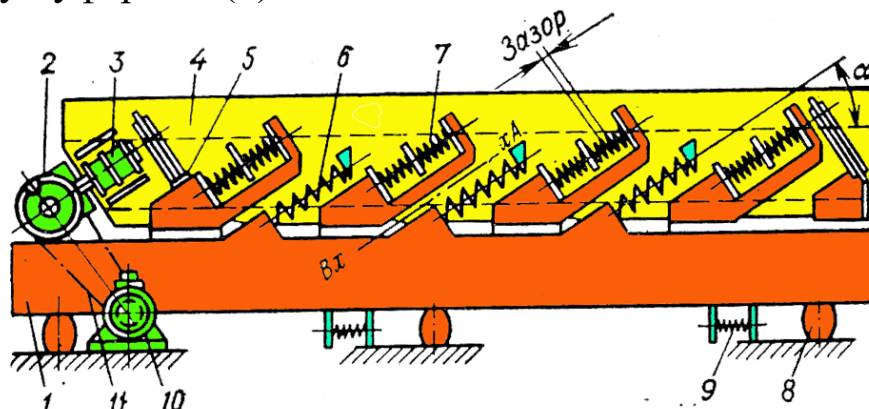
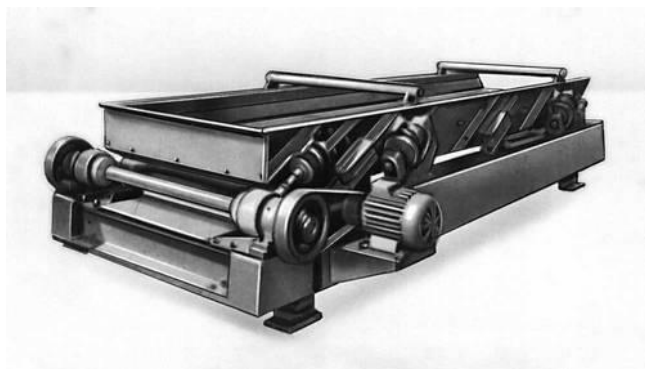


Рис. 2.1.5.3.5. Схема резонансного грохота:

- 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

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

Резонансные грохоты – высокочастотные. Электромагнитный



вибровозбудитель имеет возможность плавной регулировки амплитуды вибраций. Когда собственная частота колебаний становится равной вынужденной частоте, возникает резонанс. При режимах работы, близких к резонансному, увеличивается амплитуда колебаний грохота при тех же энергетических затратах, а также увеличивается производительность и эффективность грохочения.

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 м². Недостатки: сложность конструкции.

<https://mydocx.ru/8-99899.html>

Грохоты механического типа (подвижного) бывают различных типоразмеров.

Типоразмеры грохотов имеют наименования, состоящие из

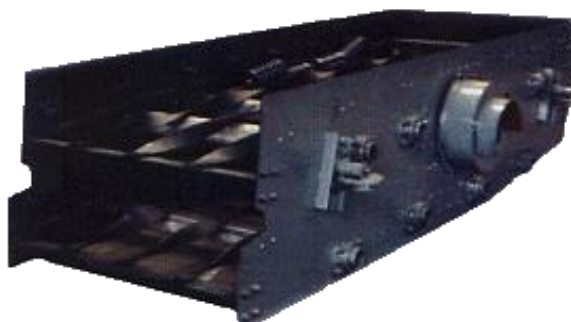
букв и цифр. Первая означает Г – грохот, вторая (или вторая и третья) – тип: Г – гирационный, И – инерционный, С – самобалансный, Р – резонансный, третья (последняя) – исполнение: Л – легкий до $1,4 \text{ т/м}^3$, С – средний $1,6 \text{ т/м}^3$, Т – тяжелый $2,0 \div 2,8 \text{ т/м}^3$. Цифры означают: 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.



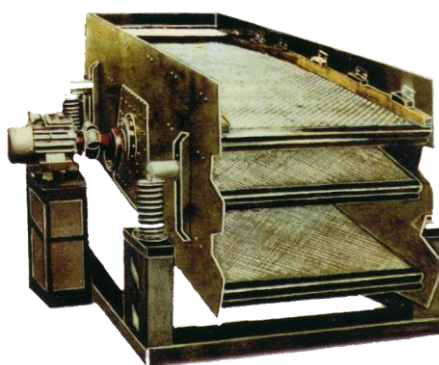
Например, ГИСЛ-82А – грохот инерционный, самобалансный легкого исполнения двухситный с шириной просеивающей поверхности – 3,0 м (буквы за цифрами означает определенную модификацию конструкции грохота).

Практическое задание

Произведите расшифровку наименования типоразмеров грохотов:



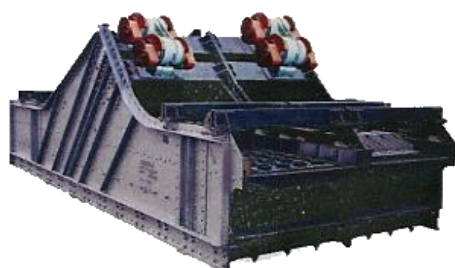
1) ГИЛ-42К



2) ГИЛ-43А



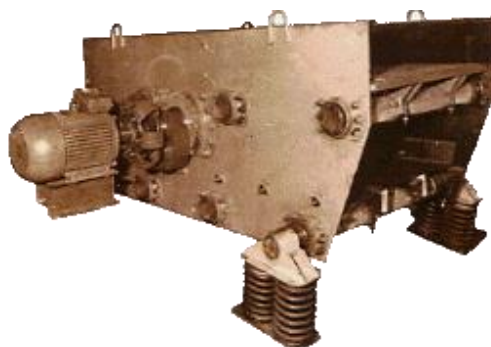
3) ГИСЛ-62УК



4) ГИСЛ-82АК



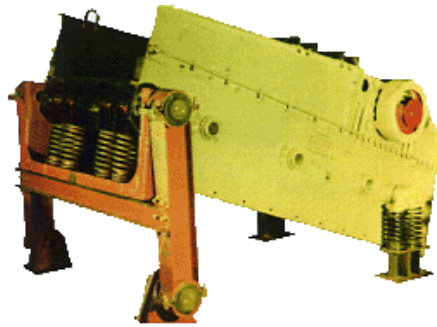
5) ГИТ-51



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 гранулометрический состав на эффективность грохочения?
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 глин?
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 известны?
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 типы подвижных и неподвижных грохотов применяются на обогатительных фабриках?

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 самосинхронизирующего 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 *способу разделения частиц* можно выделить два типа классификаторов, разделяющих частицы по размерам *в вертикальном потоке*, совпадающем по направлению действия сил (тяжести, выталкивающей, сопротивления среды) или противоположно направленном; и *в горизонтальном потоке*, направление которого перпендикулярно действующим силам или под углом по отношению к линии их действия.

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

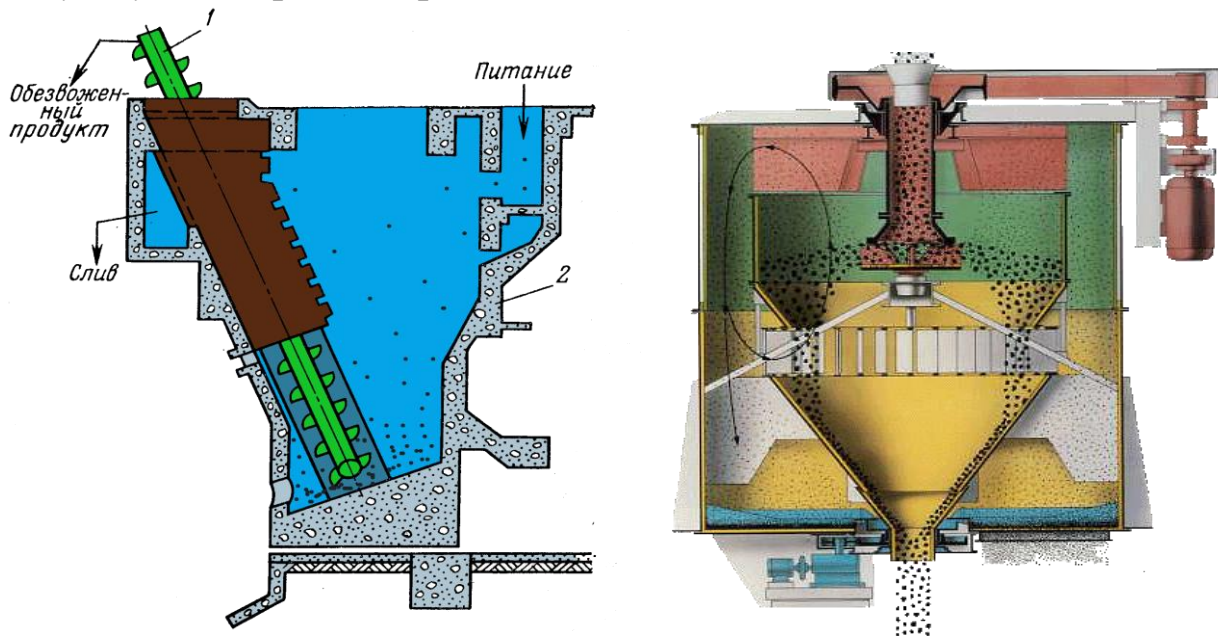


Рис. 2.2.1. Механический элеваторный классификатор и воздушный сепаратор

По *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, обезшламливания пульп перед флотацией.

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

2.2.1. Классификаторы



Рис. 2.2.1.1. Механический спиральный классификатор с непогруженной спиралью

Классификаторы по принципу действия подразделяются на *механические*: речные, чашевые, спиральные, элеваторные; *гидравлические*: конусные, пирамидальные, многокамерные; *центробежные*: гидроциклоны, осадительные центрифуги, воздушные сепараторы.

Механические спиральные классификаторы применяются на рудообогатительных фабриках.

Спиральные классификаторы (рис. 2.2.1.1) бывают с погруженной спиралью (рис. 2.2.1.2 а) для получения тонкого слива более 85 %, класса 0,074 (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 слежавшегося материала (осевшего). Он предохраняет от износа корпус при движении шнека.

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

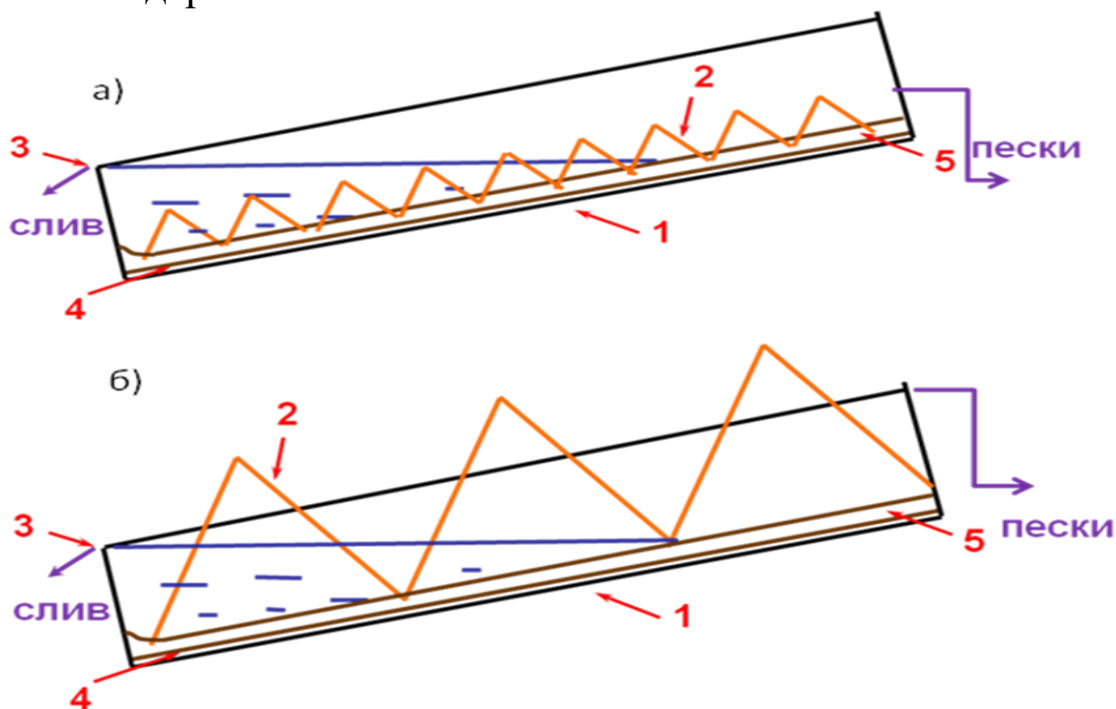


Рис. 2.2.1.2. Схемы механических спиральных классификаторов: а – с погруженной спиралью, б – с непогруженной спиралью;

1 – полуцилиндрическая наклонная ванна;

2 – спираль (вращающийся шнек); 3 – сливной порог;

4 – слой неподвижного слежавшегося материала;

5 – слой осевшего крупного материала (песков)

Эффективность классификации 35-65 %.

Производительность спиральных классификаторов с непогруженной спиралью может быть определена:

$$1) \text{ по сливу: } Q_{\text{сл}} = 4,55m K_{\alpha} K_{\delta} K_{\beta} K_{\epsilon} D^{1,765}, \text{ т/ч;}$$

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

где m – число спиралей классификатора; n – частота вращения спирали (мин^{-1}); K_{α} – поправочный коэффициент на заданную плотность слива; K_{β} – поправочный коэффициент на крупность слива; K_{δ} – поправочный коэффициент на плотность материала; K_{ϵ} – поправочный коэффициент на угол наклона днища; D – диаметр спирали.

Классификатор элеваторный (рис. 2.2.1.3) 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.

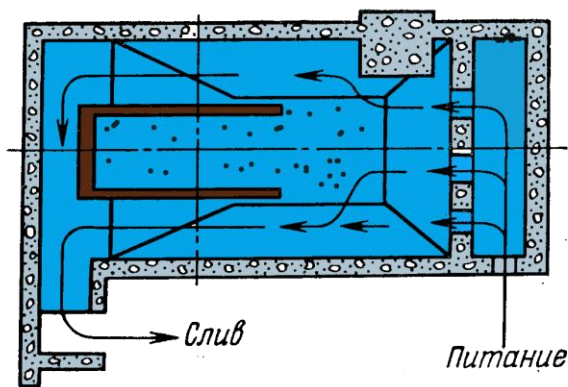
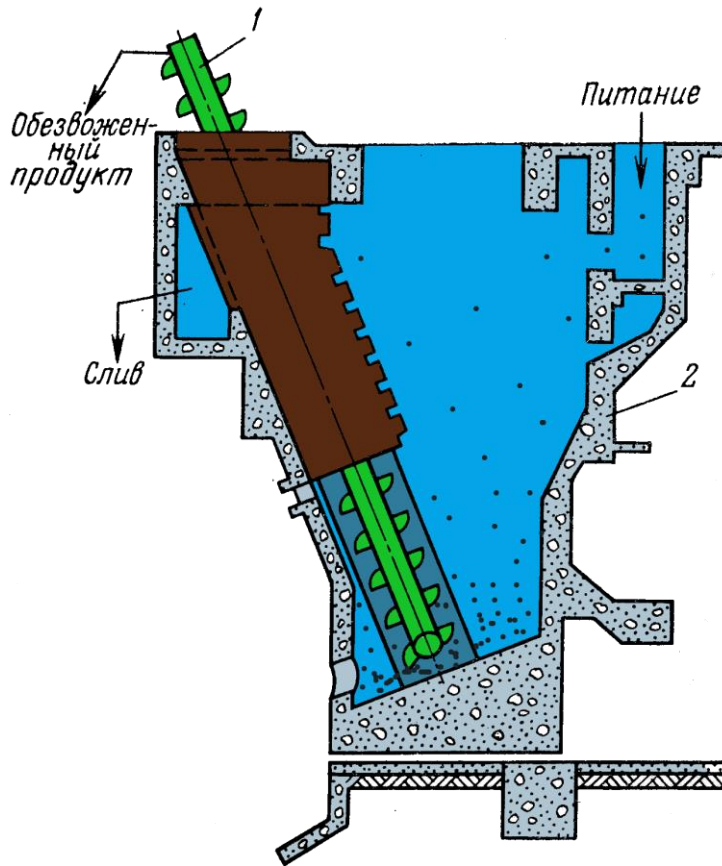


Рис. 2.2.1.3. Механический элеваторный классификатор:
1 – элеватор с перфорированными ковшами; 2 – зумпф (железобетонная емкость)

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 м³/ч на 1 м² площади поверхности классификатора при концентрации твердого материала не более 120-150 г/л.

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).

Механический

элеваторный классификатор с зумпфом в виде железобетонной емкости в настоящее время встречается только на старых обогатительных фабриках, на модульных фабриках не устанавливается из-за больших размеров. Их функцию успешно выполняют современные грохоты. Тем не менее, механические ковшовые элеваторы с перфорированными ковшами (рис. 2.2.1.4) (без зумпфа) применяются широко и предназначены для транспортирования с одновременным обезвоживанием продуктов обогащения, в основном каменных углей и антрацитов. Длина их достигает 40 м. Состоят из

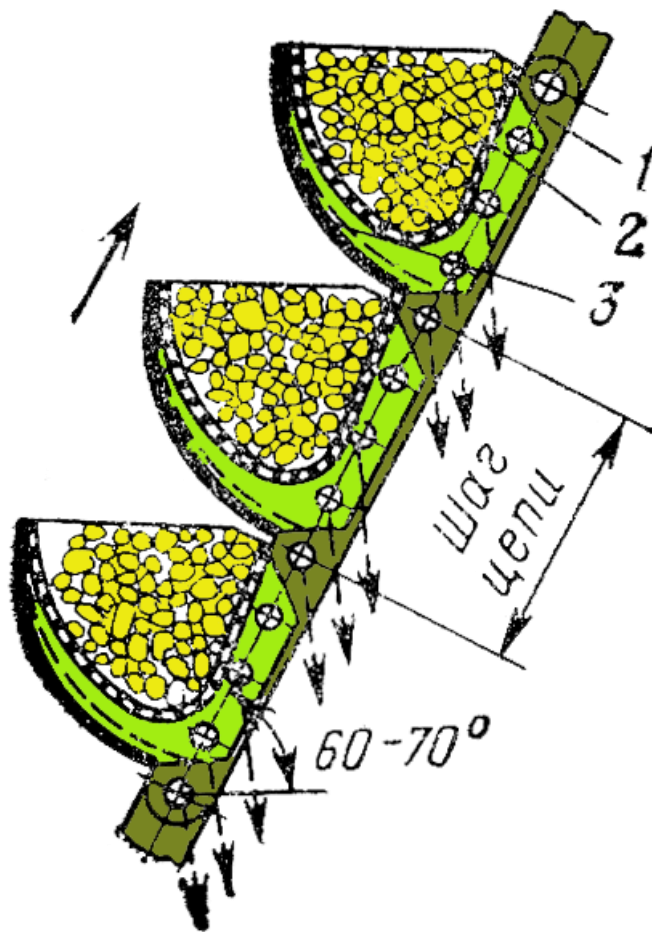


Рис. 2.2.1.4. Элеватор с перфорированными ковшами:

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

корпуса с элеваторной цепью (1) и перфорированных ковшей (2). Конструкция ковшей исключает «дождевание» на нижерасположенные ковши.

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, поэтому в настоящее время их можно увидеть только на старых действующих фабриках, на новых обогатительных фабриках модульного типа они не устанавливаются.

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. Исходная пульпа (1) подается под давлением тангенциально внутрен-

ней 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 патрубок (4). Внутренняя поверхность гидроциклонов покрывается износостойчивым материалом – футеруется (5).

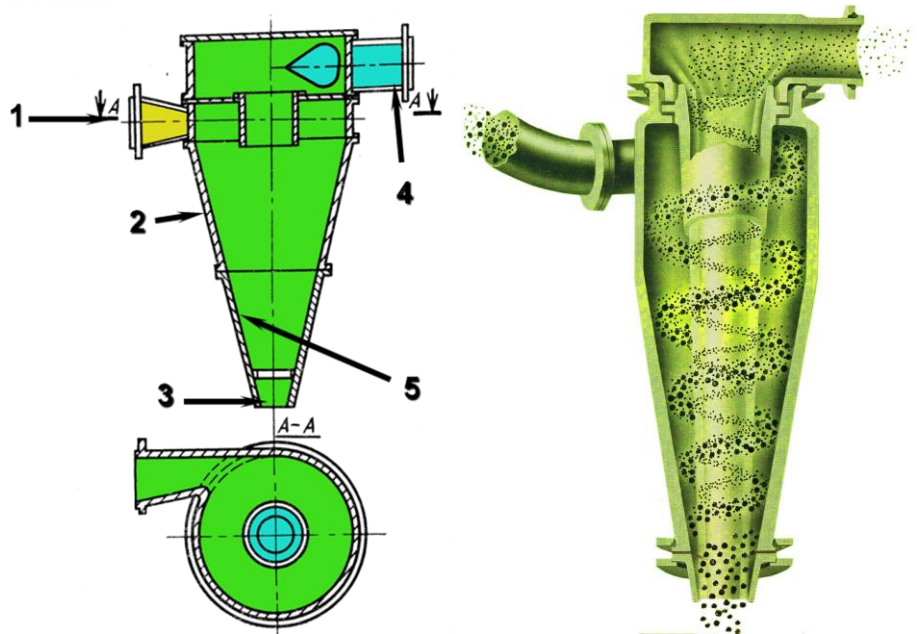


Рис. 2.2.1.5. Гидроциклон: 1 – подача питания; 2 – корпус; 3 – песковая насадка; 4 – сливной патрубок; 5 – футеровка

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 применяются для разделения на узкие классы крупности перед гравитационным обогащением на концентрационных столах. Гидравлические многокамерные классификаторы бывают 4-, 6- и 8-камерные.

Производительность четырехкамерного (рис. 2.2.1.6) гидравлического классификатора – 15-25 т/ч, крупность исходного материала не более 2 мм.

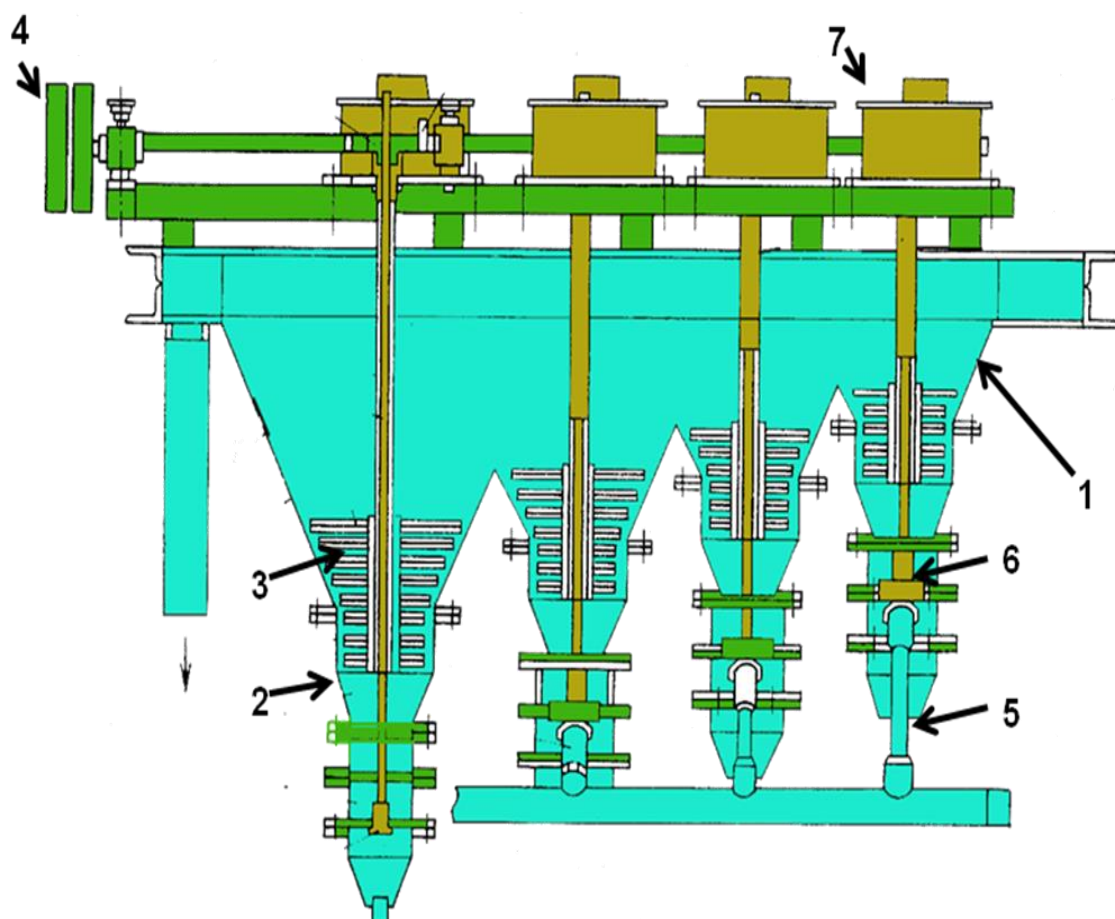


Рис. 2.2.1.6. Четырехкамерный гидравлический классификатор КГ-4: 1 – корпус; 2 – классифицирующие устройства; 3 – перемешивающее устройство (лопастные мешалки); 4 – привод мешалок и штока работы клапанов; 5 – камера тангенциального подвода воды; 6 – клапаны; 7 – редукторы для устройства подъема и опускания 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 дробленого полезного ископаемого определяется степенью раскрытия минералов. 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 по назначению подразделяются на:

- а) *подготовительные* перед процессами обогащения;
- б) *самостоятельные* с получением готового продукта, например, когда требуется измельченный продукт: шихта для коксования, строительные материалы;
- в) *избирательные*, которые совместно с грохочением являются операцией обогащения (например, если кусок руды состоит из сростка 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 10 (за исключением дробилок ударного действия при дроблении хрупких полезных ископаемых, степень дробления которых может достигать 30 или даже 100), поэтому дробление часто производят в несколько стадий.

Различают следующие **стадии дробления** по крупности кусков:

- *крупное*: от 300-1500 мм до дробления до 100-300 мм после;

- *среднее*: от 100-300 мм до дробления до 10-50 мм после;
- *мелкое*: от 10-50 мм до дробления до 2-10 мм после.

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

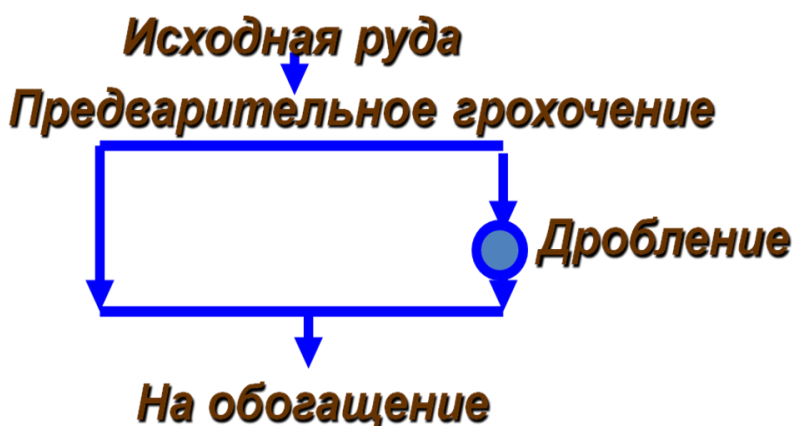
Степень дробления, достигаемая в каждой отдельной стадии, называется *частной*. Общая степень дробления равна произведению частных:

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

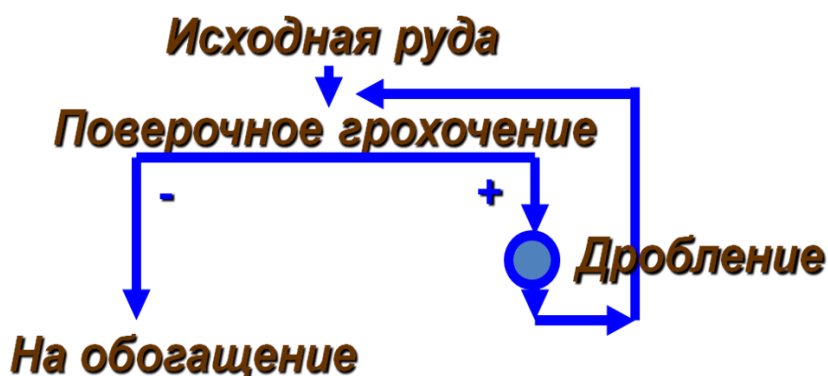
2.3.3. Схемы дробления

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. Схемы дробления разрабатывают с целью не допустить переизмельчение продукта и рационально использовать электроэнергию.

Дробление одностадийное в открытом цикле с грохотом



Дробление одностадийное в замкнутом цикле с грохотом



Дробление многостадийное

Примером схемы многостадийного дробления может быть схема двухстадийная, с предварительным грохочением в 1-й стадии и поверочным грохочением во 2-й стадии дробления в замкнутом цикле с грохотом:



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

2.3.4. Дробилки

Дробилки бывают щековые, конусные, валковые и ударного действия. *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. Все поверхности, которые соприкасаются с дробимым продуктом в дробилках любых конструкций, покрывают износоустойчивым материалом, например, из марганцовистой стали или закаленного чугуна.

2.3.4.1. Щековые дробилки

Применение

Щековые дробилки изготавливаются различных размеров в основном для среднего и крупного дробления для различных материалов по твердости. Например, щековая дробилка фирмы «Крупп» (рис. 2.3.4.1.1) с загрузочным отверстием 800×630 мм предназначена для дробления железосодержащей руды, имеет эффективную защиту от перегрузок. Ее пропускная способность – 150 т/ч при крупности 0-120 мм.

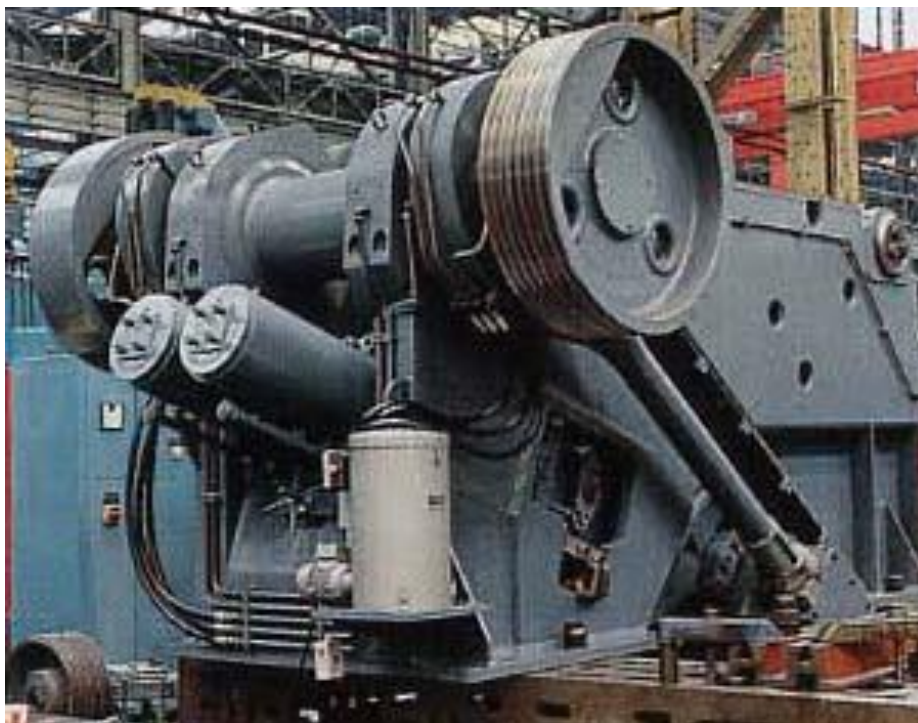


Рис. 2.3.4.1.1. Щековая дробилка фирмы «Крупп»

https://studopedia.ru/4_122041_shchekovie-drobilki.html

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

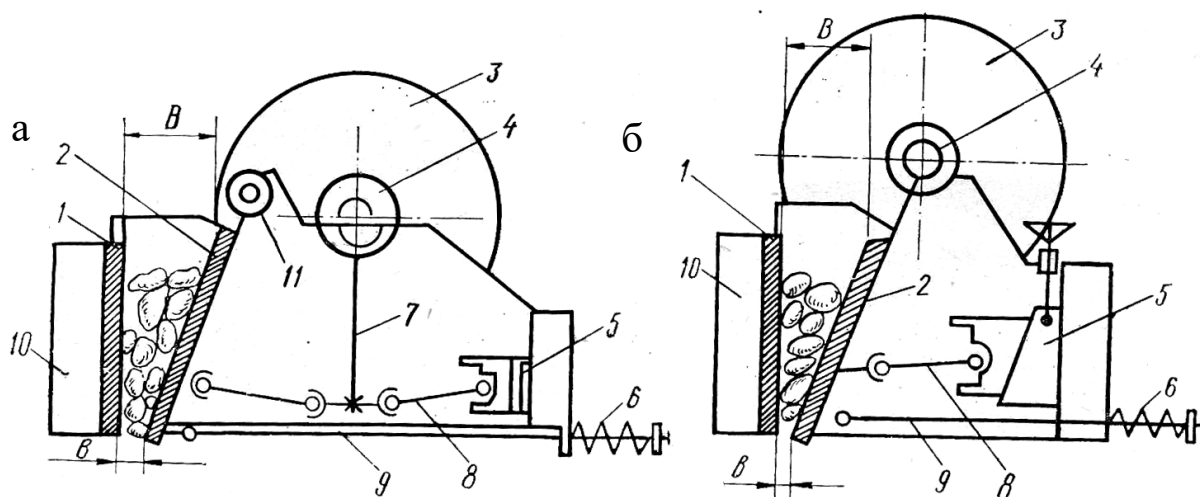


Рис. 2.3.4.1.2. Щековые дробилки с простым движением щеки (а) и со сложным движением щеки (б):

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, чтобы при чрезмерных нагрузках она ломалась, предотвращая поломку других частей установки.

Ширина выпускной щели (v) 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 движения щека описывает эллипсоидную траекторию. За счет этого происходит не только раздавливание, но и истирание дробимого материала.

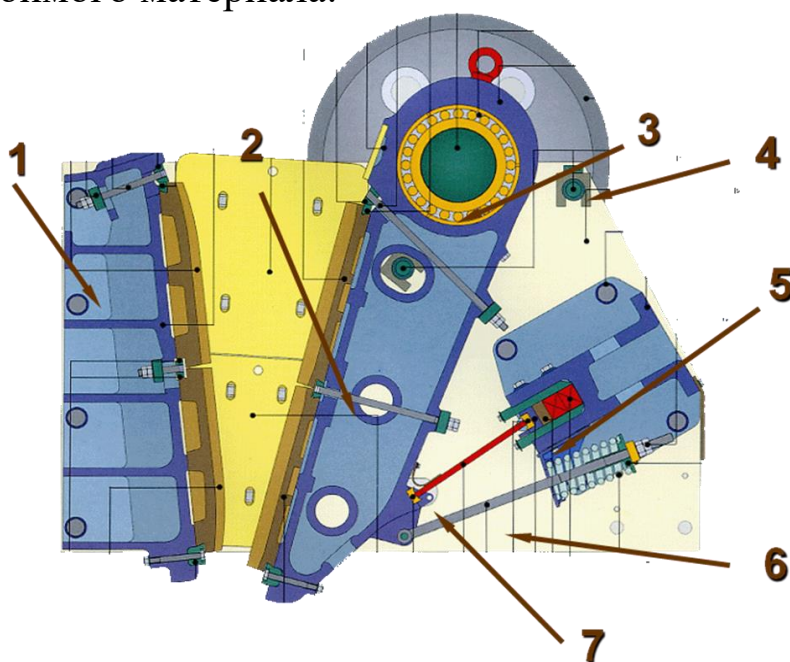
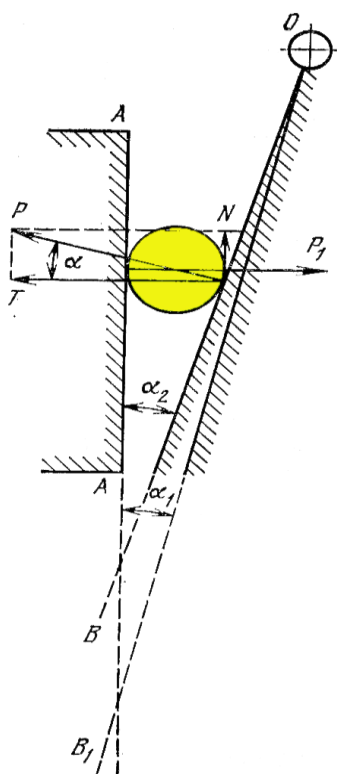


Рис. 2.3.4.1.3. Щековая дробилка со сложным движением щеки:
1 – неподвижная щека; 2 – подвижная щека; 3 – эксцентриковый вал; 4 – маховик; 5 – регулировочные клинья; 6 – тяга;
7 – распорная плита



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 сила реакции опоры N уравнивается с силой трения.

Расчетный угол α может достигать 35° . Практически угол захвата не превышает 25° , так как возможны выбросы кусков из дробилки из-за пространственного расположения кусков друг относительно друга, при котором угол захвата превышает 35° (рис. 2.3.4.1.4).

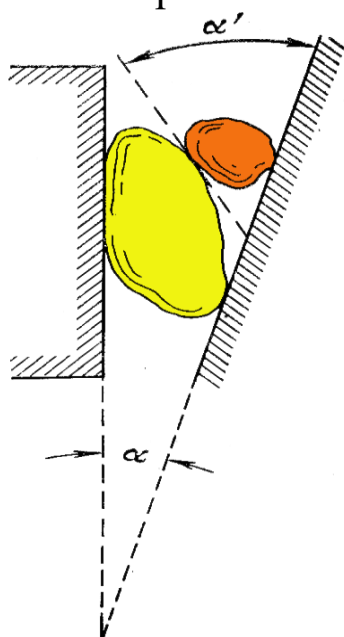


Рис. 2.3.4.1.4.
Вариант выброса
куска
из дробилки

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 изно-

соустойчивой стали или закаленного чугуна. Футеровочные плиты делают рифлеными, причем выступы на неподвижной щеке располагают против впадин на подвижной щеке. В этом случае кроме раздавливания достигаются еще и такие способы дробления, как излом и истирание.

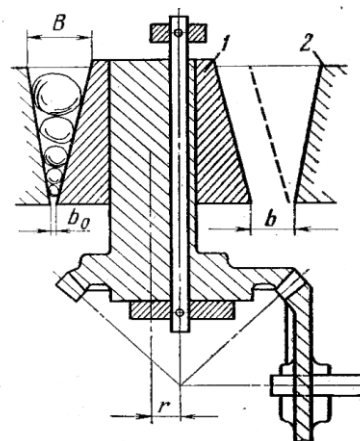
Производительность щековой дробилки зависит от частоты движения щеки, конструктивных особенностей рабочей камеры (длины, ширины, высоты), ширины загрузочной щели, плотности дробимого материала и степени его разрыхления в месте разгрузки.

Щековые дробилки просты по конструкции, не требуют большой высоты установки, пригодны для дробления глинистых пород. Недостатками их работы являются быстрое изнашивание сменных деталей, вибрация, необходимость установки фундамента и равномерной подачи нагрузки.

2.3.4.2. Конусные дробилки

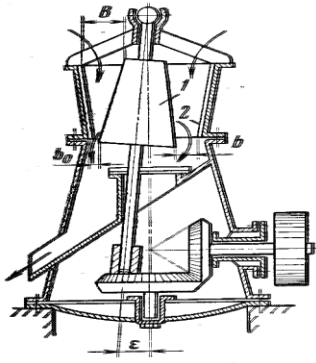


Конусные дробилки различаются между собой кинематикой движения рабочего конуса, способом его опирания, приводным механизмом, способом разгрузки дробленого материала и способом передачи дробящего усилия.



Дробилка
Телсмит

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
ККД МРЩ

Дробилки с подвижным валом типа конусной дробилки для крупного дробления с механическим регулированием щели (ККД МРЩ) и конусной дробилки для крупного дробления с гидравлическим регулированием размера щели (ККД ГРЩ) за рубежом называют *гирационными*. Они применяются для крупного дробления. В дробилках типа ККД ГРЩ предусмотрено гидравлическое регулирование (в случае увеличения размера щели за счет износа футеровки).

Конусные дробилки для среднего (КСД) и мелкого дробления (КМД), а также вибрационные, безэксцентриковые (КИД) предназначены для мелкого и особо мелкого дробления.

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

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

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 помещен колпак, покрывающий подшипник главного вала (3). Ось главного вала отклонена от вертикали на малый угол и описывает коническую поверхность. Верхний конец вала через накрученную на него гайку (4) соединен с втулкой (5), которая перекачивается по неподвижному кольцу (6). Сточенная 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) с конической шестерней (10), находящейся в зацеплении с малой шестерней (11), которая сидит на горизонтальном валу (12), приводимом во вращение 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).

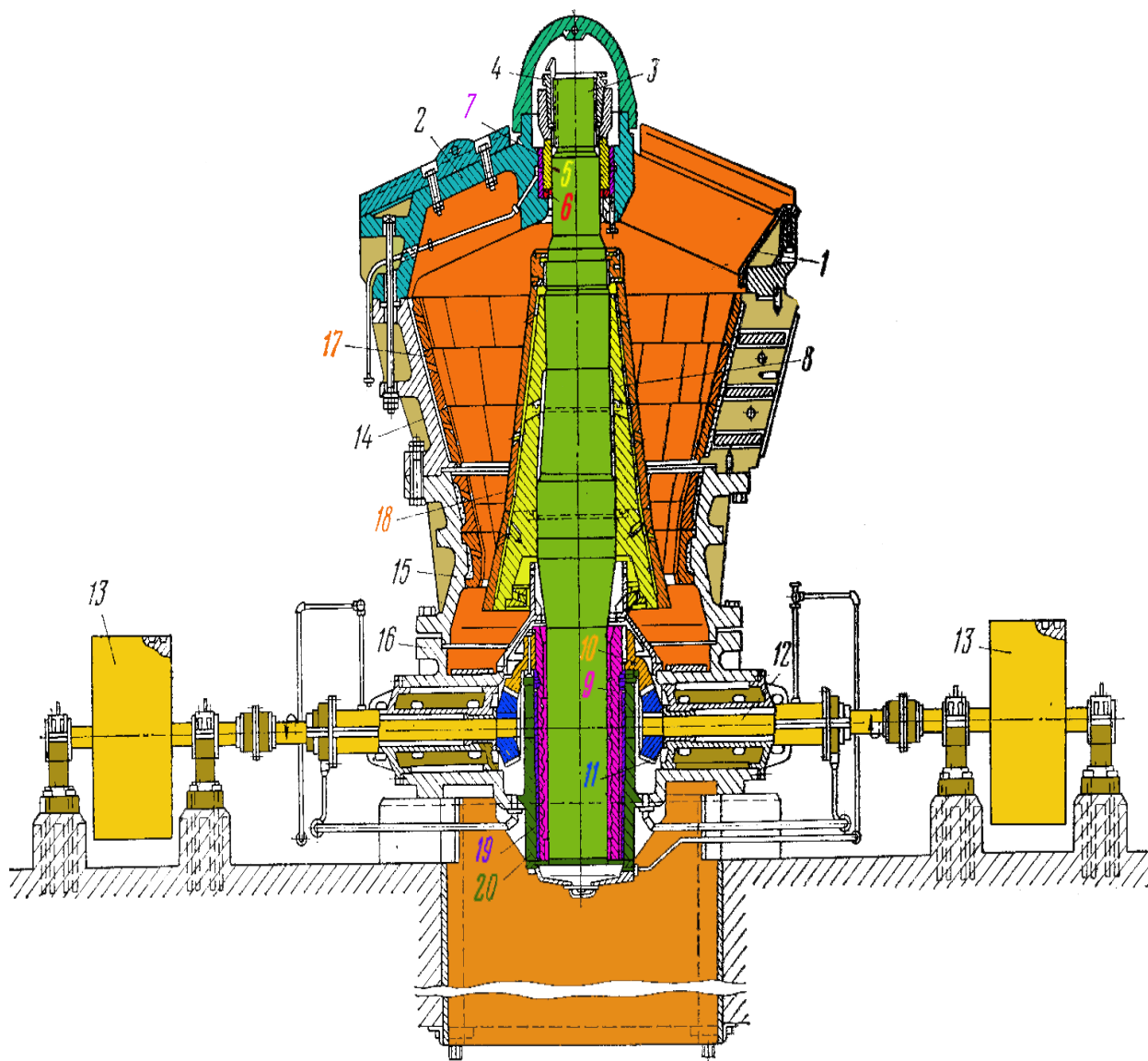


Рис. . 2.3.4.2.1. Конусная дробилка ККД МРЩ для крупного дробления с механическим регулированием щели:

- 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

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 внешнего и внутреннего конусов 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. Щель увеличивается в процессе работы дробилки за счет износа футеровки. Подтягивая гайку, приподнимают конус, и щель уменьшается. Таким образом осуществляется механический способ регулирования ширины выходной щели.

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 вычисляют по формуле

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

где n – частота качаний дробящего конуса; k – коэффициент, учитывающий крупность, твердость, влажность; δ – 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, требование больших габаритов по высоте при установке.

Применение

Дробилки конусные среднего и мелко-го дробления (рис. 2.3.4.2.2) применяются в горно-рудной промышленности для дробления твердых руд и руд средней твердости на второй и последующих стадиях дробления.

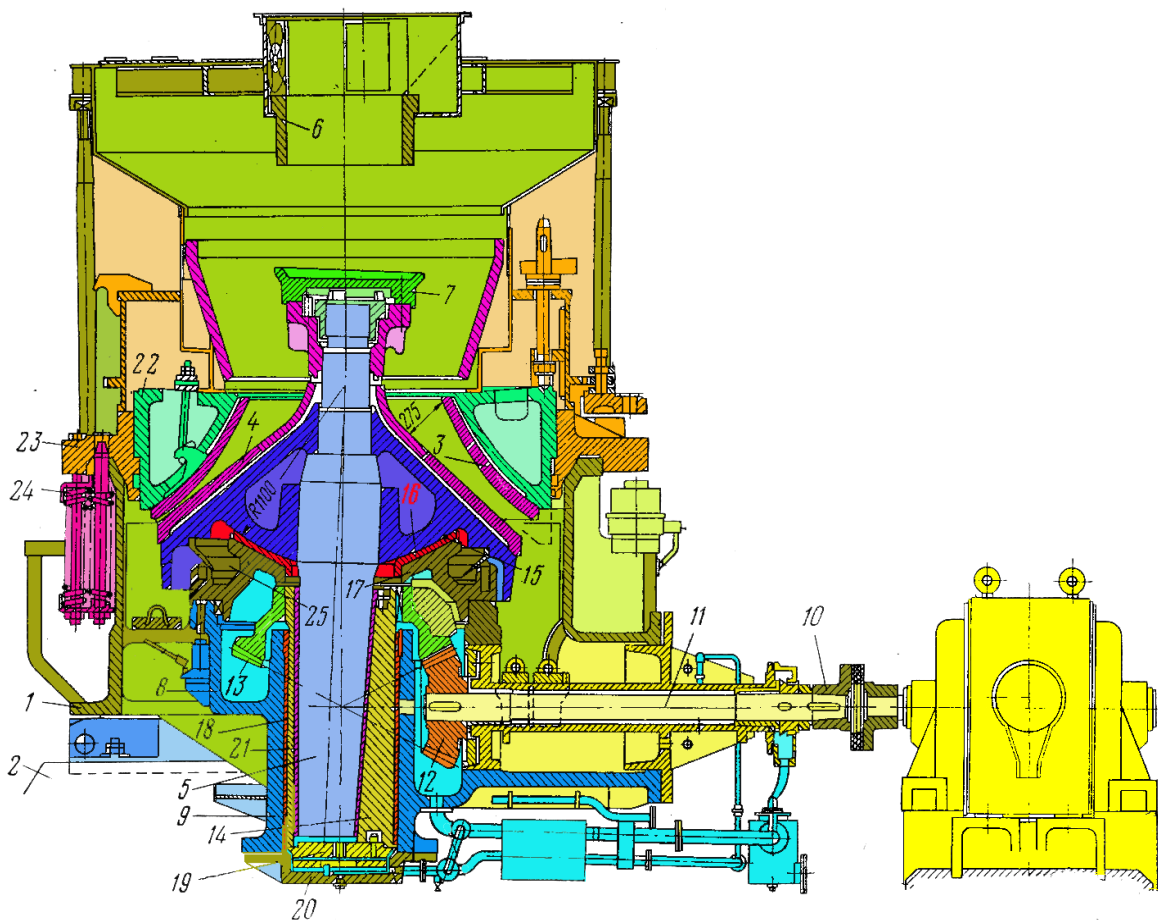


Рис. 2.3.4.2.2. Конусные дробилки для мелкого дробления:
 1 – станина; 2 – фундамент; 3 – неподвижный конус (чаша); 4 – подвижный конус; 5 – главный вал; 6 – загрузочная коробка; 7 – распределительная тарелка; 8 – картер; 9 – центральная втулка; 10 – муфта; 11 – приводной вал; 12, 13 – конические зубчатые 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

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.

Хвостовик (5) главного вала опущен в коническую расточку эксцентрикового стакана (рис. 2.3.4.2.3) со смещенной осью (приблизительно 2°) к вертикальной оси дробилки, поэтому при вращении эксцентрика ось вала описывает коническую поверхность.



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

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).

В массивную центральную втулку (9) впрессована тонкостенная бронзовая втулка (18), внутри которой 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 которую входит хвостовик вала.

При повороте регулировочного кольца (22) и его перемещении по высоте относительно опорного кольца (23) достигается необхо-

димая ширина выходной щели b_0 (рис. 2.3.4.2.4).

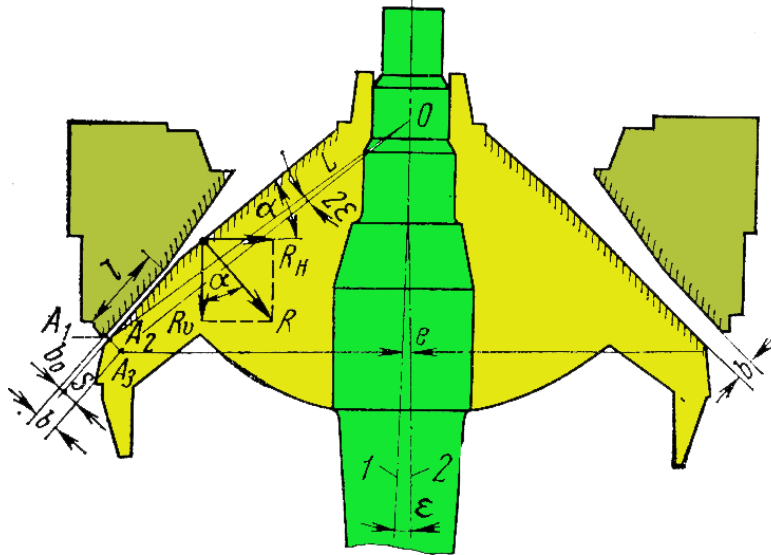


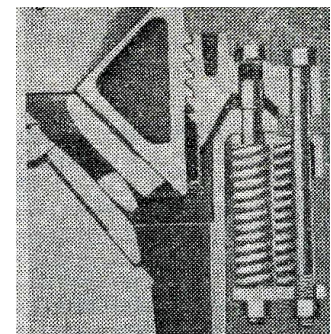
Рис. 2.3.4.2.4. Профиль дробящей зоны:

b_0 – ширина выходной щели; b – ширина разгрузочной щели;
 ϵ – эксцентриситет; ход конуса $S = b - b_0$



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 недробимый предмет проходит через дробилку. Если предмет велик, то конус заклинивается и срабатывает электрическая система защиты. Дробилка останавливается.



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 дро-

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

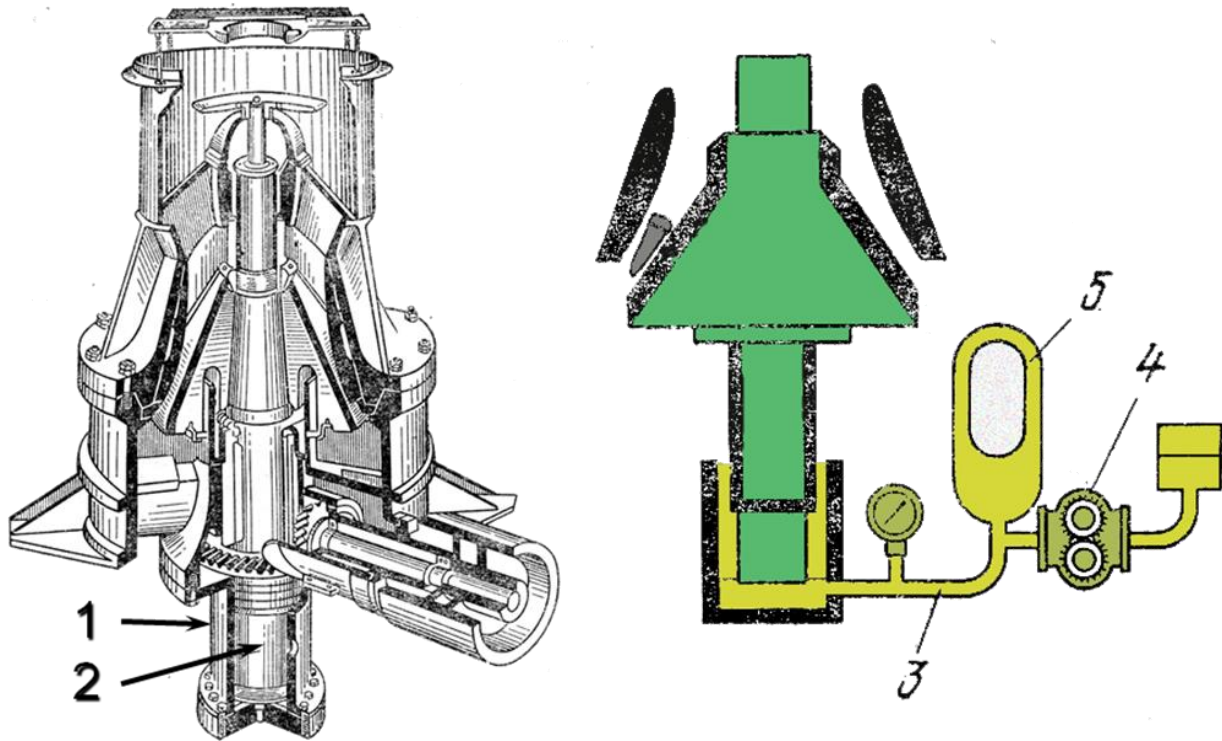


Рис. 2.3.4.2.5. Принцип действия гидравлического домкрата:

1 – цилиндр гидравлического домкрата; 2 – плунжер;
3 – маслопровод; 4 – масляный насос; 5 – газовый аккумулятор

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 требу-

ют *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 приемного отверстия.

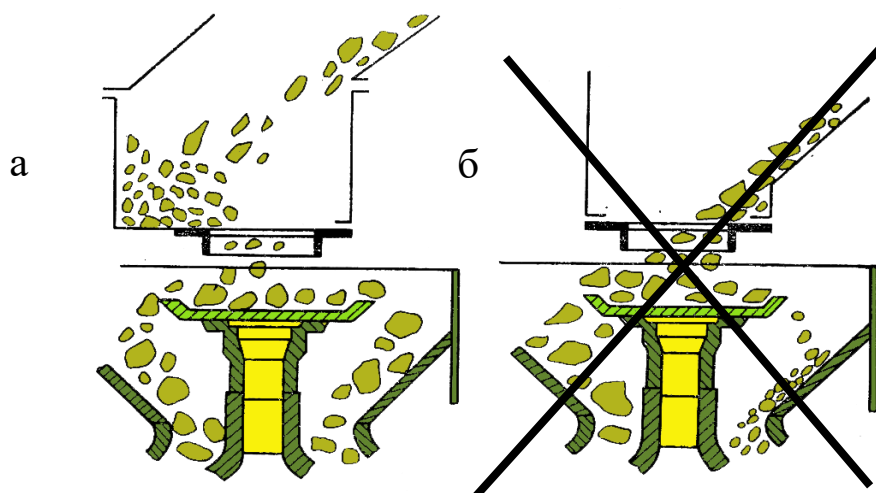


Рис. 2.3.4.2.6. Подача дробимого материала:
а – правильно; б – неправильно

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 подвешен 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

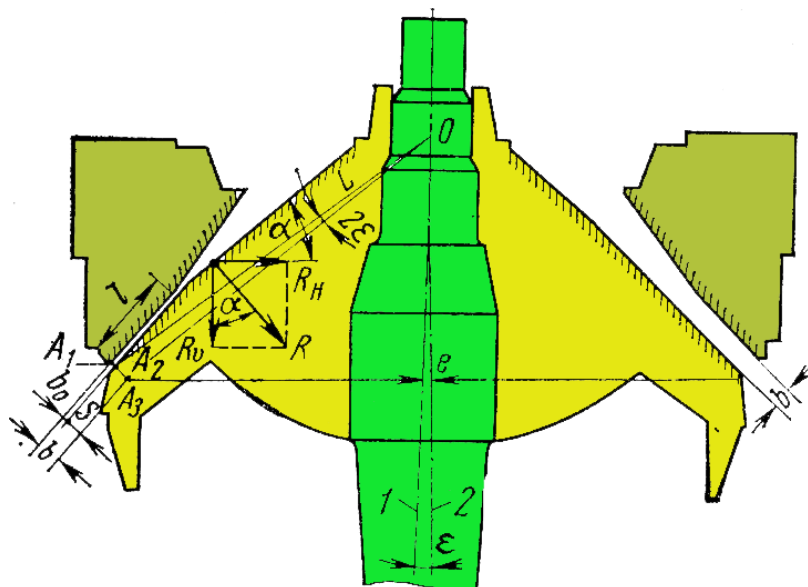


Рис. 2.3.4.2.8. Длина параллельной зоны l

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 металлоуловителя.

<http://forpsk.ru/index.php/stati/oborudovanie/141>

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.

Применение Валковые дробилки с гладкими валками ДДГ предназначены для среднего и мелкого дробления твердых полезных ископаемых, в том случае, когда недопустимо их переизмельчение. 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. Валки двухвалковой дробилки вращаются обычно навстречу друг другу. Каждый валок имеет свой привод.



Подлежащий дроблению продукт из бункера попадает между валками, захватывается и подвергается разрушению.

Современные конструкции имеют валки с высокоизносостойкой бронированной футе-

ровкой. Например, фирмой MBE разработаны покрытия с применением съемных штифтов. Недостаток покрытий валковых дробилок – 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 высокоабразивных материалов.

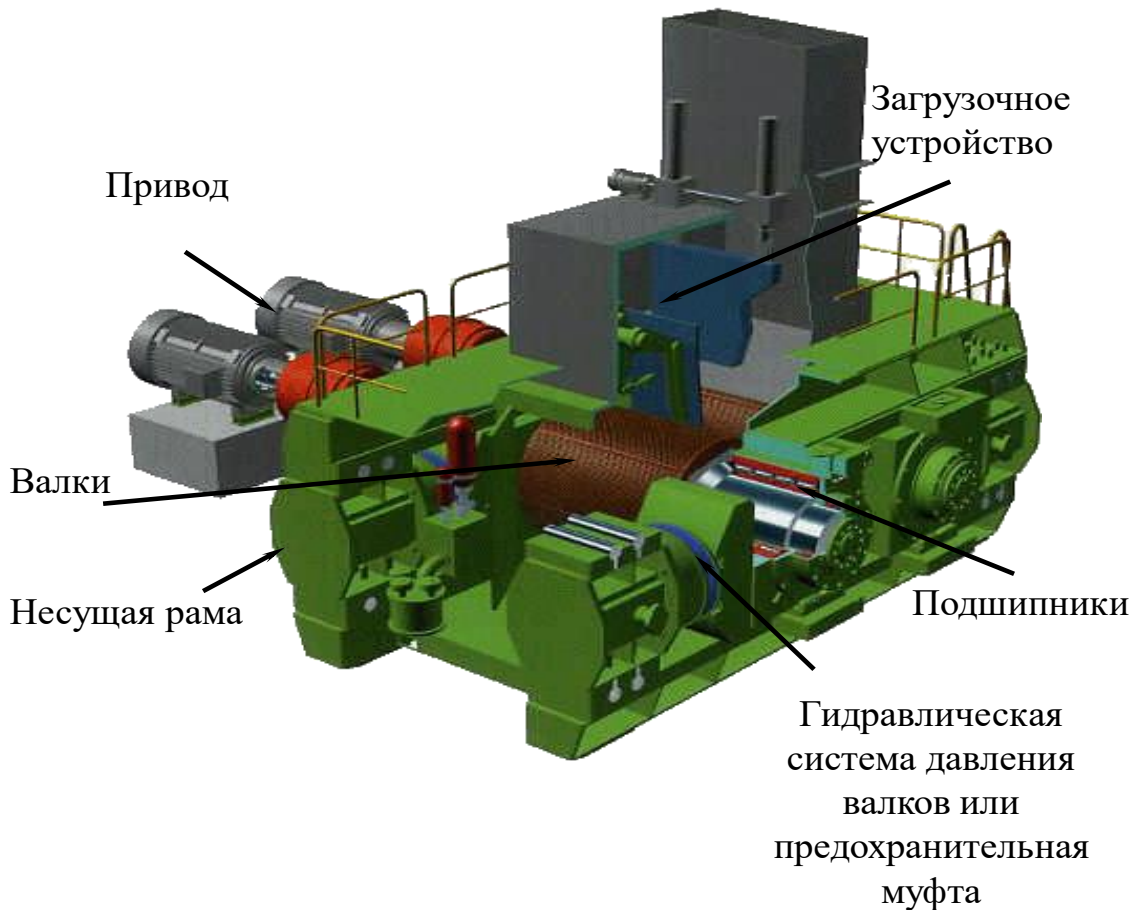
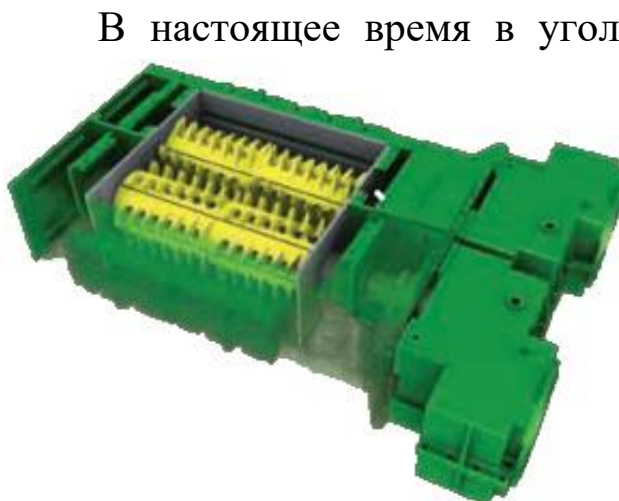


Рис. 2.3.4.3.1. Роллер-пресс



В настоящее время в угольной промышленности завоевали популярность дробилки, производимые группой компаний MMD – «Mining Machinery Developments Limited» (North Somercotes, Великобритания).

Конструкция дробилки использует три основные взаимосвязанные принципа при дроблении материала по технологии ММД: три стадии дробления,

эффект сортировки материала и принцип спирального расположения зубьев.

https://www.mmdsizers.com/images/brochure/RU_MMD_Products_and_Applications_Brochure_v8-1-Online.pdf

В дробилке MMD осуществляются три стадии дробления: захват – 1, деформация – 2, разрушение – 3.



При дроблении материала по технологии ММД осуществляется эффект сортировки материала по размерам, так как переплетение зубьев ротора позволяет свободно просеиваться нижнему продукту дробления через постоянно появляющиеся щели.

Спиральное расположение зубьев заставляет двигаться более крупные куски вдоль ротора дробилки. При этом дробимый продукт распределяется по всей длине роторов, а также из дробилки удаляются куски, превышающие допустимые размеры.



Футеровка имеет съемные зубья. Смена зубьев в результате их износа проводится гораздо проще, чем смена футеровки, которая представляет собой бандаж. Футеровки валковых дробилок других производителей могут быть различными. Наиболее распространенная форма зубьев – копьевидная и вида ястребиного клюва. Зубья имеют высоту 30-110 мм.

Валковые дробилки любого типа 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.

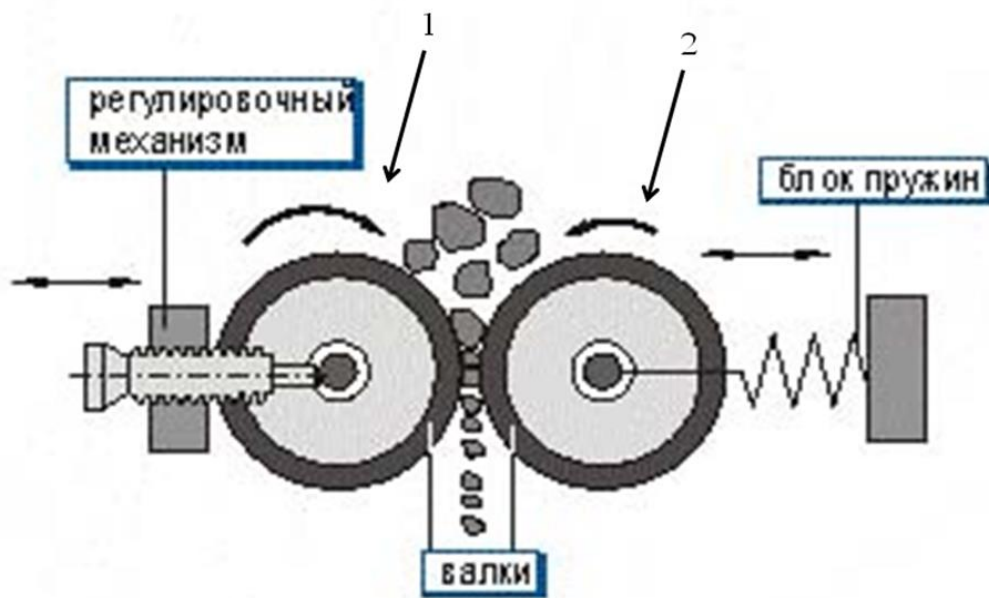
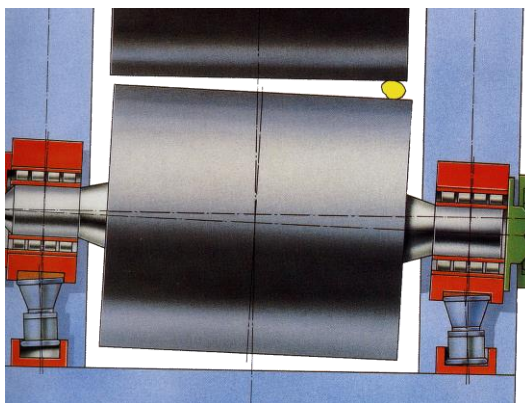


Рис. 2.3.4.3.2. Схема защитного устройства от попадания недробимого предмета:

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 недробленого

продукта в зону разгрузки. Если недробимый предмет велик, то предохранительная муфта на приводном валу отключает привод и дробилка останавливается.

Основное преимущество валковых дробилок в том, что они не переизмельчают материал, так как не соприкасаются друг с другом, поэтому 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

$$Q = 60kn\delta V (\text{т/ч}),$$

где n – частота вращения валков, мин^{-1} ; δ – плотность; k – коэффициент разрыхления дробимого материала в момент разгрузки,

$$V = \pi dlb,$$

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 их также можно причислить к мельницам ударного типа.

<http://forpsk.ru/index.php/stati/oborudovanie/173>

Применение

Применяют в основном для среднего и мелкого дробления и измельчения материалов низкой и средней прочности: угли, известняки, гипс, мел, барит, каменные соли. Однако есть дробилки ударного действия, которые предназначены для дробления крупных кусков, (двухроторные 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 производительность, простота конструкции, удобство обслуживания, низкий расход энергии, возможность дробления глинистых материалов. Недостатки: высокий износ деталей в случае переработки абразивных руд, необходимость 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 или между 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.

Классификация

 Молотковые дробилки (рис. 2.3.4.4.1) бывают 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 30-35 мм при производительности 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.

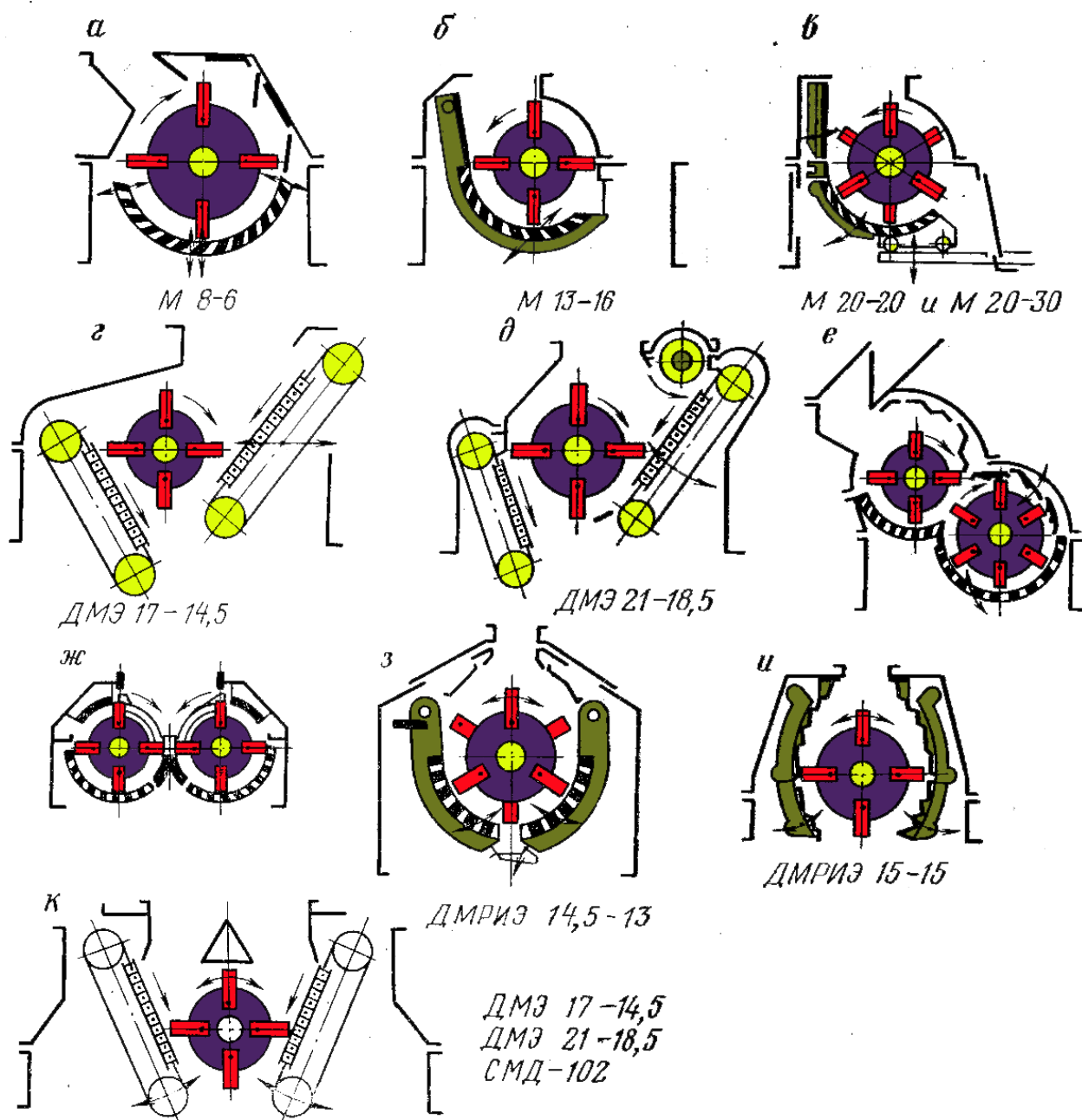


Рис. 2.3.4.4.1. Классификация молотковых дробилок:
 а-в – однороторные нереверсивные с колосниковыми решетками;
 г-д – то же, без решеток; е-ж – двухроторные с решетками;
 е – последовательного; ж – параллельного дробления;
 з – однороторная реверсивная с решеткой; и-к – то же, без решеток;
 г, д, к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

Молотковые дробилки бывают 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 производятся 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).

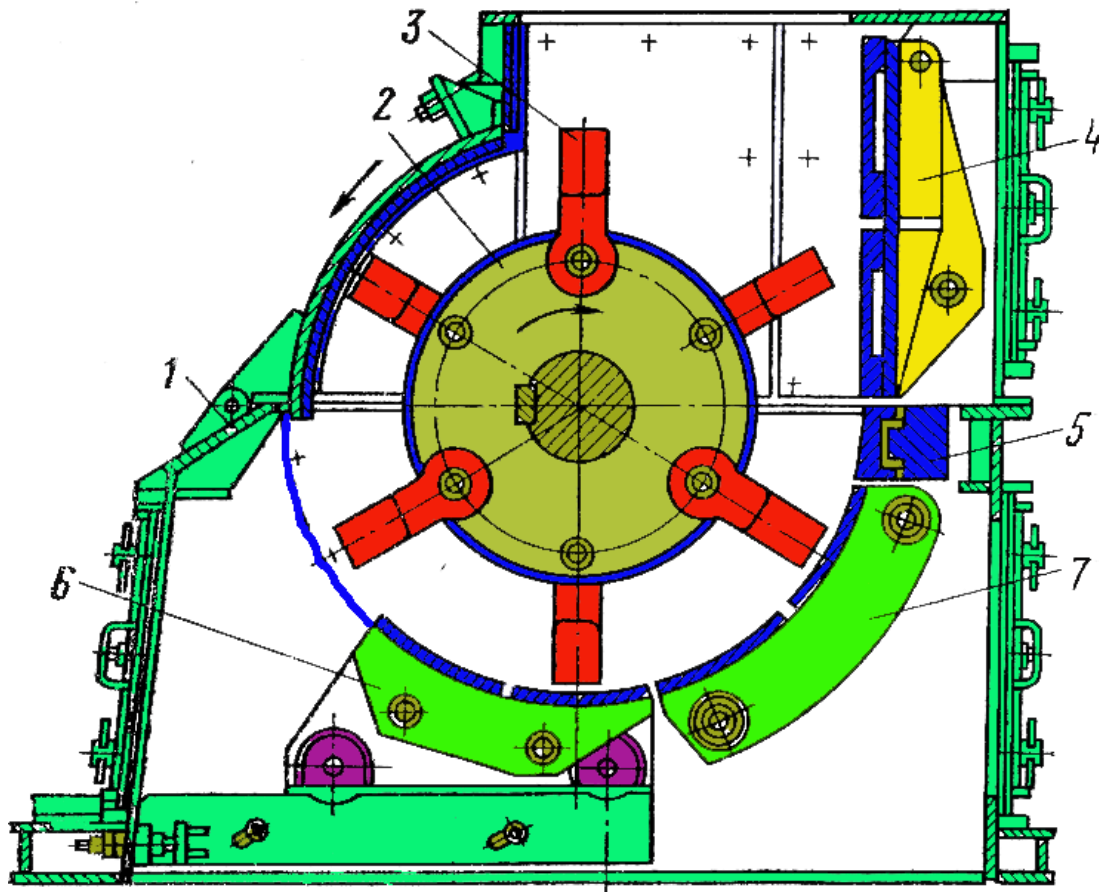


Рис. 2.3.4.4.2. Однороторная молотковая дробилка М 20-20 с диаметром и длиной ротора 2000 мм×2000 мм:

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

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°) по окружности, описываемой молотками, расположена колосниковая решетка, состоящая из двух секций: поворотной и выдвигной. С помощью поворотной секции (7) можно регулировочным болтом изменять ширину зазора между молотками и решеткой, а выдвигную секцию (6) поднимать или опускать. Выдвигную 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.

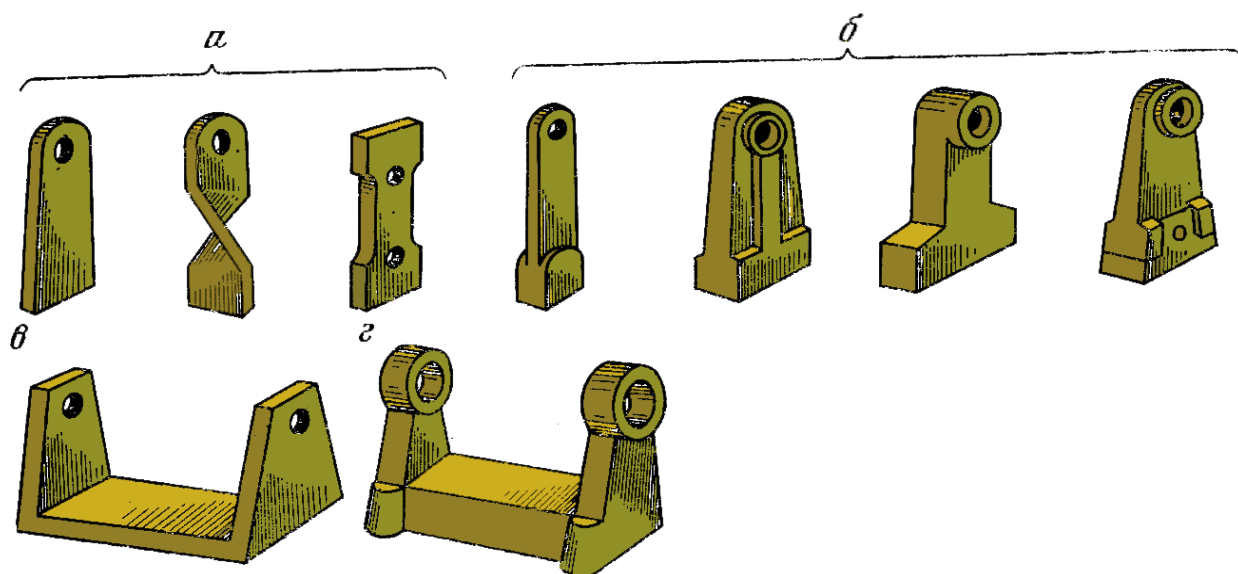


Рис. 2.3.4.4.3. Различные типы молотков:

а – колосникового типа; б – бандажного типа;

в – 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 молотки усиленной конструкции (г) применяются для дробления твердых минералов. Однако при неравномерном износе таких молотков

нарушается уравновешенность ротора. Делают молотки из марганцевистой стали. Некоторые молотки имеют два отверстия и после износа нижней части переворачиваются вверх ногами (рис. 2.3.4.4.3 а, третий молоток). Молотки производят массой от 1 кг до 135 кг.

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

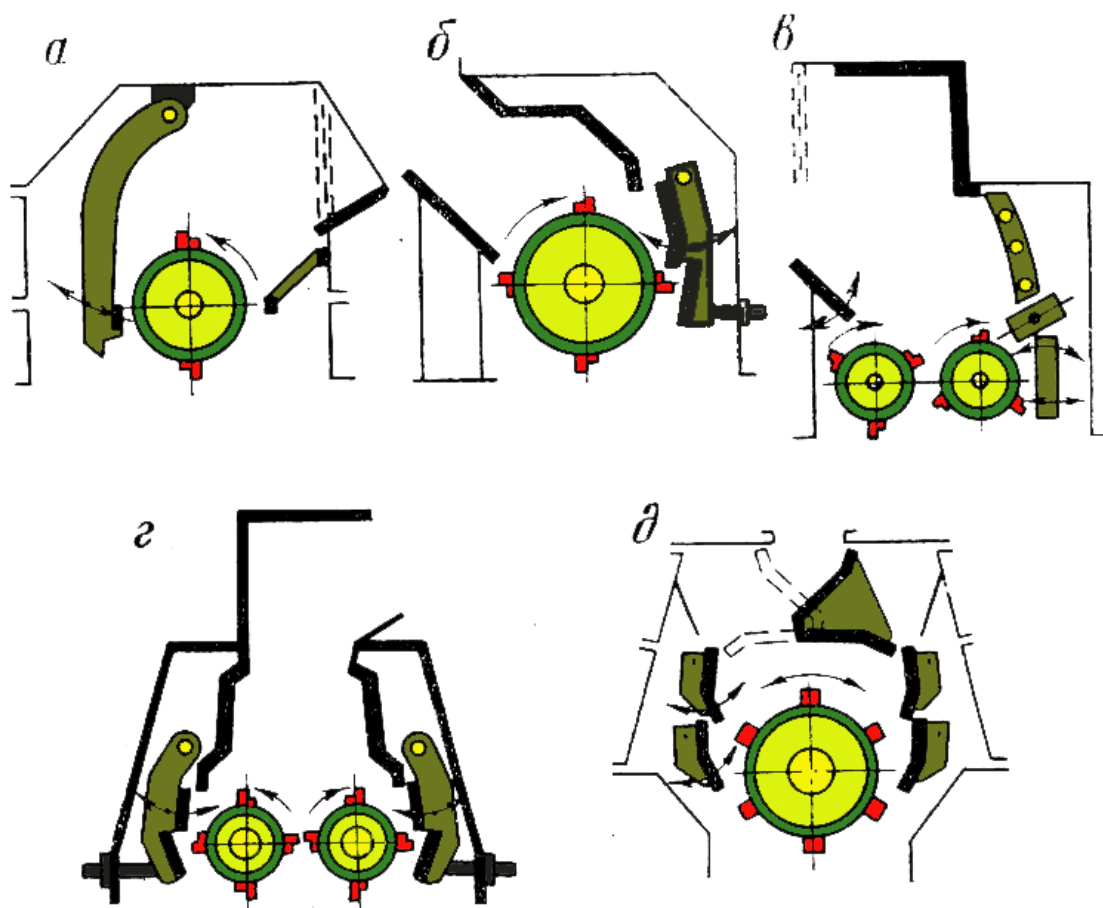


Рис. 2.3.4.4.4. Классификация роторных дробилок:
а – однороторная нереверсивная с колосниковой решеткой;
б – однороторная нереверсивная без решетки; в – двухроторная с решеткой; г – двухроторная без решетки;
д – однороторная реверсивная

Принцип действия тот же, что и у молотковых, но удары более мощные за счет того, что вместо шарнирно навешанных молотков они дробят минералы жестко закрепленными 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, но они также применимы 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 – билов, особенно при дроблении абразивных материалов.

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

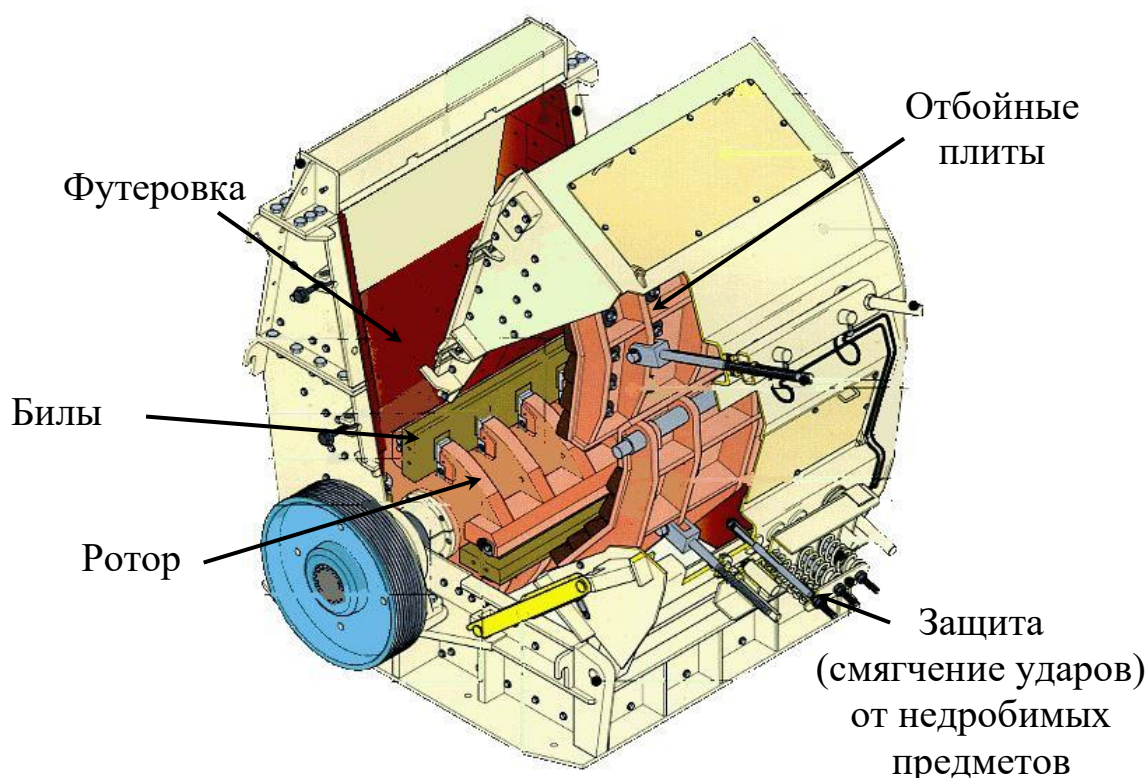


Рис. 2.3.4.4.5. Однороторная дробилка NP-1315 Nordberg NW (Metso Minerals)

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

Ширина разгрузочного отверстия регулируется сменой поло-

жения 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-



но-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, которая нарушается из-за износа молотков, бил. На дробящих телах заварку трещин производить нельзя, т. к. нарушается балансировка. В этом случае необходимо заменять дробящие тела. Дробилки требуют равномерной загрузки по ширине приемного отверстия и по времени. Обычно дробилки ударного типа все же работают при пониженных степенях дробления, около 10, т. к. повышение степени дробления уменьшает производительность дробилки. Дробилки следует устанавливать на фундаментах с достаточной массой, чтобы компенсировать вибрации, возникающие при дроблении. Перед дробилками должны быть установлены уловители недробимых металлических предметов.

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

Применение

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. Они насажены на валы (1,11) электродвигателей (9,10). Корзины представляют собой ступицы (3,4), на

которых укреплены диски (5,8) с несколькими рядами concentрично 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, установки магнитных уловителей металла, а также то, что дробящие детали дезинтегратора в процессе работы сильно изнашиваются.

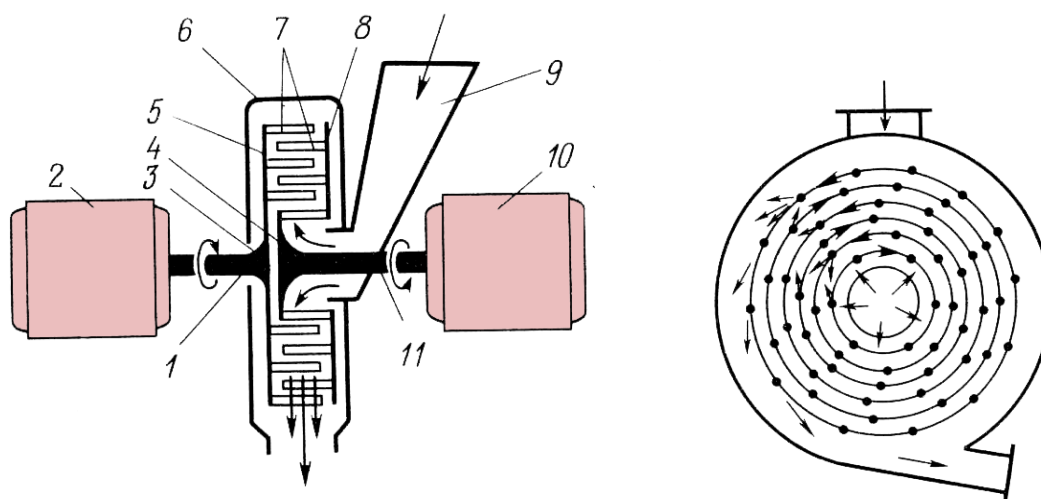


Рис. 2.3.4.4.6. Дезинтегратор:

- 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.
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?

7. Какие назначения операций дробления вы знаете?

8. Что такое степень дробления?

9. Какие стадии дробления вы знаете?

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

11. Какие схемы дробления вам известны?

12. Какие аппараты-дробилки вы знаете?

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

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

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

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

19. Назовите известные типы молотковых дробилок.

20. 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).

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.

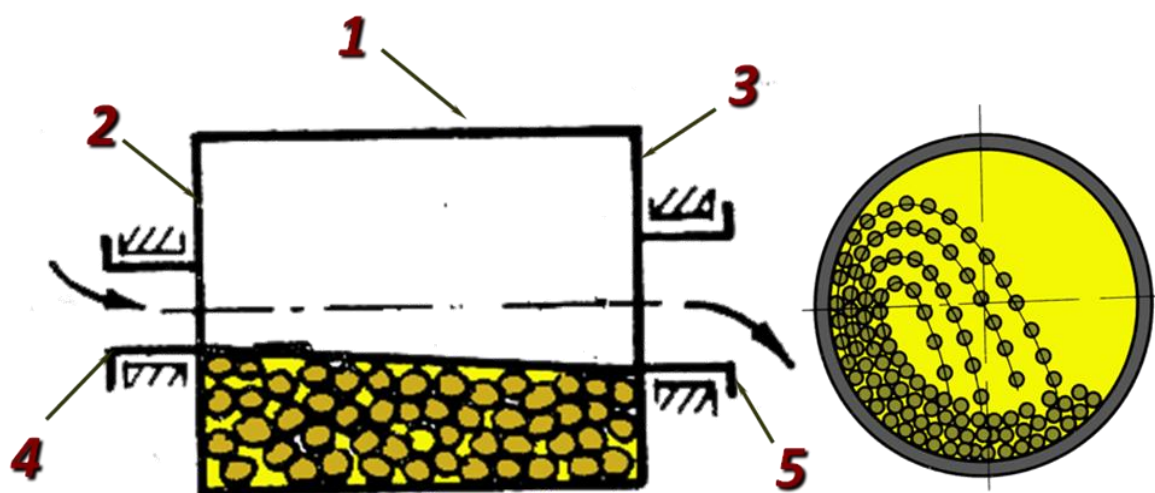


Рис. 2.4.1. Барабанная мельница:
1 – пустотелый барабан; 2, 3 – торцевые крышки;
4, 5 – полые цапфы

Классификация

В зависимости от вида дробящей среды различают *мельницы с мелющими телами*: шаровые, стержневые, галечные, самоизмельчения, полусамозмельчения; *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, роliko-кольцевые, чашевые, дисковые*.

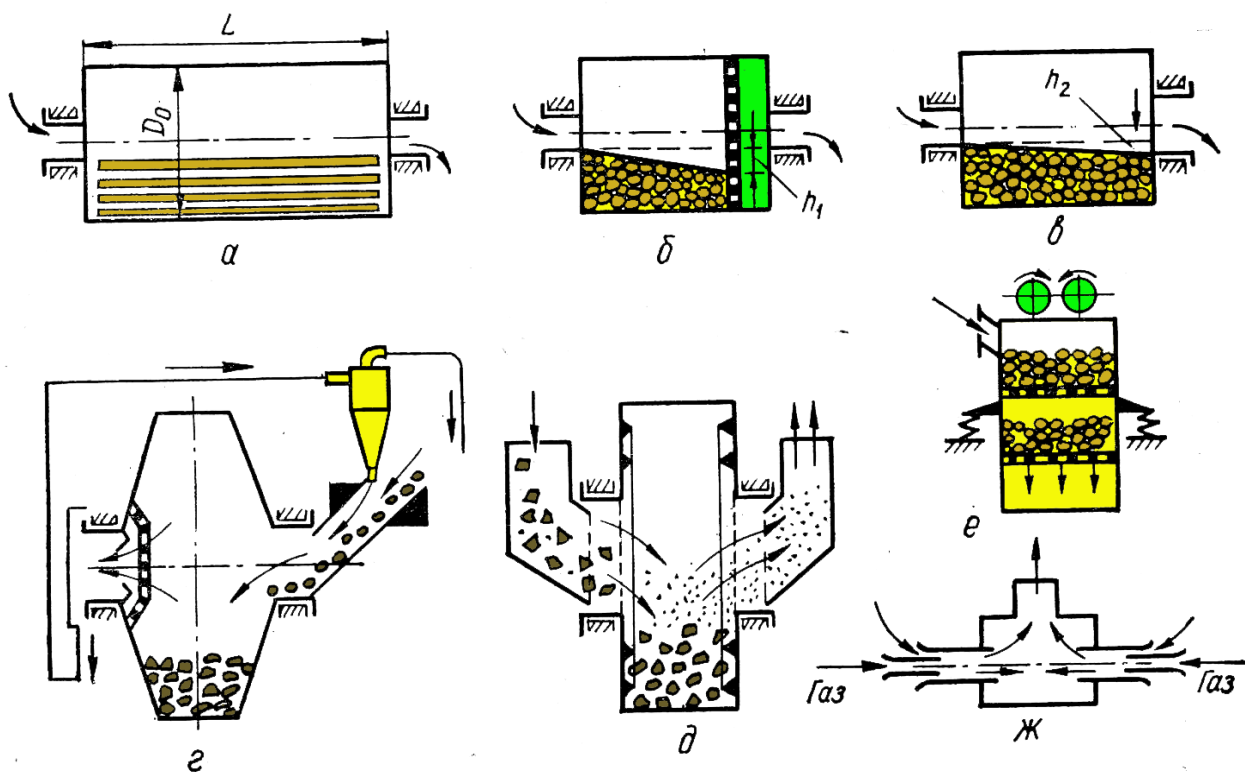


Рис. 2.4.2. Барабанные мельницы непрерывного действия: а – стержневая мельница; б, в – шаровые с удалением продуктов через решетку и с центральной разгрузкой; г, д – мельницы для мокрого и сухого самоизмельчения; е – вибрационная мельница с шаровой загрузкой; ж – струйная мельница

2.4.1. Барабанные мельницы

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

По способу разгрузки мельницы бывают *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 (МШЦ)

Применение

(рис. 2.4.1.1) применяется для измельчения дробленой руды крупностью 30-5 мм и продуктов обо-

гащения 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.

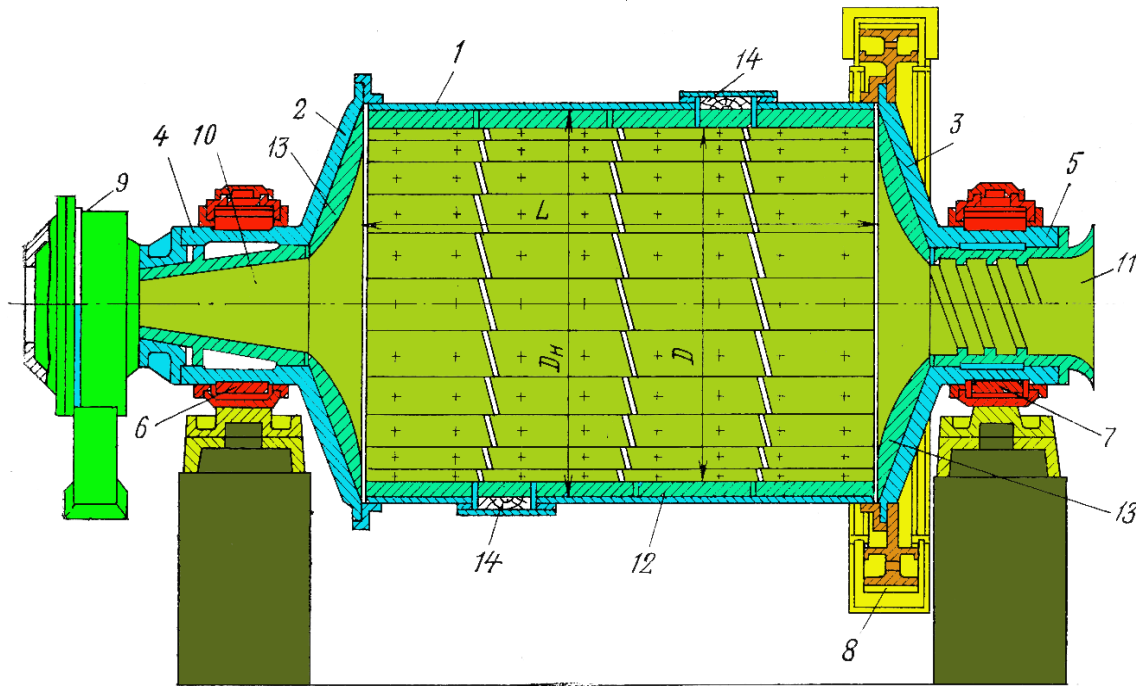


Рис. 2.4.1.1. Шаровая мельница с центральной разгрузкой:
 1 – барабан; 2 – загрузочная крышка; 3 – разгрузочная крышка;
 4, 5 – цапфы; 6, 7 – подшипники; 8 – венцовая шестерня;
 9 – комбинированный питатель; 10, 11 – защитные загрузочные
 и разгрузочные втулки; 12 – футеровка цилиндрической части
 барабана; 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 цапфах, за счет большого диаметра разгрузочной цапфы. Таким образом, раз-

грузка пульпы происходит путем свободного слива через отверстие в разгрузочной цапфе. Тонкий помол в мельницах достигается за счет их медленного 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), в некоторых случаях при смене футеровки приходится снимать торцевую крышку.

Шаровая мельница с разгрузкой через решетку (МШР) имеет конструкцию и принцип действия (рис. 2.4.1.2), во многом похожие на МШЦ, но имеются и отличия.

В месте разгрузки эта мельница имеет решетку (15). Со стороны разгрузочной торцевой крышки решетка имеет радиальные ребра-лифтеры (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

Применение

 переизмельчения. Грубому помолу (40-60 % класса 0,074 мм) способствует быстрое вращения мельницы. Шаровые мельницы с разгрузкой через решетку применяются на первой стадии измельчения или на второй после стержневых мельниц.

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 (диаметр 4500 мм, длина барабана 6000 мм).

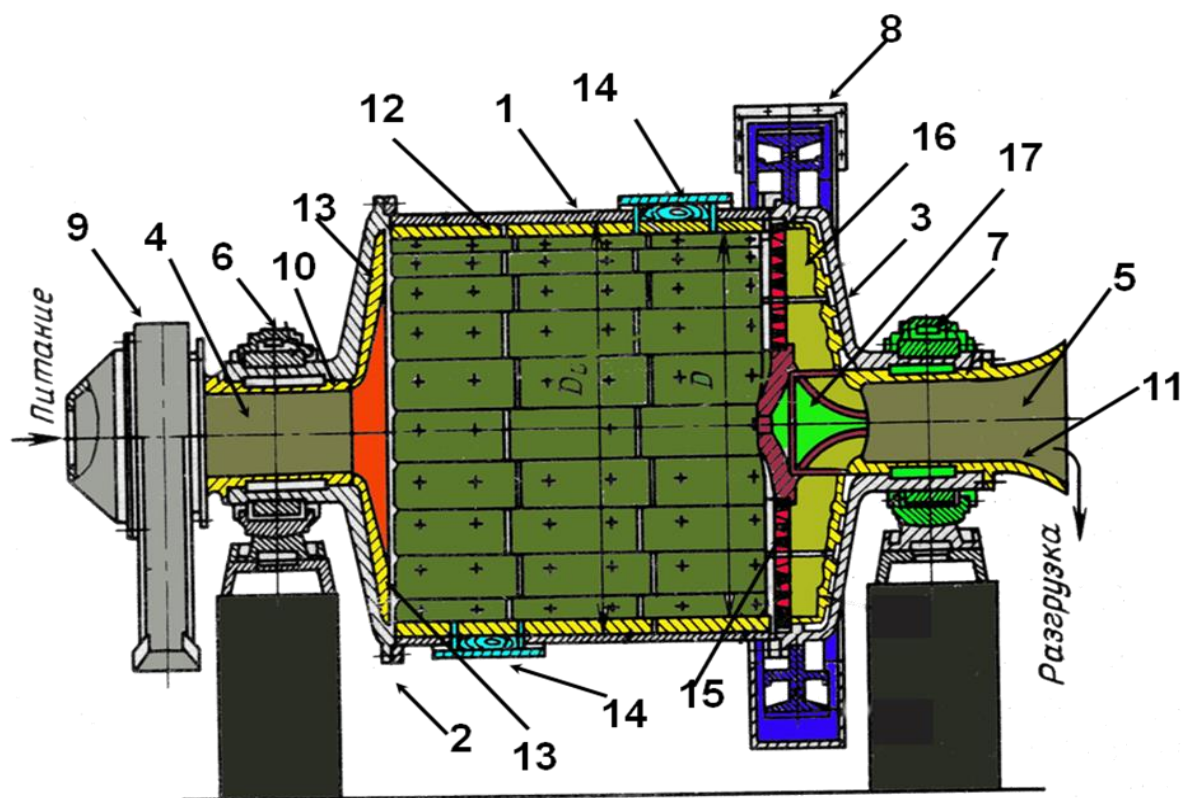


Рис. 2.4.1.2. Шаровая мельница с разгрузкой через решетку:
 1 – барабан; 2 – загрузочная крышка; 3 – разгрузочная крышка;
 4, 5 – цапфы; 6, 7 – подшипники; 8 – венцовая шестерня;
 9 – комбинированный питатель; 10, 11 – защитные загрузочные
 и разгрузочные втулки; 12 – футеровка цилиндрической части
 барабана; 13 – футеровка крышки барабана; 14 – люк;
 15 – разгрузочная решетка; 16 – элеваторный пульпоподъемник;
 17 – разгрузочный конус

Стержневая мельница. 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 ее прохождения. Разгрузочные горловины диаметром 1200 мм и более позволяют проникать через них внутрь барабана для осмотра и смены футеровки.

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

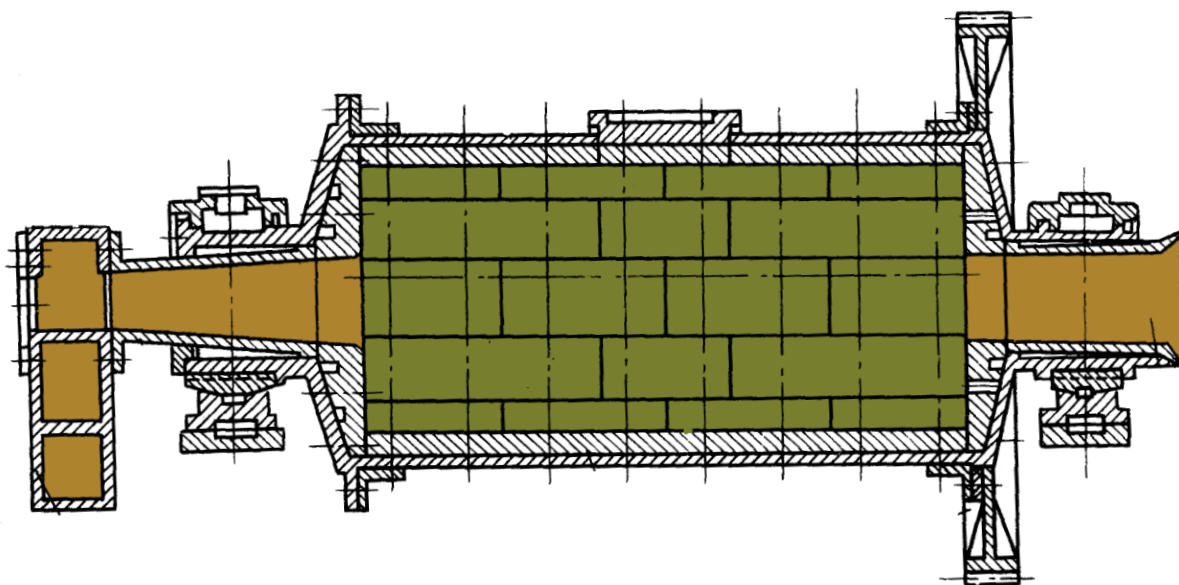


Рис. 2.4.1.3. Стержневая мельница

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 стержней 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.

Стержневые мельницы применяются для грубого помола на

Применение

 первой стадии мокрого измельчения до 0,2-0,4 мм, для мелкого дробления перед шаровыми мельницами. Оптимальная крупность кусков питания мельницы 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. Дробящие тела – окатанная речная галька диаметром 20-150 мм. Вследствие малой плотности нагрузки их объем для той же мощности привода можно делать большим до габаритов 6,0×12,5 м.

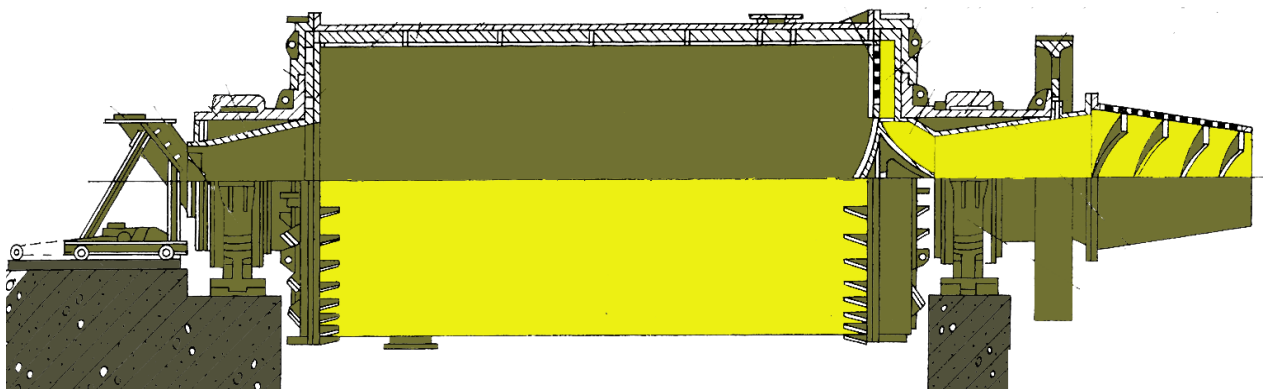


Рис. 2.4.1.4. Рудно-галечная мельница

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.

Применение

с железом, после мельницы самоизмельчения во

Мельницы самоизмельчения и полусамоизмельчения. В мельницах самоизмельчения и полусамоизмельчения в качестве дробящей среды используют крупные куски этой же руды. Применяются для измельчения руд в случае недопустимости контакта с металлом.

Применение

ности контакта с металлом.

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

Рудным полусамоизмельчением называют измельчение руды в мельницах в ситуации, когда при недостатке больших кусков приходится добавлять стальные шары диаметра 100-125 мм (6-10 % от объема мельницы). Так же поступают, если надо увеличить производительность мельницы. После рудного самоизмельчения в подобной ситуации применяют также рудно-галечное измельчение до крупности 6-0 мм.

В аэродинамических мельницах руда с высокой скоростью (100 м/с) в потоках газа измельчается за счет соударения частиц друг с другом.

Преимущества применения мельниц самоизмельчения в том, что можно подавать руду после первой стадии дробления 300-0 мм, при этом исключаются 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

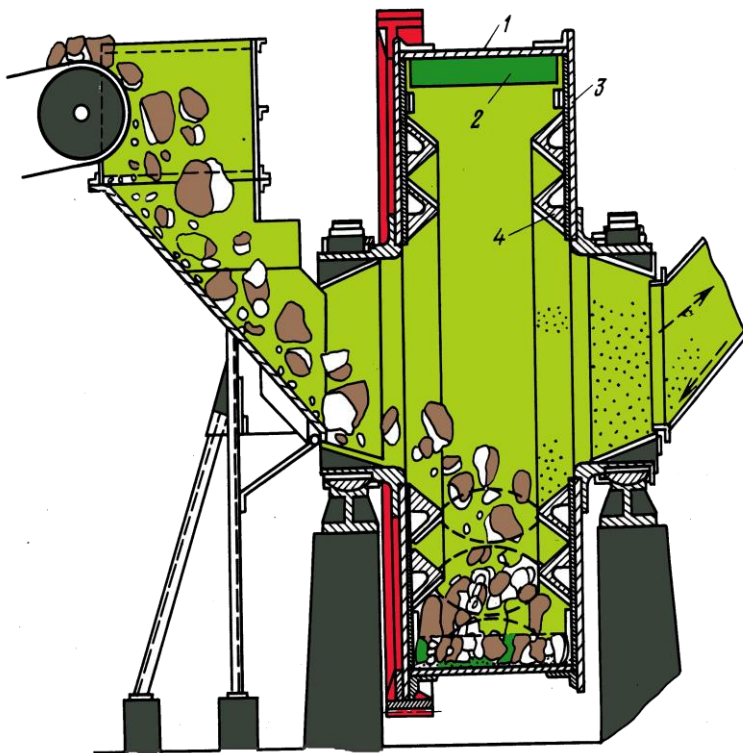


Рис. 2.4.1.5. Мельница «Аэрофол»:
1 – короткий барабан; 2 – балки-ребра;
3 – торцевые крышки;
4 – кольца треугольного сечения

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). При вращении барабана они поднимают куски материала. Падая вниз, куски разбиваются, ударяясь о ребра и другие куски руды, одновременно дробя друг друга. На торцевых краях (3) укреплены кольца (4) треугольного сечения, которые направляют 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 составляет 80-85 % от критической частоты (водопадный режим).

Транспортировка измельченного материала производится с помощью вентилятора, что требует большого расхода энергии и подсушки исходной руды до влажности 2,5 %, а 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

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 зачастую – 65-70 % (исключение составляют мельницы сухого самоизмельчения);
- 4) отсутствие пылеобразования и, соответственно, аспирационных систем вентиляции и очистки воздуха;
- 5) облегчение продвижения и распределения материала, т. к. можно использовать гидротранспорт, т. е. транспортирование материала 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) необходимость сушки измельченного материала.

2.4.3. Режим работы мельницы

При вращении барабана измельчающие тела (стальные шары, стержни, куски руды и т. д.) и измельчаемая руда благодаря трению поднимаются на некоторую высоту и затем сползают, сталкиваются или падают 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 – 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*.

По мере повышения частоты вращения мелкие шары по круговым траекториям поднимаются все 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.

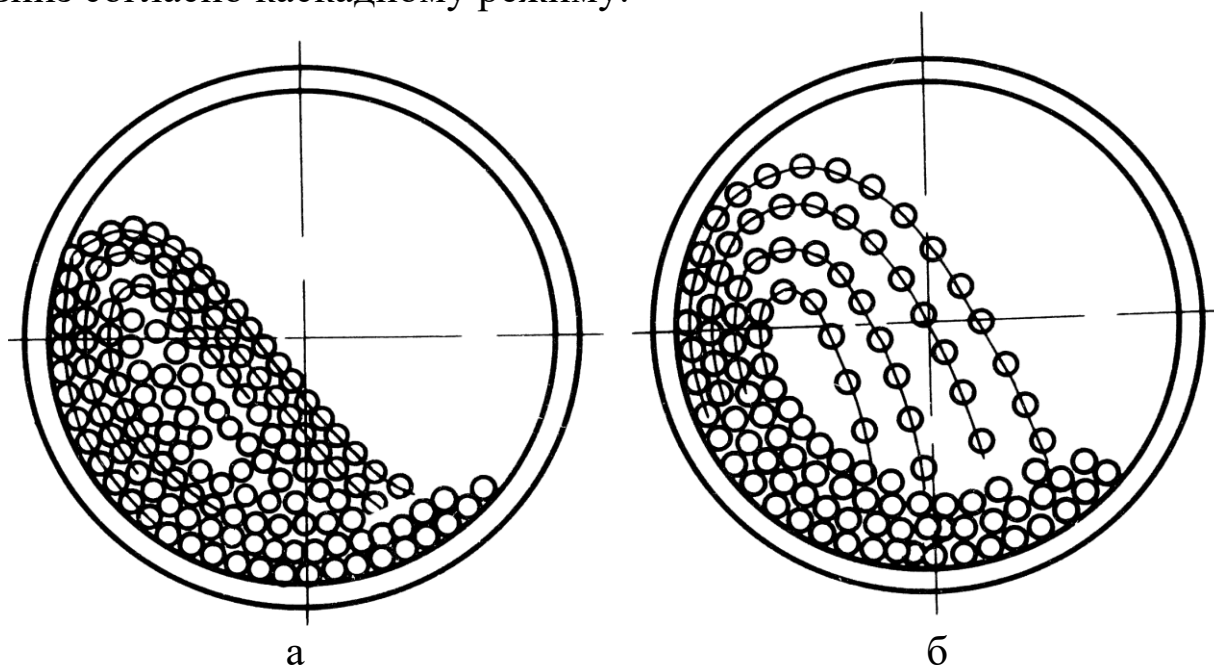


Рис. 2.4.3.1. Режим работы мельницы:
а – каскадный; б – водопадный

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:

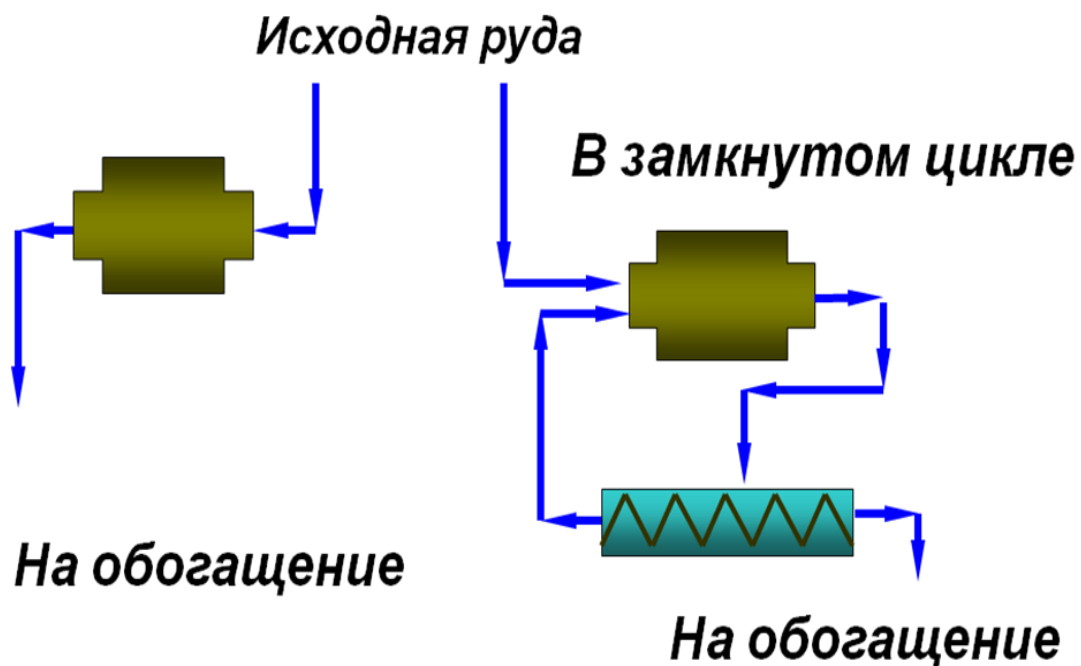
предварительная, когда перед мельницей удаляется часть мелкого зернистого материала по принципу «не дробить ничего лишнего» (открытый цикл);

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.

Одностадиальные схемы

В открытом цикле



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?
5. Какие назначения операций измельчения вы знаете?
6. Какие вы знаете мельницы в зависимости от вида дробящей среды?
7. Какие вы знаете мельницы в зависимости от режима их работы?
8. Какие бывают барабанные мельницы в соответствии с их классификацией по принципу действия, по способу разгрузки, по длине барабана?
9. Назовите область применения, устройство, принцип действия шаровых мельниц с центральной разгрузкой, их достоинства и недостатки.
10. Назовите область применения, устройство, принцип действия шаровых мельниц с разгрузкой через решетку, их достоинства и недостатки.
11. Назовите область применения, устройство, принцип действия стержневых мельниц, их достоинства и недостатки.
12. Назовите область применения, устройство, принцип действия рудно-галечных мельниц, их достоинства и недостатки.
13. Назовите область применения, устройство, принцип действия мельниц самоизмельчения и полусамоизмельчения, их достоинства и недостатки.
14. Назовите достоинства и недостатки сухого и мокрого измельчения.
15. Какие режимы работы мельницы вы знаете?
16. Какие схемы измельчения вам известны?

3. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ

Процессы обогащения полезных ископаемых представляют собой методы переработки минеральной смеси ценных компонентов и пустой породы с целью получения концентратов, существенно обогащенных одним или несколькими ценными компонентами. В результате получают два и более *продукта обогащения*. Богатый полезным компонентом продукт называют *концентратом*, бедный, состоящий в основном из пустой породы, *отходами*.

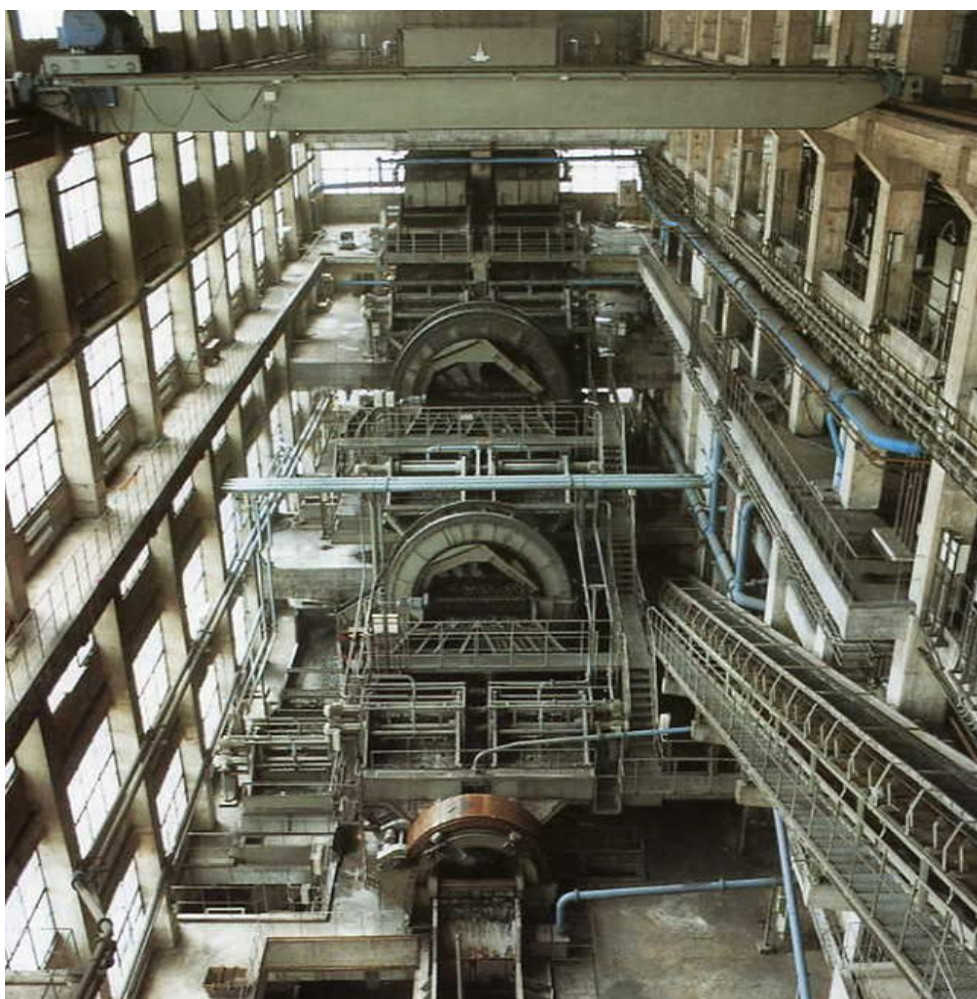


Рис. 3.1. Обогащение крупнокускового угля тяжелосредними сепараторами ТЕСКА (МВЕ)

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 рудоразборка: радиометрические	Естественная и наведенная радиоактивность
фотометрические	Оптические свойства: цвет, блеск
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.

Обогащительные 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 для определения 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 °С, кг/м ³	1300	1400	1500	1600	1800	2000
Содержание ZnCl ₂ , %	31	39	46	52	63	72

К недостаткам применения растворов хлористого цинка следует отнести их повышенную вязкость, поэтому для расслоения шла-

мов 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 ³	1300	1400	1500	1600	1800	2000
Бензольный раствор, %						
CCl ₄	60	74	89			
C ₆ H ₆	40	26	11			
Раствор бромформа, %						
CNBr ₃				2	21	41
CCl ₄				98	79	59

Результаты фракционного анализа оформляют в виде табл. 3.1.2.3.

Таблица 3.1.2.3

Фракционный состав углей

ρ, кг/м ³	γ, %	A ^d , %	Суммарные всплывшие фракции, %		Суммарные потонувшие фракции, %	
			γ	A ^d	γ	A ^d
1	2	3	4	5	6	7
<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 ρ		Абсцисса для кривой λ	Ордината для кривых ρ, β, λ	Абсцисса для кривой β	Ордината для кривой θ	Абсцисса для кривой θ

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

1. Суммарный выход легких фракций (табл. 3.1.2.3, колонка 4) вычисляется путем последовательного суммирования частных выходов (из колонки 2) сверху вниз:

$$52,2;$$

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

$$66,8 + 6,5 = 73,3 \text{ и т. д.}$$

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 так же, 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):

ρ – кривая плотностей показывает зависимость суммарного выхода легких фракций (колонка 4) от плотности разделения (колонка 1);

β – кривая средних зольностей концентрата, показывает зависимость между суммарным выходом легких фракций (колонка 4) и их

зольностью (колонка 5);

θ – кривая средних зольностей отходов, показывает зависимость между суммарным выходом тяжелых фракций (колонка 6) и их зольностью (колонка 7);

λ – кривая элементарных зольностей показывает зависимость между выходом (колонка 4) и зольностью (колонка 3) элементарных слоев.

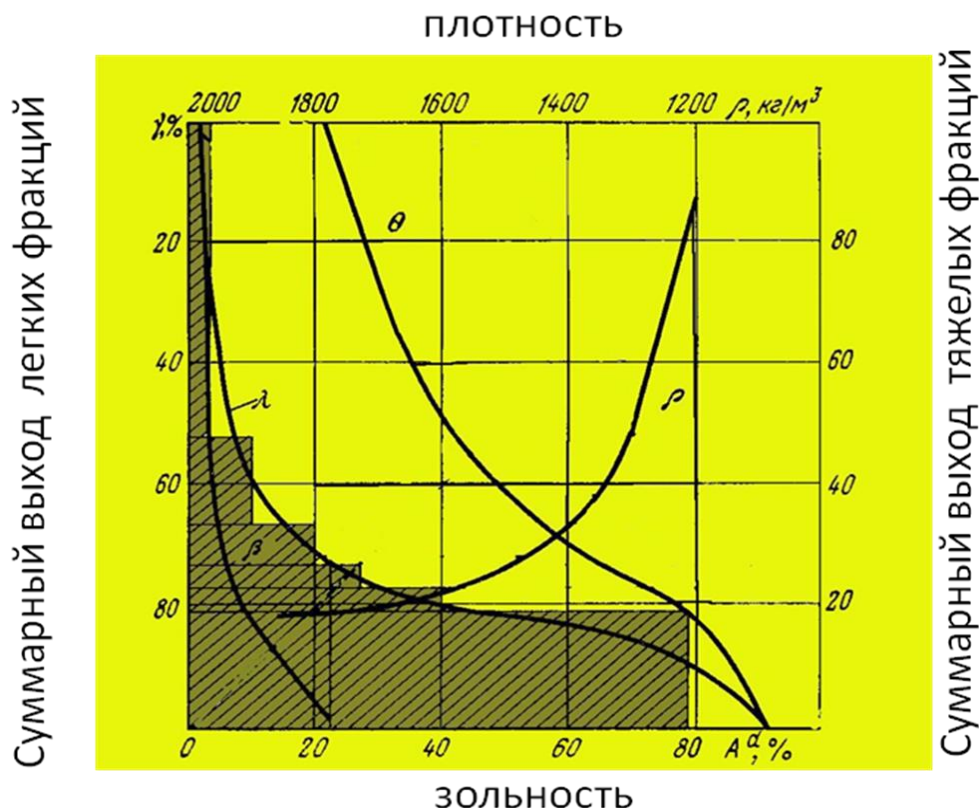


Рис. 3.1.2.1. Кривые обогатимости

Построение кривой λ

Для построения кривой λ (лямбда) на графике проводятся горизонтальные линии, соответствующие выходам суммарных легких фракций (колонка 4), и вертикальные линии, соответствующие зольности (колонка 3) элементарных слоев. Через правые стороны получившихся прямоугольников проводят плавную кривую λ , через середины этих сторон таким образом, чтобы площади «наращиваемых» и «срезаемых» треугольников были равновеликими.

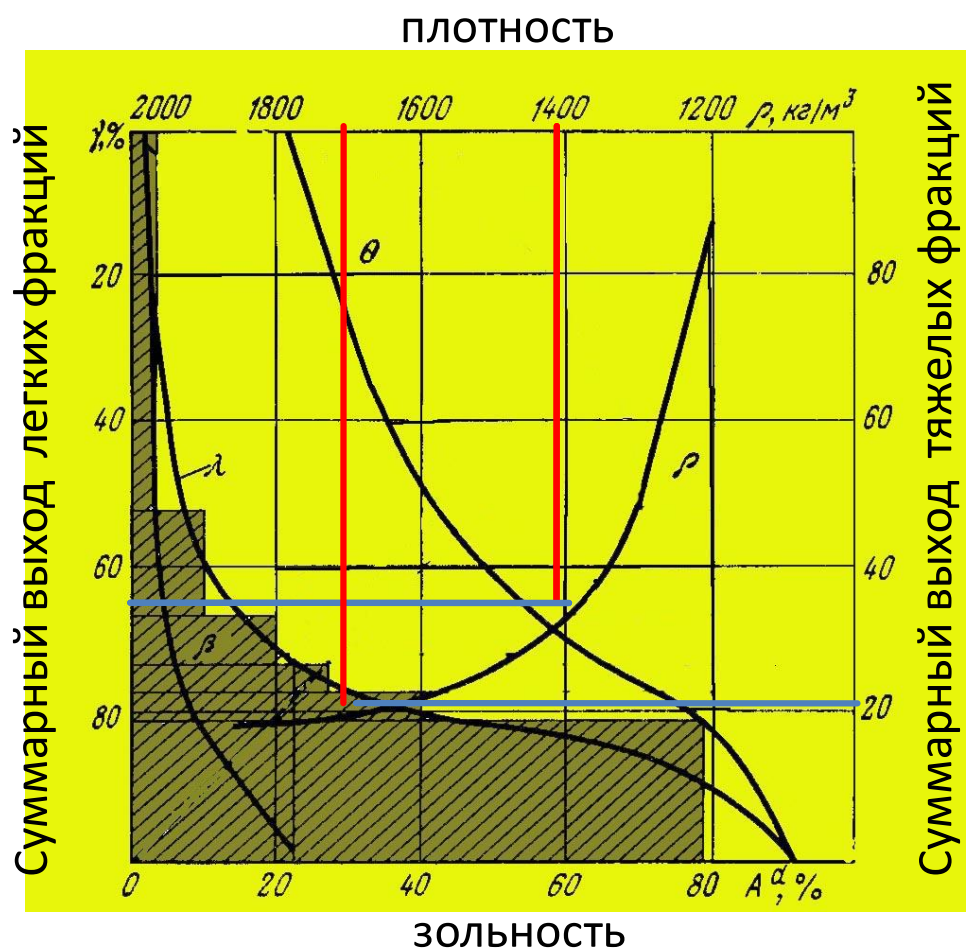
Начальные точки кривых λ и β и конечные точки кривых λ и θ должны совпадать.

Анализ кривых обогатимости

1. Чем ближе кривая λ 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 ρ .

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.

Получили:

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

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

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

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

Показатель обогатимости определяется по ГОСТ 10100-84 по формуле

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

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

Для каменных углей промпродуктовой считается фракция плотностью 1400-1800 кг/м³ или 1500-1800 кг/м³, в зависимости от зольности фракций до 1500 кг/м³. Если по фракционному анализу зольность всплывших фракций плотностью до 1500 кг/м³ менее 10 %, то к промежуточному продукту относят фракции плотностью от 1500 до 1800 кг/м³.

Для антрацитов промпродуктовой считается фракция плотностью 1800-2000 кг/м³. Пустая порода имеет плотность более 1800 кг/м³ при обогащении каменных углей и более 2000 кг/м³ при обогащении антрацитов.

Показатель обогатимости углей, фракционный состав которых представлен в табл. 3.1.2.3, можно найти следующим образом:

1) определяем

$$\gamma_{\text{п/п}} = 4,0 + 3,6 = 7,6 \text{ \%};$$

2) из таблицы $\gamma_{\text{отх}} = 19,1 \text{ \%}$.

$$T = \frac{100 \cdot 7,6}{100 - 19,1} = 9,4\%.$$

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

Категории обогатимости каменных углей и антрацитов

Категория		Показатель обогатимости
II	Легкая	$T \leq 5$
	Средняя	$5 < T \leq 10$
III	Трудная	$10 < T \leq 15$
IV	Очень трудная	$T \geq 15$

3.1.3. Отсадка

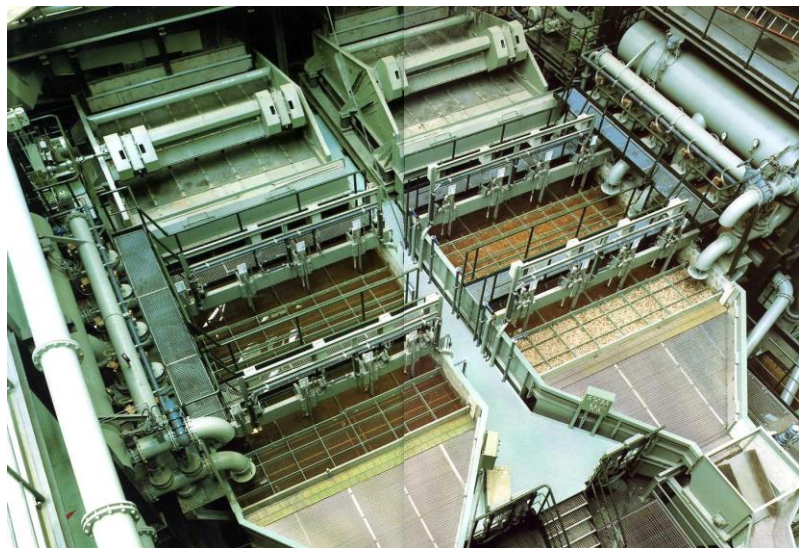
Отсадка – метод обогащения, основанный на разделении смеси материала по плотности в восходящих пульсирующих потоках воды (или воздуха при пневматическом обогащении).

Применение

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.

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. 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 и 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 зерен, зависящих от плотности и размера частиц, а также от 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 при том же размере. При падении частиц разной плотности и разного объема может сложиться ситуация, когда минеральные зерна различных веществ приобретут одинаковую конечную скорость падения. 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 при той же скорости падения называется коэффициентом равнопадаемости (e). $e = \frac{d_1}{d_2}$. Он показывает, во сколько раз частица легкого минерала больше частицы тяжелого минерала, имеющей ту же скорость падения.

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

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

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

где δ_1, δ_2 – плотность легкого и тяжелого зерна соответственно; d_1, d_2 – размеры тяжелого и легкого зерна, соответственно; Δ – плотность среды.

Для правильного разделения минеральных зерен необходимо, чтобы крупность частиц минералов находилась в пределах коэффи-

циента 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 зерен обычно стесненное.

Пример: Определить отношение размеров разделяемых кусков угля и породы, т. е. найти коэффициент равнопадаемости разделяемых зерен размером ≥ 2 мм. Плотность угля $\delta_1 = 1400$ кг/м³; породы $\delta_2 = 2500$ кг/м³.

Решение

Для частицы ≥ 2 мм коэффициент равнопадаемости определяется по закону Риттингера:

$$e = \frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta};$$
$$e = \frac{2700 - 1000}{1400 - 1000} = 4,25.$$

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 решете машины представляет собой беспорядочную смесь минералов и их сростков – *естественную постель*. Под действием транспортной и подрешетной воды она перемещается по решету из одной камеры в другую. Пульсации создаются в зависимости от типа конструкции отсадочной машины с по-

мощью 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 тяжелые частицы (большой плотности).

Тяжелые продукты, составляющие нижние слои постели, удаляются из отсадочной машины через решето или разгрузочные щели в породный карман. 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, частота пульсаций, подача воздуха и подрешетной воды.

Оптимальная толщина постели регулируется автоматически регулятором уровня (рис. 3.1.3.2.1) с помощью поплавка, 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, не-

обходимого для создания пульсаций воды, регулируется для возможности изменения интенсивности восходящего и нисходящего потоков при изменении качества обогащаемой руды, например ее плотности или крупности кусков.

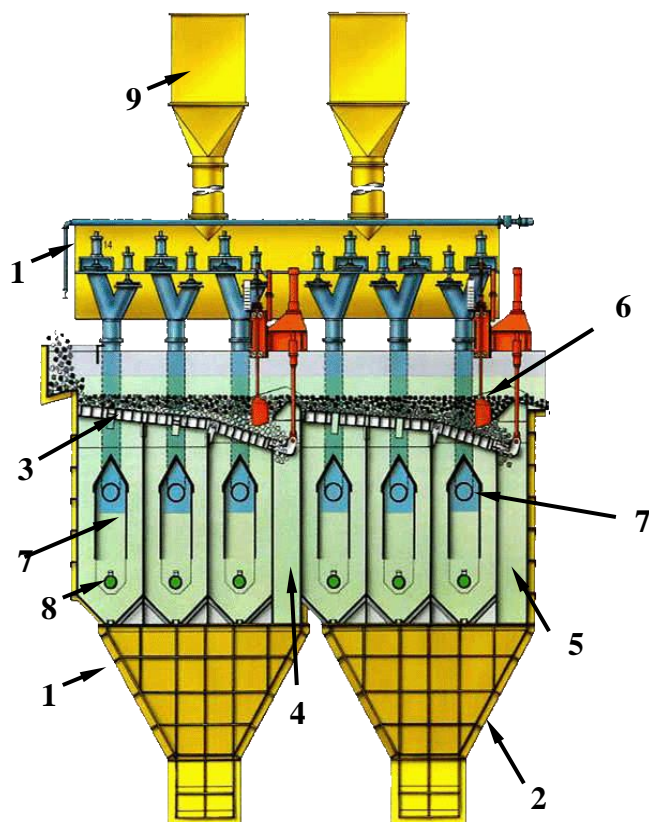


Рис. 3.1.3.2.1. Принципиальное устройство отсадочной машины БАТАК для обогащения крупнокускового материала:
 1 – камера для отделения тяжелой фракции; 2 – камера для отделения промпродуктовой фракции; 3 – решетчатый слой;
 4, 5 – разгрузочные карманы тяжелой фракции и промпродукта;
 6 – поплавок с шибберным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

Настройки частоты пульсаций зависят от крупности обогащаемого материала и регулируются также при изменении качества сырья. Диапазон частоты пульсаций воды на угольных машинах изменяется в пределах 30-60 пульсаций в минуту. Для золотосодержащих руд с крупностью частиц до 0,5 мм частота составляет 200-400 мин⁻¹. Минимальная частота определяется продолжитель-

ностью 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.

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

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

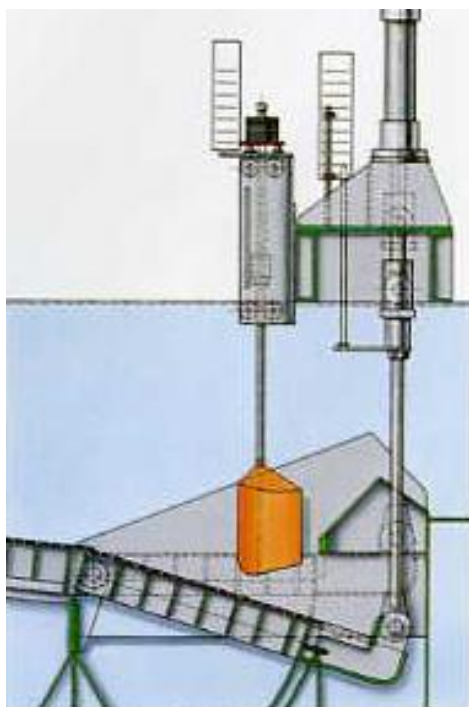


Рис. 3.1.3.2.2. Выпускное устройство для крупнокускового материала

Мелкая отсадка (рис. 3.1.3.2.3) предназначена для мелкого материала (на углях для класса $-13+0,5$ (3) мм). Если исходный материал мелкий, то на решето укладывается *искусственная постель* из тяжелых материалов, например, из полевого шпата или из искусственных материалов: керамических или резиновых кубиков, стальной дробы. Искусственная постель выполняет роль фильтрующего слоя, *пропускающего зерна тяжелого минерала через решето*.

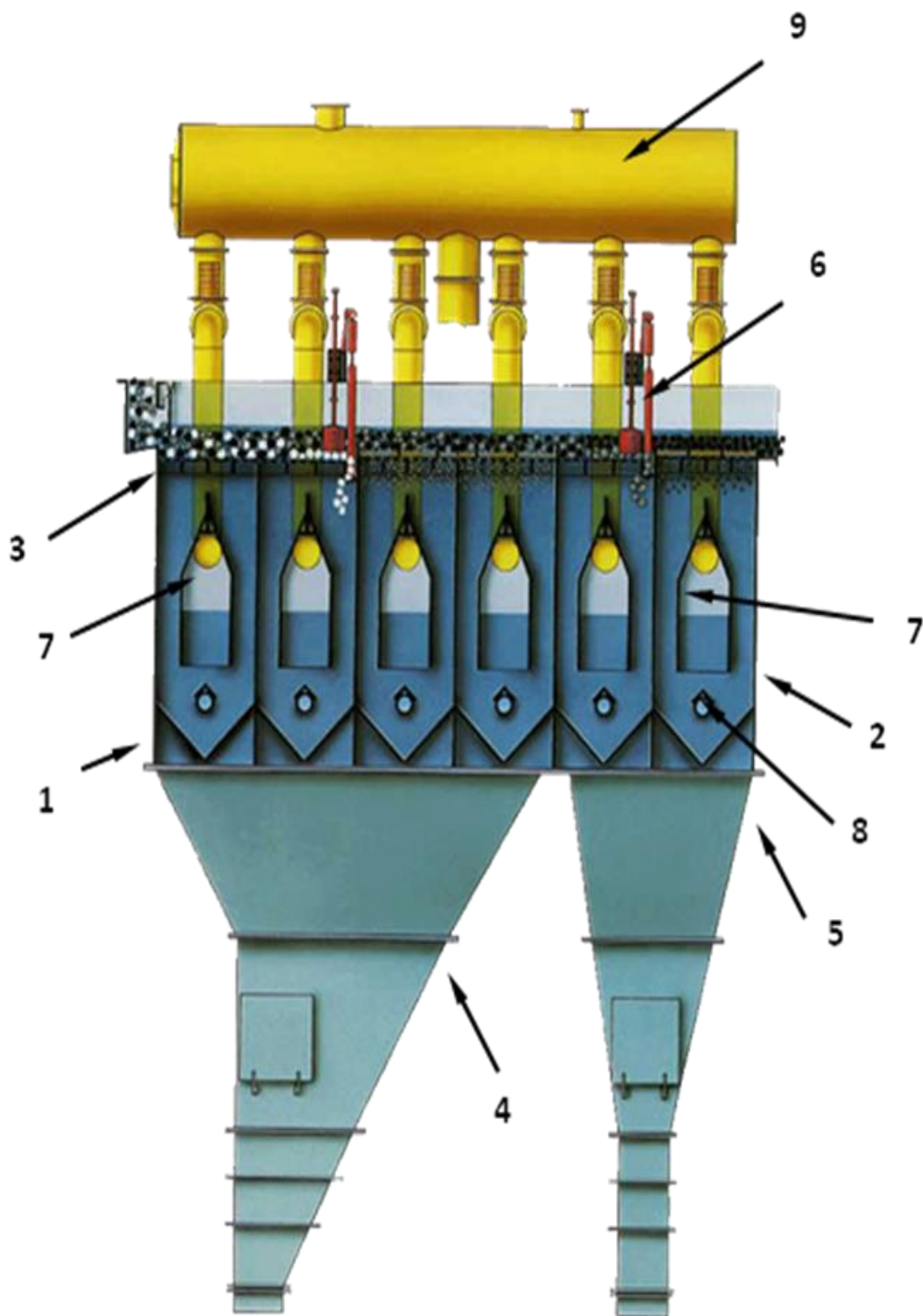


Рис. 3.1.3.2.3. Принципиальное устройство отсадочной машины БАТАК для обогащения мелкокускового материала:
 1 – камера для отделения тяжелой фракции; 2 – камера для отделения промпродуктовой фракции; 3 – решето; 4 – воронка для сбора породы; 5 – воронка для сбора промпродукта; 6 – поплавков с шибберным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

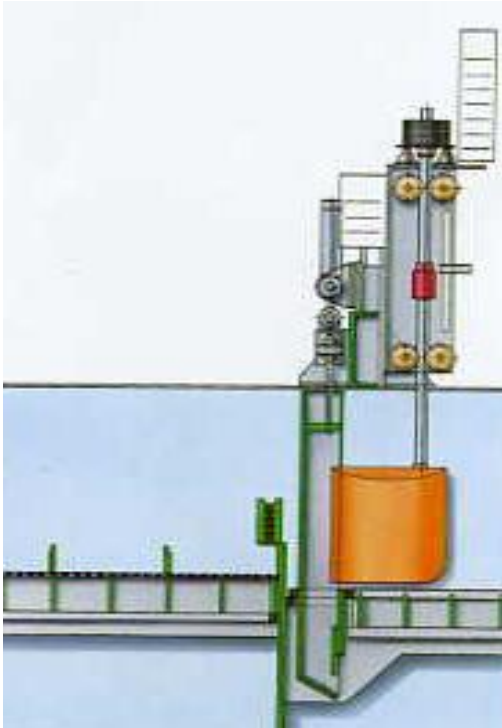


Рис. 3.1.3.2.4. Выпускное устройство для мелкокускового материала

При мелкой отсадке разгрузка тяжелого продукта с размерами частиц меньше диаметра отверстия решета осуществляется непосредственно сквозь решето (рис. 3.1.3.2.4). Частицы, составляющие искусственную постель, приподнимаются при восходящем потоке воды и обеспечивают подачу тяжелого материала к решету. При нисходящем потоке постель препятствует уносу легкого продукта под решето, частично перекрывая отверстия решета, тем самым предотвращая унос легких частиц сквозь решето с тяжелыми продуктами.

3.1.3.3. Классификация отсадочных машин по способу создания пульсаций воды

Существуют отсадочные машины, в которых режим пульсаций осуществляется различными способами (рис. 3.1.3.3.1).

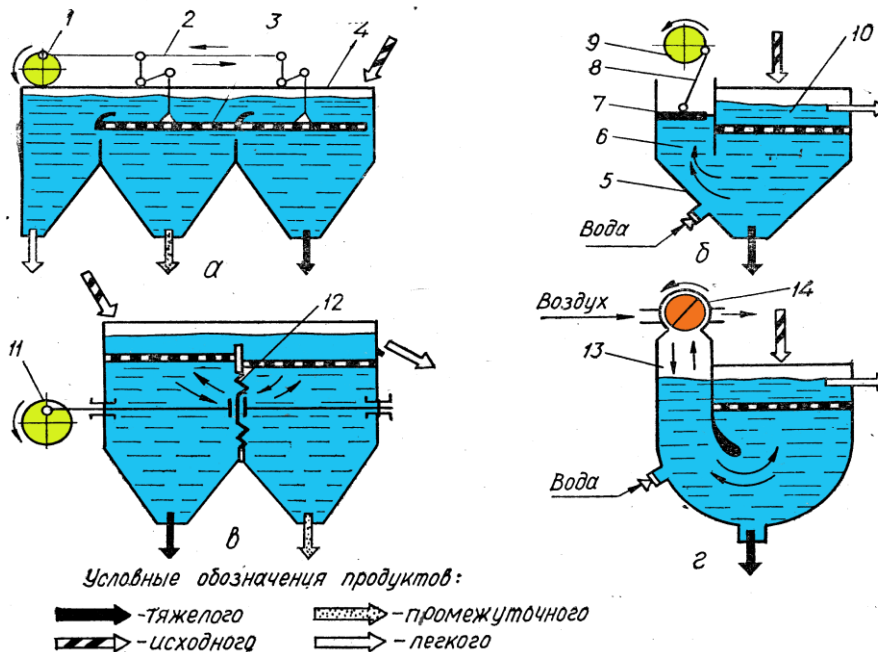


Рис. 3.1.3.3.1. Различные типы гидравлических отсадочных машин: а – с подвижным решетом; б – поршневая; в – диафрагмовая; г – воздушно-золотниковая

На рис. 3.1.3.2.1 и рис. 3.1.3.2.3 продемонстрированы отсадочные машины БАТАК фирмы МВЕ. https://www.mbe-cmt.com/fileadmin/user_upload/Download_Produktflyer/mbe_Jigging_r_RZ_120305.pdf



Рис. 3.1.3.3.2. Отсадочная машина с подвижным решетом РОМДЖИГ (МВЕ)

В этих машинах пульсация воды достигается с помощью воздушных камер. В машинах иного типа пульсация может достигаться другими способами, например с помощью подвижного решета. Примером осуществления такого режима пульсаций является отсадочная машина с РОМДЖИГ (МВЕ) (рис. 3.1.3.3.2 и 3.1.3.3.3).

В отсадочных машинах с подвижным решетом разрыхление кускового материала и расслоение фракций происходит за счет механического подъема решета с последующим резким его опусканием (падением).

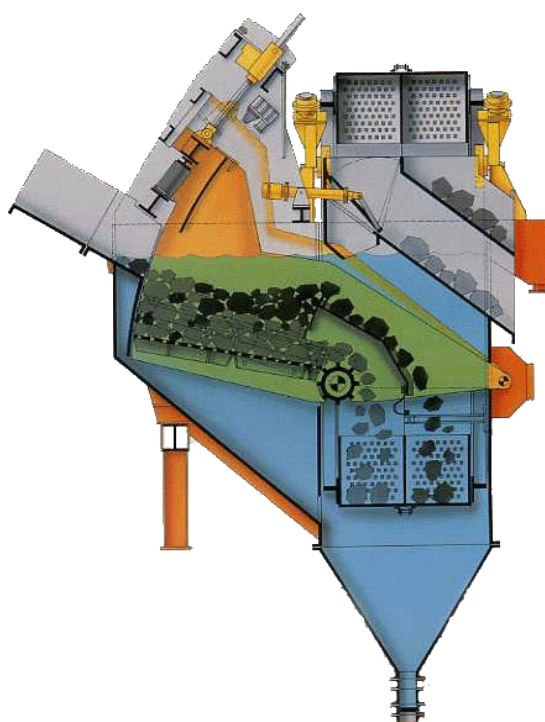


Рис. 3.1.3.3.3. Принципиальное устройство отсадочной машины с подвижным решетом РОМДЖИГ (МВЕ)

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение процессу обогащения полезных ископаемых.
2. Как называются продукты обогащения?
3. На каких свойствах минералов основывается их разделение?
4. Дайте определение фракционному анализу.
5. Каким образом проводят расслоение проб углей по плотности?
6. Какие реагенты используют для расслоения углей по плотности?
7. Каким образом проводятся расчеты для заполнения табл. 3.1.2.3 «Фракционный состав углей»?
8. Каким образом проводится построение кривых обогатимости?
9. Каким образом определяется категория обогатимости?
10. Какие технологические свойства минералов вы знаете?
11. На каком принципе основано разделение минералов гравитационными методами обогащения?
12. Какие гравитационные методы обогащения вам известны?
13. Что представляет собой обогащение минералов методом отсадки? В чем ее принцип?
14. Какие закономерности падения минеральных зерен в воде и воздухе вы знаете? Как они связаны с гравитационными процессами обогащения?
15. Как осуществляется процесс отсадки в отсадочных машинах?
16. Чем отличается крупная отсадка от мелкой?
17. Опишите классификацию отсадочных машин по способу создания пульсаций воды.
18. Назовите область применения, устройство, принцип действия отсадочных машин для крупного материала, их достоинства и недостатки.
19. Назовите область применения, устройство, принцип действия отсадочных машин для мелкого материала, их достоинства и недостатки.

3.1.4. Обогащение в тяжелых средах

Процесс обогащения в тяжелых средах заключается в разделении 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: йодистый метилен (плотность $3,39 \text{ г/см}^3$), бромформ (плотность $2,9 \text{ г/см}^3$), четыреххлористый углерод (плотность $2,96 \text{ г/см}^3$) применяются в лаборатории для разделения пробы руды на фракции по плотности. На фабрике для разделения минералов по плотности из-за токсичности их использовать нельзя.

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 ($0,1-0,01 \text{ г/см}^3$).

Метод обогащения в тяжелых средах характеризуется простотой процесса и аппаратуры, небольшим количеством обслуживающего персонала, а также малым расходом воды, небольшим расходом энергии. Основное преимущество всех аппаратов для обогащения в тяжелых средах – высокая технологическая эффективность, близкая к теоретической.

Метод разделения минералов в тяжелых средах применяют для обогащения полезных ископаемых, в которых при сравнительно крупном дроблении (50-6 мм) значительная часть зерен полезного компонента раскрыта.

Недостатком метода является необходимость регенерации тяжелых суспензий, например, применение магнитной сепарации для регенерации магнетитовых суспензий; применение флотации для

регенерации галенитовых и других суспензий.

Аппараты:

- сепараторы колесные вертикальные (СТК-4000, СКВП 32, СКВП 20 и т. д.);
- тяжелосредные гидроциклоны двух- и трехпродуктовые (СТГ20, ГТ 500, ГТ 710 и т. д.);
- обогатительные центрифуги;
- пневматические (аэросуспензионные) сепараторы.

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**

Применение

Сепараторы колесные вертикальные очень часто используются при гравитационном обогащении, особенно для крупного угля (обычно –100+13 мм). Они зарекомендовали себя как более надежные, высокопроизводительные аппараты в сравнении с зарубежными аппаратами.

Технология обогащения руд в тяжелосредных 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: 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 находится 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, которая разделяется на горизонтальный (транспортный) и вос-

ходящий (вертикальный) потоки. Горизонтальный поток суспензии транспортирует всплывшие минералы к месту разгрузки гребковым устройством; вертикальный поток призван поддерживать постоянными в любой точке суспензии ее реологические свойства: плотность, вязкость, устойчивость. 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.

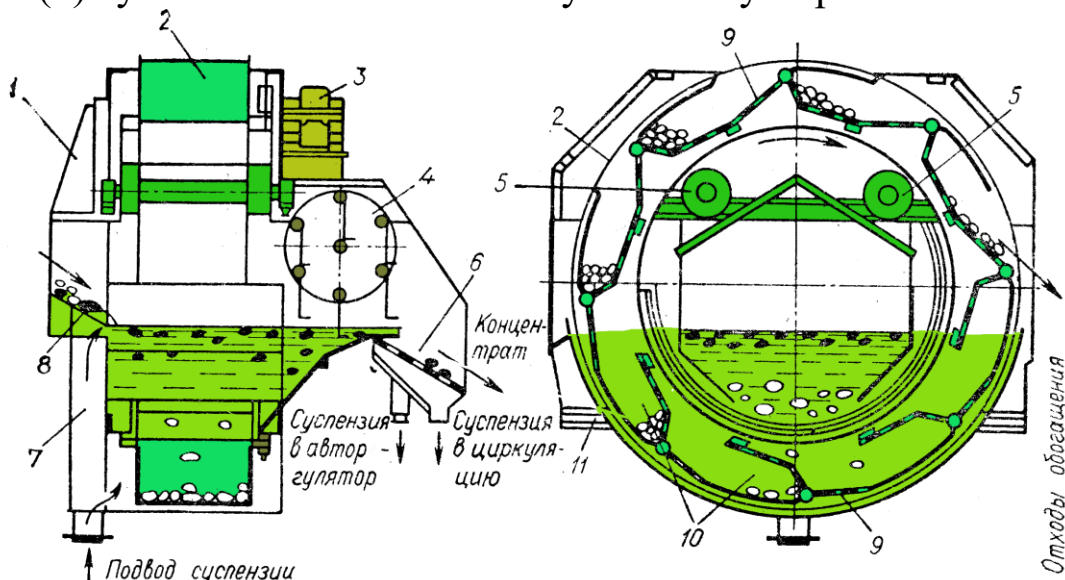


Рис. 3.1.4.1.1. Сепаратор с вертикальным элеваторным колесом:
 1 – корпус; 2 – элеваторное колесо; 3 – привод электродвигателя;
 4 – гребковое устройство; 5 – опорные катки; 6 – сито предварительного сброса суспензии; 7 – патрубок для подвода суспензии; 8 – загрузочный желоб (течка); 9 – решетка, открывающая и закрывающая окна ковшей элеватора;
 10 – перфорированные ковши для выгрузки тяжелого продукта;
 11 – опорные кронштейны

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

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

Сепараторы колесные вертикальные СКВП 32, СКВП 20 выпускает ООО «СПЕЦМАШ» (г. Каменск-Шахтинский, Ростовская обл.) <http://screen-filter.ru/catalog/separatory-kolesnye-skvp.html>; а также АО «ЗАВОД ИМЕНИ М. И. ПЛАТОВА»

<http://kemerovo.zaoplatov.ru/equipment/miner?n=190>. Подобные сепараторы СТК-4000 выпускает также группа компаний АО «ТЯЖМАШ» (г. Сызрань, Россия)

<https://www.tyazhmash.com/products/powerhouse/heavy-separator/>.

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. 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. Тяжелосредние гидроциклоны

Применение

 Гидроциклоны (рис. 3.1.4.2.1) применяют для обогащения мелких и средних классов угля, чаще всего для частиц крупностью 1-13 мм, но возможный диапазон более широк: от 0,5 (0,2) до 25 (40) мм.

Внутреннее устройство тяжелосреднего гидроциклона не отличается принципиально от устройства гидроциклонов-классификаторов, но в отличие от гидроциклонов-классификаторов тяжелосредние гидроциклоны устанавливаются под углом 20° к горизонту, и по размеру они больше (размеры ГТ 500: 2530×930×2000 мм; ГТ 710: 3580×1580×3020 мм). 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 патрубков; тяжелый продукт (отходы) – через песковую насадку вместе со сгущенной суспензией.



Рис. 3.1.4.2.1. Тяжелосредные гидроциклоны

Разделение на различные продукты в тяжелосредных гидроциклонах происходит в десятки раз быстрее, чем в тяжелосредных сепараторах за счет действия центробежного поля. Турбулентный гидродинамический поток, образующийся в гидроциклоне, разрушает структуру суспензии, вследствие чего ее вязкость уменьшается, что позволяет эффективно обогащать тонкие классы угля крупностью от 0,2 мм.

Для получения трех продуктов разделения (концентрат, пром-продукт, отходы) 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 тяжелосредных гидроциклонов состоит в том, что при хорошей производительности они имеют малые размеры, просты в конструкции, высокоэффективны.

3.1.4.3. Схемы регенерации некондиционной 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* (разбавленной).

Задачи регенерации некондиционной суспензии:

- 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 кг/м^3 применяются одностадийные схемы регенерации магнетитовой суспензии (рис. 3.1.4.3.1).

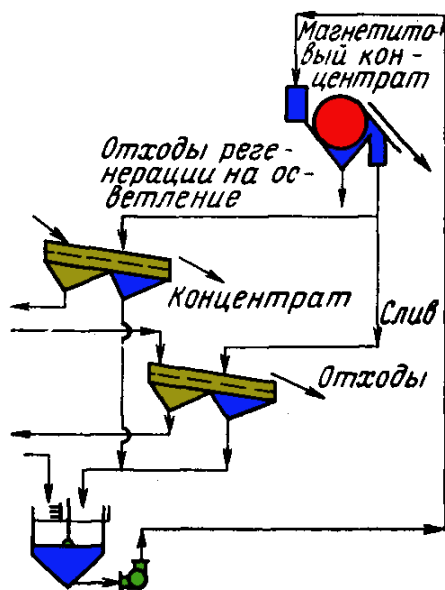


Рис. 3.1.4.3.1. Одностадийная схема регенерации магнетитовой суспензии

При обогащении мелких углей с содержанием шлама более

150 кг/м³ применяется двухстадиальная схема регенерации магнетитовой суспензии (рис. 3.1.4.3.2).

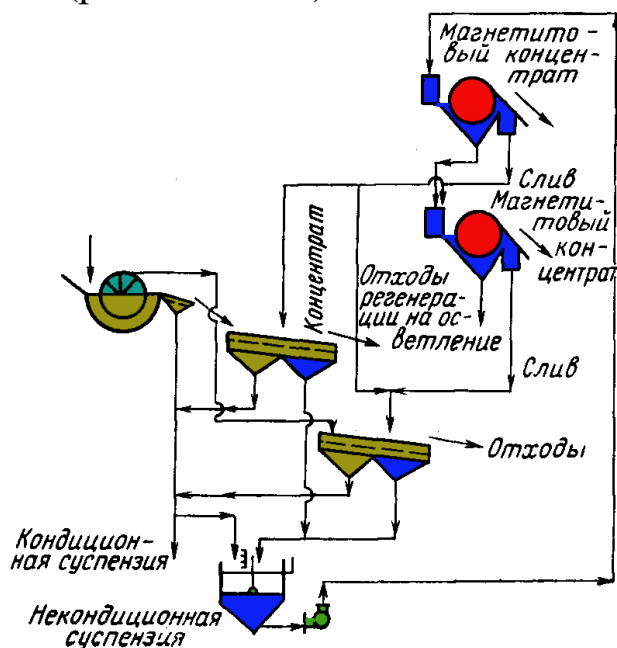


Рис. 3.1.4.3.2. Двухстадиальная схема регенерации магнетитовой суспензии

Комбинированная схема регенерации магнетитовой суспензии применяется при обогащении крупных углей по высокой плотности разделения с содержанием шлама более 150 кг/м³ (рис. 3.1.4.3.3).

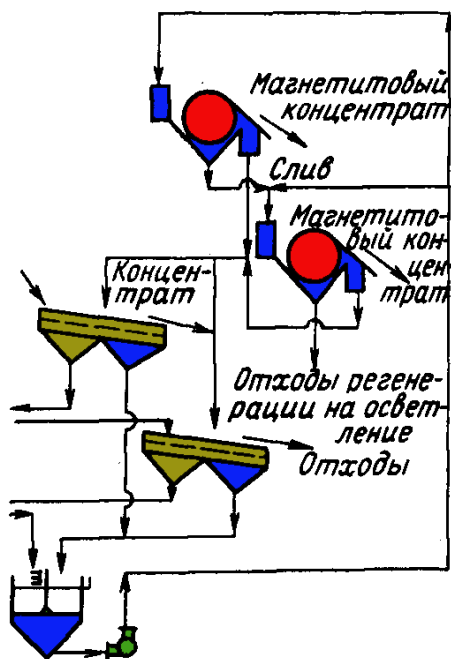


Рис. 3.1.4.3.3. Комбинированная схема регенерации магнетитовой суспензии

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 тяжелосредных сепараторов с вертикальным элеваторным колесом.
9. Опишите технологию обогащения руд в тяжелосредных сепараторах.
10. Назовите устройство, принцип действия тяжелосредных сепараторов с вертикальным элеваторным колесом, их достоинства и недостатки.
11. Назовите область применения, конструкцию, принцип действия тяжелосредных 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 бу-

дут 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.

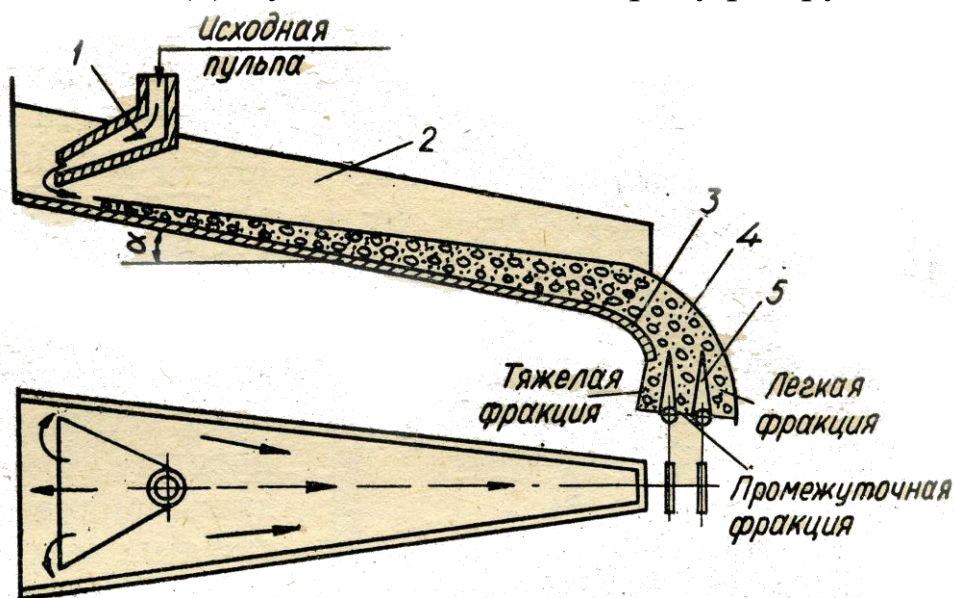


Рис. 3.1.4.5.1. Струйный концентратор:

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

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, который разделяется перегородками-отсекателями (5) на разные продукты по плотности.

Применяется при обогащении россыпей минералов, например титаново-циркониевых или ильменито-цирконо-рутиловых песков, в которых полезные минералы представлены мелкими свободными частицами; при этом 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 гравитационных, гидродинамических и центробежных сил частицы перераспределяются по сечению потока:

тяжелые частицы смещаются к центру и собираются отсекающими (2); легкие прижимаются к борту и выносятся вместе с пульпой.

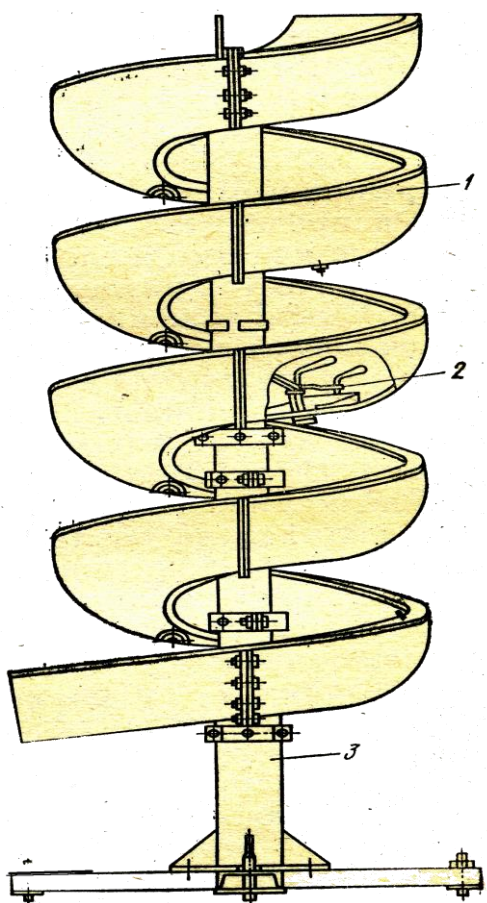
Спиральные сепараторы применяются для первичного обогащения мелкозернистых песков (0,02-3 мм), содержащих ильменит, циркон, рутил, редкие и благородные металлы, железные руды, алмазы и т. д., с получением грубых (черновых) концентратов. Особенно широко известны на углеобогатительных фабриках, где применяются для обогащения мелкого угля (0,2-2 мм).

Применение

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 углеобогатительных фабриках, где применяются для обогащения мелкого угля (0,2-2 мм).

Рис. 3.1.5.1.1. Спиральный сепаратор



Спиральные сепараторы просты по конструкции и в обслуживании, занимают мало места, не требуют затрат энергии, но выдают недоста-

точно качественные концентраты. На эффективность разделения оказывают влияние гранулометрический состав и форма зерен.

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. Наиболее часто с их помощью обогащают золотосодержащие и редкоземельные руды. На углях их не применяют – малопродуктивны.

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).

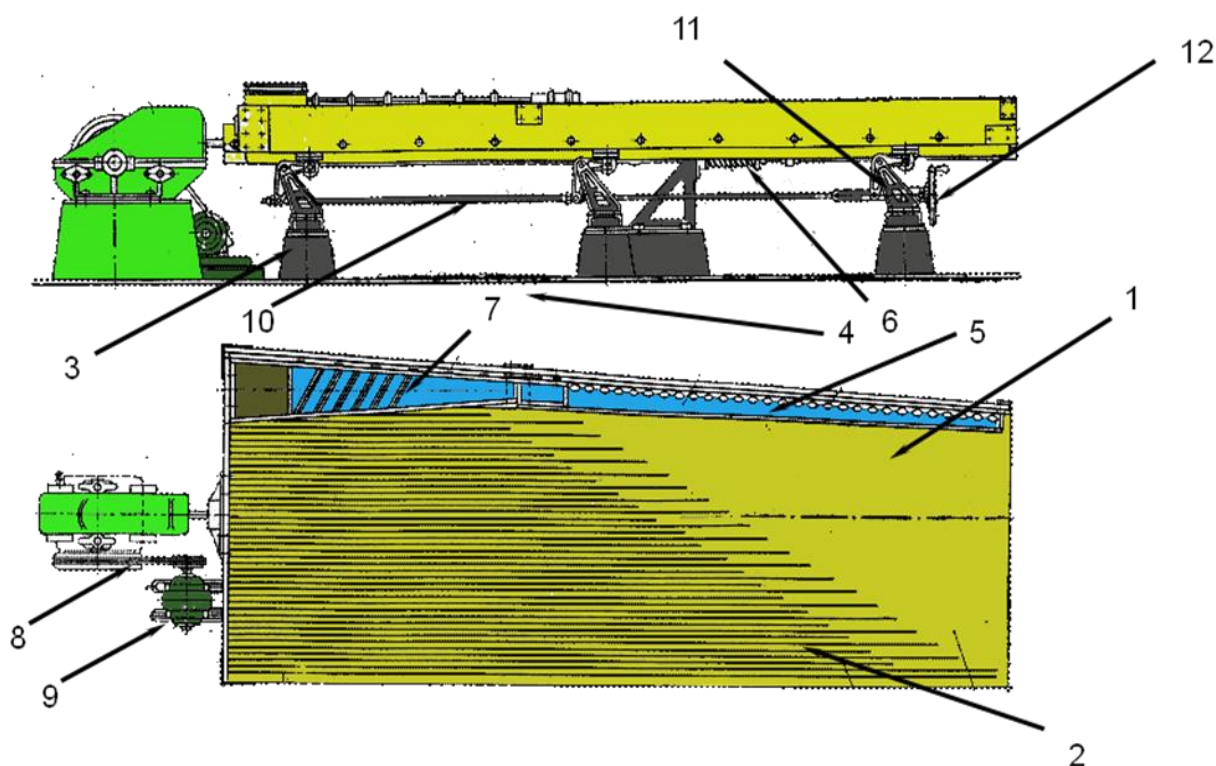


Рис. 3.1.5.2.1. Качающийся концентрационный стол СКМ-1:
1 – дека; 2 – рифли; 3 – опора деки; 4 – рама; 5 – желоб для воды;
6 – натяжное устройство; 7 – желоб для пульпы; 8 – приводной механизм; 9 – электродвигатель; 10 – тяга; 11 – винт;
12 – маховик кренового механизма

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) кренового механизма с помощью винта (11) дека поворачивается на определенный угол. Поперечный угол наклона деки составляет 2-5° для мелкого материала и 5-9° – для более крупного.

Дека стола совершает возвратно поступательное движение за счет приводного механизма (8), с которым она соединена тягой (10). Возникающая инерционная сила продвигает тяжелые частицы по рифлям, легкие 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 межфа-



зовой поверхности, а другие (*гидрофильные*) такой способностью не обладают.

Плохо смачиваемые водой гидрофобные минералы в основном являются полезными: сульфиды цветных и черных металлов, тальк, уголь, графит. Хорошо смачиваемые водой гидро-

фильные минералы в основном пустая порода: кварц, карбонаты, кальцит и т. д.

Во флотации межфазовыми границами, к которым 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.

Применение

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

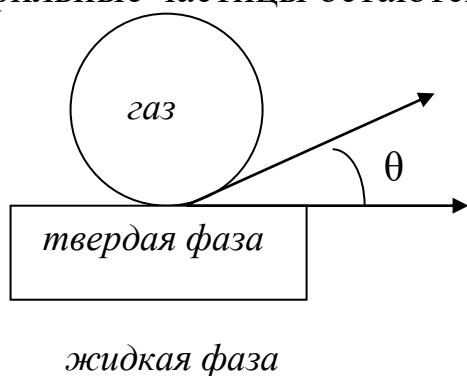
Наличие в пульпе микроников – частиц 0,01-0,005 мм – ухудшает процесс флотации за счет их очень большой сорбционной способности. Огромное количество очень маленьких частиц обладают очень большой общей поверхностью и за счет этого поглощают большое количество реагентов, хотя сами, как правило, не флотируются,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

Существует большое разнообразие флотационных процессов: *пенная флотация, пленочная флотация, химическая флотация, электрофлотация* и др. Пленочной флотацией называется процесс, при котором гидрофобные частицы, попадая на поверхность движущегося потока воды, остаются на ней, а гидрофильные частицы тонут. Пленочная флотация ис-



пользуется в процессе флотогравитации при доводке гравитационных рудных 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 – θ . Это угол, образованный поверхностью раздела двух фаз с поверхностью третьей фазы. Краевой угол принято измерять со стороны жидкой фазы.

3.2.1. Флотационные реагенты

Для управления процессом флотации применяются флотационные реагенты. Степень гидрофобности поверхности можно изменять с помощью реагентов *собирателей*. Они увеличивают гидро-

фобность поверхности. Наиболее известные реагенты-собиратели бывают полярные, например ксантогенаты (применяются при обогащении сульфидных полиметаллических руд) или карбоновые жирные кислоты (применяются при обогащении окисленных руд), и апольярные: керосин, газойль (применяются при обогащении углей).

Депрессоры также изменяют степень смачивания поверхности минерала. 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 используется 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 обогащении углей – КОБС (кубовые остатки при производстве бутиловых спиртов).

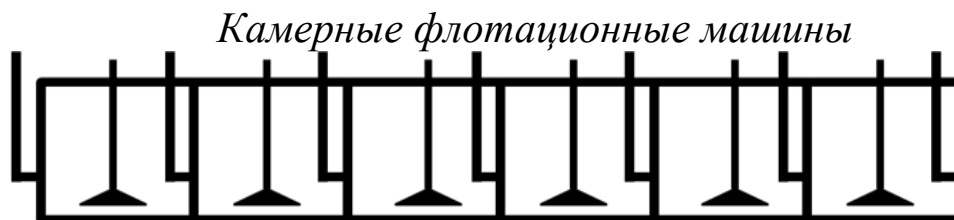
Активаторы восстанавливают флотационную способность частиц прилипать к пузырькам воздуха или подготавливают поверхность к нанесению собирателей.

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

3.2.2. Флотационные машины

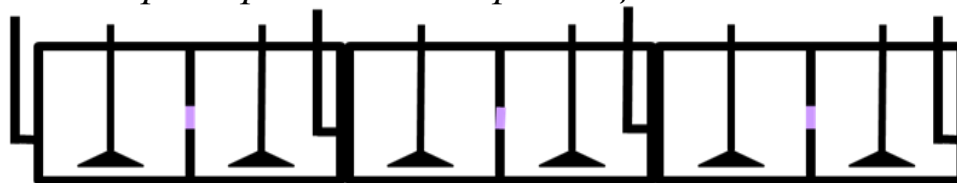
Классификация

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



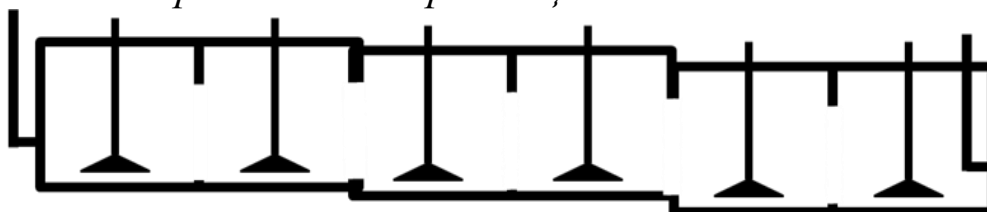
Камерные флотационные машины состоят из ряда последовательно установленных камер, в каждой из которых имеется импеллер (мешалка особой конструкции) и межкамерный карман с шиберным устройством. Каждая камера является всасывающей. Высота пенного порога в каждой камере устанавливается уровнем пульпы, который регулируется шиберным устройством.

Камерно-прямоточные флотационные машины



Камерно-прямоточные флотационные машины состоят из ряда камер, в каждой из которых также имеется импеллер. Межкамерный карман с шиберным устройством установлен в каждой секции, которая состоит обычно из двух-трех камер. Первая камера является всасывающей, вторая и последующие в секции – прямоточные.

Прямоточные флотационные машины



Прямоточные флотационные машины представляют собой ванну с импеллерами, разделенную на секции. 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, с одной стороны, упрощает работы по обслуживанию процесса, т. к. уровень пульпы регулируется только в последней камере, с другой стороны, из-за наклона машины в каждой секции устанавливается различная высота пенного порога.

Классификация

По способу подачи воздуха в камеру машины бывают:

- *механические*, в которых перемешивание и аэрация пульпы осуществляются с помощью импеллера;
- *пневмомеханические* – перемешивание производится импеллером, аэрация – воздуходувками;
- *пневматические* – перемешивание и аэрация происходят подачей сжатого воздуха через пористые перегородки или форсунки с большой скоростью.

3.2.2.1. Механические флотационные машины рудные

Механические флотационные машины чаще всего бывают камерно-прямоточными. Конструкцию и принцип действия можно объяснить на примере флотационной машины «Механобр» (рис. 3.2.2.1.1).

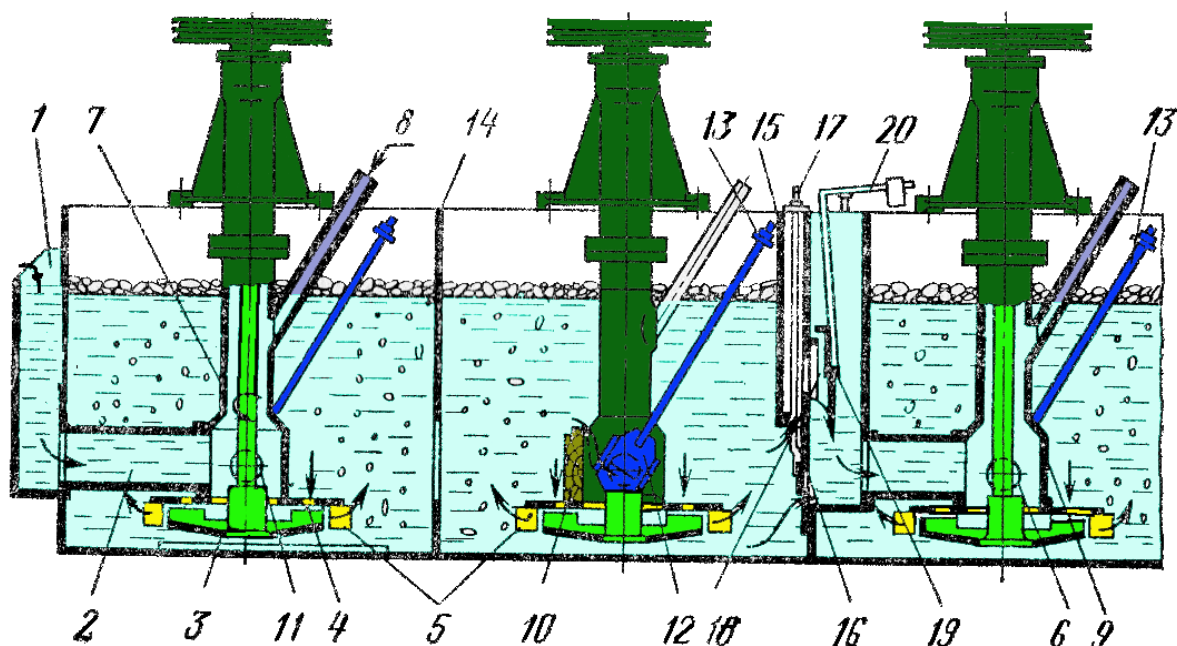


Рис. 3.2.2.1.1. Механическая флотационная машина «Механобр»:
1 – приемный карман; 2 – патрубок; 3 – импеллер; 4 – отверстия в диске; 5 – направляющие лопатки статора; 6 – вал импеллера;
7 – труба импеллера; 8 – патрубок для подачи воздуха;
9 – надимпеллерный стакан; 10 – пробка; 11 – отверстие;
12 – заслонка; 13 – тяга; 14 – перегородка; 15 – карман;
16 – отверстие для выноса крупных песков; 17 – стержень для регулирования размера отверстия шибером; 18 – отверстие;
19 – крышка; 20 – рычаг с контргрузом

Каждая секция механической флотационной машины 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.

При вращении вала (6) пульпа лопатками отбрасывается от центра к периферии, в результате чего в центральной зоне импелле-

ра между импеллером (3) и надимпеллерным диском создается небольшое разряжение – зона вакуума, которая заполняется мгновенно поступающей пульпой и воздухом. Воздух из атмосферы поступает в аэратор по патрубку (8) и трубе импеллера (7), засасывается (эжектируется) импеллером за счет создаваемого разряжения между импеллером и надимпеллерным диском, 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), имеются 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 флотацию в следующую камеру или из последней камеры в отходы.

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

соотношение $\frac{a}{D} < 1,5$, то возникает гидравлический удар, что при-

водит к шуму и износу деталей машины. Если $\frac{a}{D} > 1,5$, то сложно

осуществить полноценное перемешивание и аэрацию, в результате зашламовывается 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 решетки 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 ма-

шин: интенсивную аэрацию и перемешивание пульпы, большую производительность, у отечественных машин очень хорошие конструктивные гидродинамические характеристики, возможность работы с широким диапазоном крупности частиц, отсутствие воздухоудного хозяйства.

В конструкции механических флотационных машин имеются и недостатки: сравнительно быстрый износ деталей (из-за этого имеет место непостоянство аэрации); регулировку зазора между импеллером и надимпеллерным диском приходится проводить практически вслепую; сильные восходящие потоки пульпы вызывают бурление и нарушают пенообразование.

Современные механические флотационные машины российского производства: флотационная механическая флокулярная машина – ФМФ и машина флотационная многокамерная механического типа – ФМ предназначены для обогащения руд цветных, редких и черных металлов (ОАО «Машзавод Труд», г. Новосибирск) <https://zavodtrud.ru/catalog/oborudovanie-dlya-flotatsionnogo-obogashcheniya/mashina-flotatsionnaya-mekhanicheskaya-flokulyarnaya>

3.2.2.2. Механические угольные флотационные машины

В настоящее время в России выпускаются флотационные машины ФМ-25 для обогащения углей (рис. 3.2.2.2.1), МФУ 12А, МФУ 12АК, МФУ 25 (ООО «Техномаш», г. Днепр, Украина <https://technomach.com.ua/>). Флотационные угольные машины МФУ12 работают на угольных фабриках, но уже не изготавливаются на машиностроительных предприятиях.

ФМ – механическая флотационная машина, в камере которой аэрацию, перемешивание пульпы и дробление воздуха на пузырьки осуществляет импеллер-аэратор, всасывая необходимый для флотации воздух непосредственно из атмосферы.

Угольные машины, в отличие от рудных, как правило, имеют большой объем камеры, например, ФМ-25 с объемом камеры 25 м³ и на них устанавливаются пеногоны с обеих сторон камеры.

Флотационная машина ФМ снабжена широколопастным импеллером-ротором и статором цилиндрической формы. Импеллер имеет симметричную форму в виде шестерни с литыми или съемными лопастями. Возможность реверсивного вращения ротора увеличивает срок его использования. Съемные лопасти можно перио-

дически заменять. В нижней части камеры установлено ложное днище. Нижняя часть импеллера встроена в патрубок, расположенный по центру ложного днища, верхняя часть находится внутри трубы, через которую импеллером засасывается воздух из атмосферы.

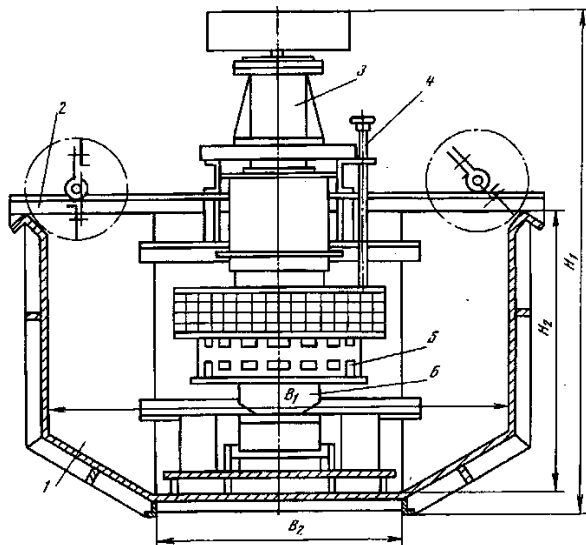


Рис. 3.2.2.2.1. Флотационная машина ФМ-16:

1 – камера; 2 – двухлопастной пеногон; 3 – вал с кожухом и подшипниками; 4 – установочный винт; 5 – перфорированный статор; 6 – импеллерный блок

Частичное помещение импеллера под ложное днище позволяет осуществлять наиболее полную циркуляцию, не допуская оседания наиболее крупных частиц и поддерживая их во взвешенном состоянии.

Флотационная машина ФМ-25 – двухсекционная с двумя прямоточными камерами в каждой секции. Камера машины имеет прямоугольную форму, слегка скошенную в нижней части. Секции располагаются относительно друг друга с перепадом в 200 мм, что обеспечивает свободный поток пульпы за счет действия гравитационных сил. Головная часть флотационной машины снабжена приемным карманом, хвостовая – выпускным.

Пульпа из приемного кармана поступает в аэрационную камеру-трубу импеллера, где с помощью импеллера происходит смешение воздуха и диспергирование его в миллиметровые пузырьки. Одновременно происходит минерализация пузырьков угольными частицами, всплытие их на поверхность и удаление образовавшейся пены пеногонами в желоба и далее в зумф концентрата. Частицы

пустой породы остаются во взвешенном состоянии, уносятся с потоком пульпы в радиальный сгуститель для осаждения флокулянтами и далее по схеме фабрики обезвоживаются и утилизируются.

Интересны также флотационные машины транснациональной компании FLSmidth (в России ООО «ФЛСмидт Рус»), со штаб-квартирой в Копенгагене (Дания) <https://www.flsmidth.com>, например, «WEMCO Smart Cell» (рис. 3.2.2.2.2).

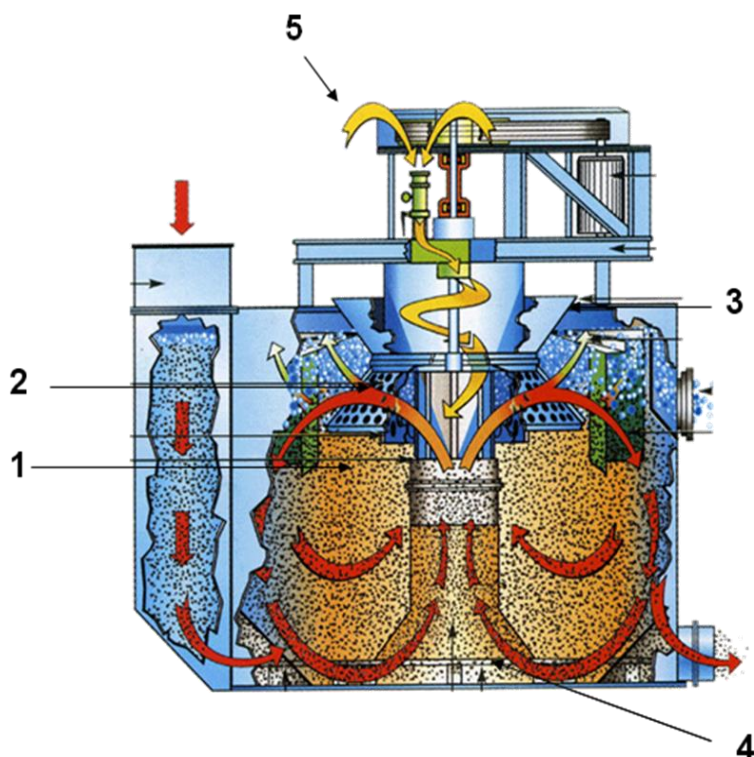


Рис. 3.2.2.2.2. Механическая флотационная машина «WEMCO Smart Cell»:

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



Основной особенностью всех флотационных машин «WEMCO Smart Cell» является цилиндрическая камера со скошенными стенками, разработанная для осуществления наиболее оптимального режима аэрации и перемешивания. В ней можно устанавливать, как механический, так и пневмомеханический импеллер. Всасывающая труба с двойным дном способствует цир-



Рис. 3.2.2.2.3. Флотационные машины «WEMCO 144L» на ЦОФ «Печорская»

куляции и взвешиванию твердых частиц во флотационной камере. Пульпа всасывается через двойное дно в отсасывающую трубу и катушку и подается к ротору, где она смешивается с воздухом и прокачивается обратно в камеру. Конические всасывающие трубы улучшают перемешивание. Двойное дно способствует усилению циркуляции, особенно

крупных частиц, увеличивая скорость пульпы при ее перемещении по днищу в отсасывающую трубу.

Механические флотационные машины типов «WEMCO Smart Cell», «WEMCO 144L» (рис. 3.2.2.2.3) широко применяются и в России, и за рубежом.

3.2.2.3. Пневмомеханические флотационные машины

Пневмомеханические флотационные машины отличаются от механических тем, что аэратор только диспергирует воздух, но не всасывает его. Сжатый воздух в пульпу поступает отдельно при помощи насосов-воздуходувок. Пневмомеханические машины, как правило, прямоточные, т. е. представляют собой общую ванну (нитку), которая формируется из нескольких модулей (рис. 3.2.2.3.1).

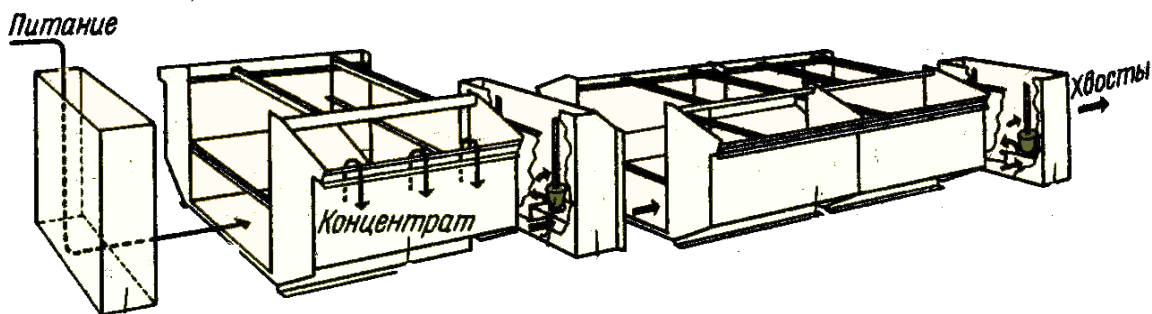
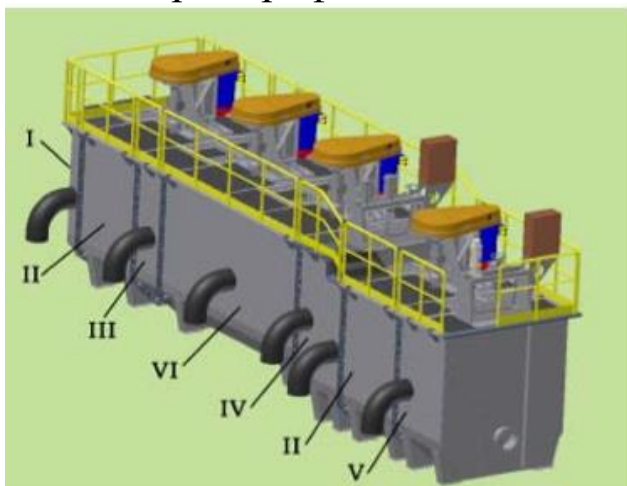


Рис. 3.2.2.3.1. Пневмомеханическая флотационная машина

Например, флотационная машина «РИФ».



Машины «РИФ» компонуются из следующих основных секций (модулей):

- секции приемного кармана (модуль I),
- секции камеры (модуль II),
- секции пенных желобов (модуль III),
- секции промежуточного кармана (модуль IV),
- секции разгрузочного кармана (модуль V),
- секции камеры сдвоенной (модуль VI).

Применение

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

У пневмомеханических флотационных машин есть свои преимущества по сравнению с механическими: за счет лучшей организации потоков пульпы в камере и большей их глубины скорость флотации увеличивается в 1,3-1,5 раза; 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 $-0,074$ мм 40 % и выше. Они имеют простую конструкцию, удобны в эксплуатации (в них легко заменяются и меньше изнашиваются блоки импеллера). Пневмомеханические флотационные машины прямоточные, 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 прямоточных 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

Применение

Пневматические флотомашины применяются для флотации полезных ископаемых простого со-

става, т. е. при простых схемах обогащения. В пневматических флотационных машинах пульпа аэрируется и перемешивается путем особой подачи воздуха под давлением через тонкие капиллярные трубки-форсунки диаметром 0,1 мм и менее.

Наиболее известны машины с подачей воздуха под давлением через форсунки: CoalPro; Пневмофлот (рис. 3.2.2.4.1) (PNEUFLOT cells, фирма-производитель – MBE Coal & Minerals Technology Group Company).

<https://www.mbecoalandmineral.in/> и аэролифтные («Механобр», АФМ-2,5), а также ФПС-16 (пенная сепарация).

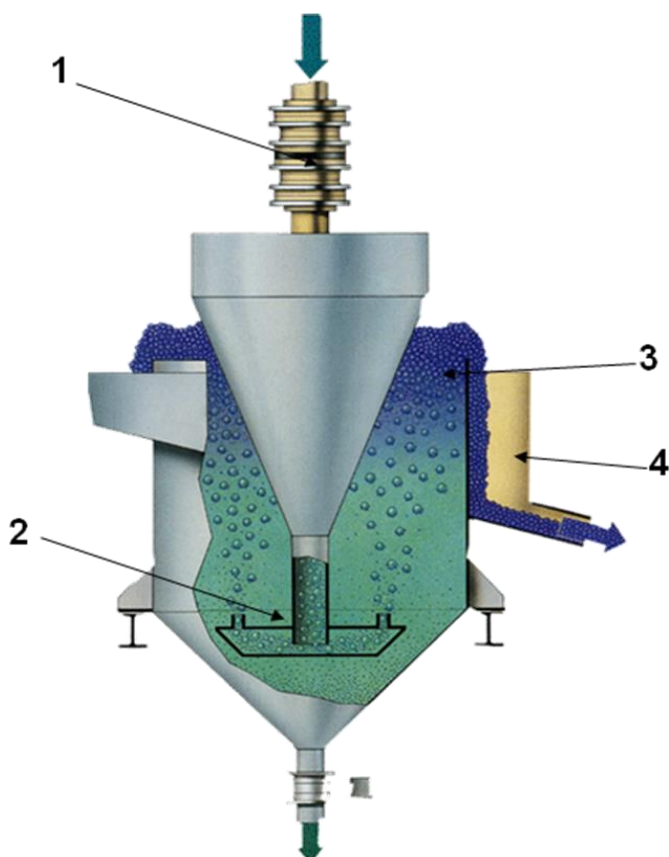


Рис. 3.2.2.4.1. Пневматическая флотационная машина PNEUFLOT cells MBE:

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

Современные пневматические флотационные машины различаются по производительности, для этого их выпускают с камерами разными по объему.

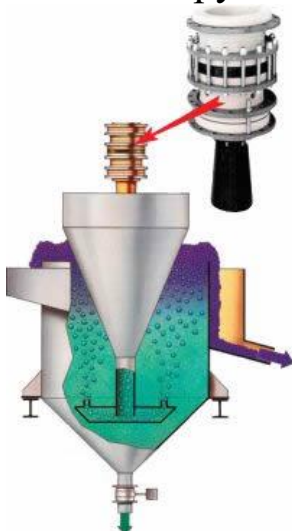
В днище камеры, боковых стенках или по ходу подачи пульпы имеются пористые перегородки или форсунки, через которые нагнетается воздух.

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

Пульпа предварительно аэрируется и смешивается с реагентами перед поступлением во флотационную камеру. Во время закачивания

в камеру тонкодисперсный воздух контактирует с флотационной пульпой посредством аэратора оригинальной конструкции.

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 в течении времени их оседания к распределителю пульпы (дистрибьютеру 2, рис. 3.2.2.4.1).

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.

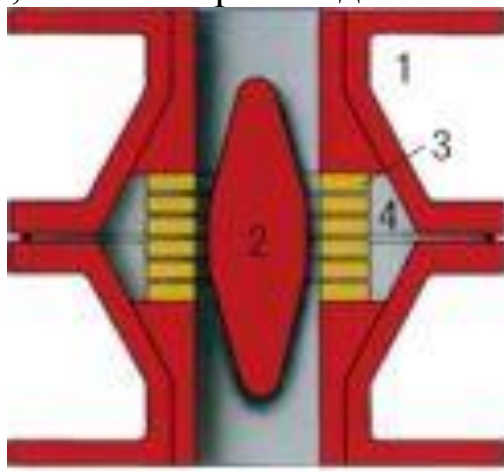


Рис. 3.2.2.4.2. Схематический разрез аэратора:

- 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 пневматических флотационных машин: интенсивность перемешивания ниже, чем у механических; размер пузырьков в 2-3 раза больше, следовательно, низкая удельная производитель-

ность на один кубометр воздуха. Есть вариант повышения производительности подачей воздуха через сопла со сверхзвуковой скоростью. Это обеспечивает тонкое его диспергирование. Недостатками являются также необходимость применения насосов, ненадежность аэраторов у пневматических флотационных машин с аэролифтной загрузкой (зашламование воздух подающих 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, тонко вкрапленных руд, угольных шламов и т. д.?
7. Дайте определение краевому углу смачивания.
8. Со стороны газообразной или жидкой 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 типа ФМ?
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 марганецсодержащие руды, осуществляют доводку концентратов руд редких металлов, регенерацию сильномагнитных утяжелителей и т. д.

Магнитные методы обогащения основаны на различии 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 является технологическим свойством в магнитном обогащении.

По этому свойству минералы делятся на три группы:

Сильномагнитные (ферромагнетики)

– металлы: железо, никель, кобальт;

– минералы-окислы металлов: магнетит ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$); пирротин, маггемит и все ферриты типа ($\text{MeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$).

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

Слабомагнитные (парамагнетики)

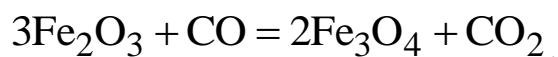
– вольфрамит, биотит, гематит, лимонит, сидерит.

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

Немагнитные минералы (диамагнетики)

– кварц, полевой шпат, кварцит, касситерит, мусковит.

Слабомагнитные минералы железа (гематит, сидерит, лимонит) при обжиге в соответствующих условиях переходят в сильномагнитные магнетит и маггемит. В качестве восстановителя применяют угарный газ CO, получаемый при горении угля или природных газов:



Магнитное обогащение осуществляется в неоднородных магнитных полях, которые создаются магнитной системой сепаратора, состоящей из направленных определенным образом 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.

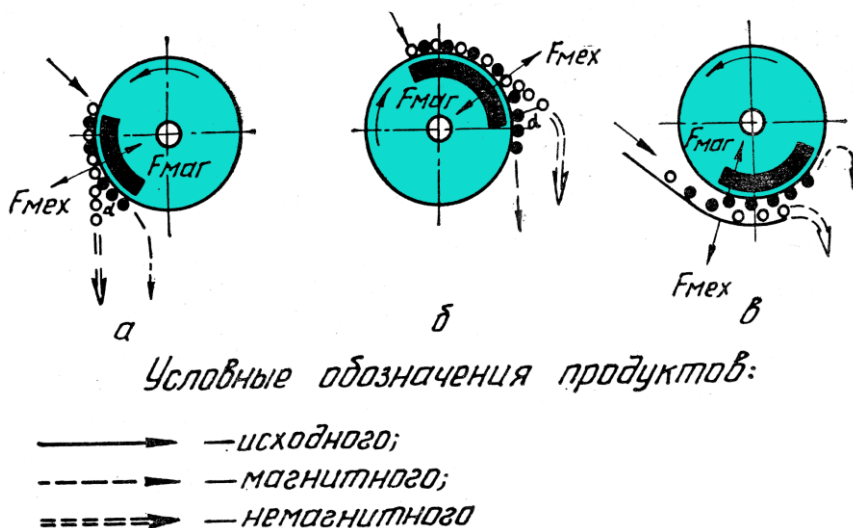


Рис. 3.3.1. Способы разделения частиц по магнитным свойствам: а – отклонение; б – удерживание; в – извлечение магнитных частиц

Крупность частиц, обогащаемых магнитными методами, зависит от размера зерна полезного компонента. Руды обычно имеют

тонкую вкрапленность 3-6 мм и менее. Магнетитовые руды с размером зерна до 40 мм обогащаются сепараторами с постоянными магнитами, более крупные куски руды (до 150 мм) только с помощью электромагнитов.

Применение

Сухая магнитная сепарация обычно применяется при обогащении руд крупностью 3-100 мм. При обогащении более мелкой руды процесс этот имеет недостатки: менее четко разделяются минералы (за счет имеющейся в руде влаги и глинистых примесей частицы слипаются и засоряют продукты обогащения).

Методом мокрой магнитной сепарации обогащается более 75 % железной руды. Мокрая магнитная сепарация не дает пыли, но применяется только для обогащения мелких фракций материала (менее 3 мм).

3.3.1. Магнитные сепараторы

Магнитные сепараторы состоят из ванны; питателя, по которому подается материал на барабан сепаратора; резинового скребка для снятия с барабана магнитного материала и магнитной системы,



Рис. 3.3.1.1. Магнитный сепаратор. Дробильно-обогащительная фабрика (п. Шерегеш). Обогащение магнетитовых руд

встроенной или в барабан, или в валок, или в диск. 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 фракция разгружается в приемник для немагнитного продукта.

Сепараторы для мокрого обогащения сильномагнитных руд (рис. 3.3.1.2) (противоточный магнит-

ный 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 поверхности барабана скребком. Немагнитная фракция разгружается в нижней части ванны сепаратора. Сепараторы для мокрого обогащения сильномагнитных руд используются также для регенерации магнетитовых суспензий, применяемых для отделения углей от породы при обогащении в тяжелых средах.



Рис. 3.3.1.2. Магнитные сепараторы для регенерации магнетитовой суспензии на Печорской ЦОФ

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);
- 2) сепараторы противоточные (рис. 3.3.2.2);
- 3) сепараторы полупротивоточные (рис. 3.3.2.3).

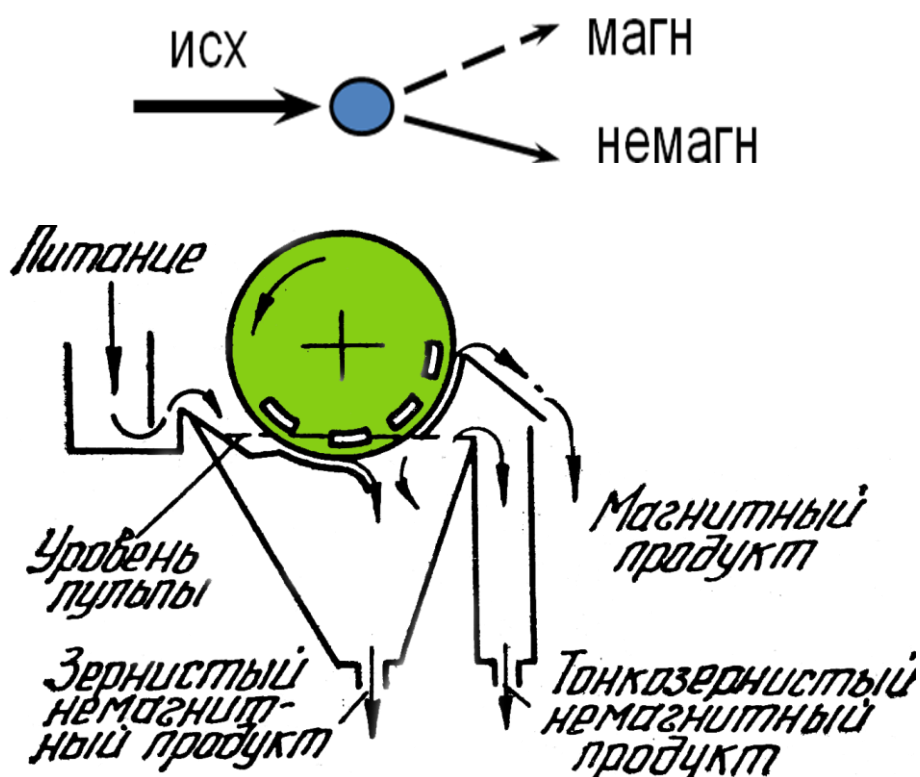


Рис. 3.3.2.1. Схема работы прямоточного сепаратора

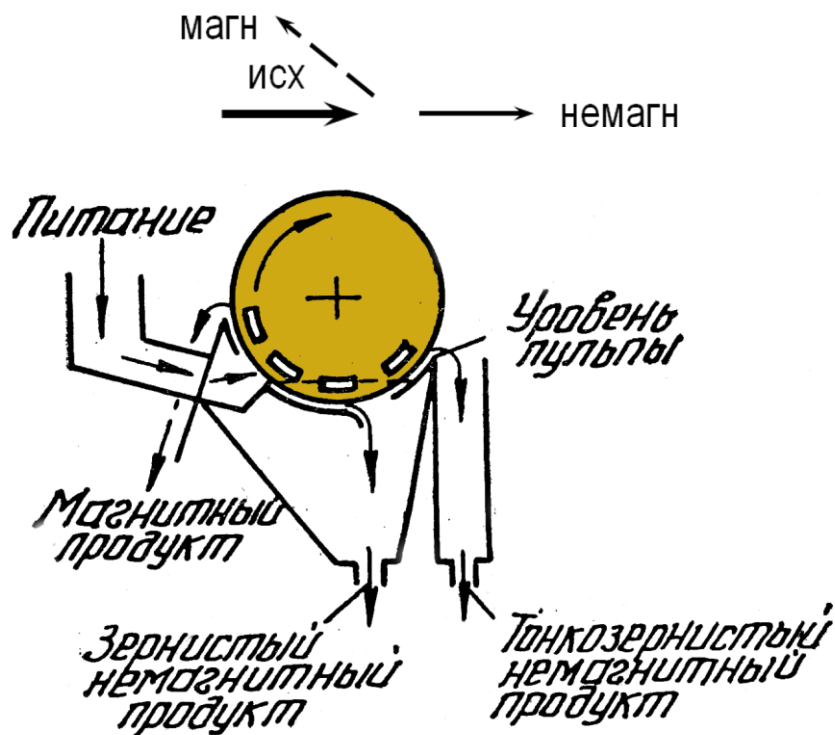


Рис. 3.3.2.2. Схема работы противоточного сепаратора

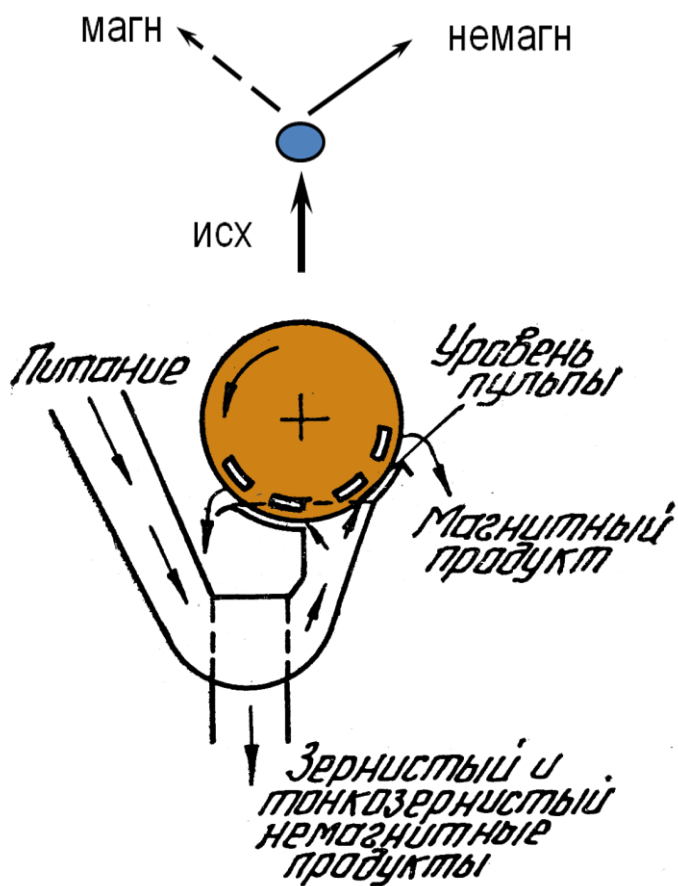


Рис. 3.3.2.3. Схема работы полупротивоточного сепаратора

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;

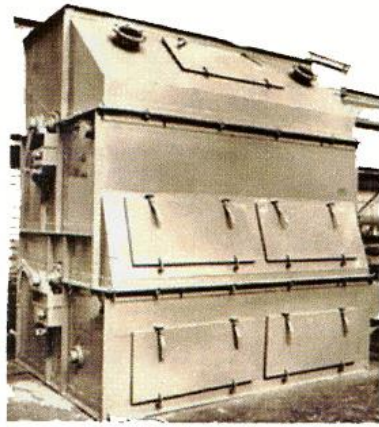
36 – диаметр валка 360 мм;

100 – длина валка 1000 мм.

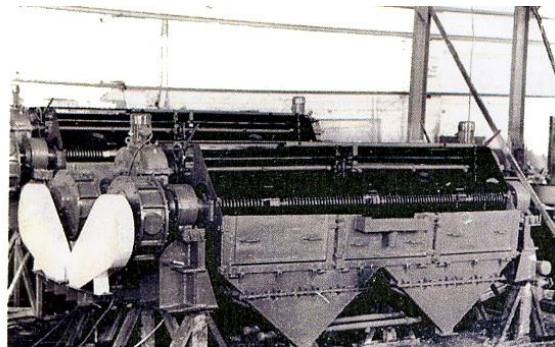
Ответ: 4ЭВС 36/100 – 4-валковый электромагнитный сепаратор для сухого обогащения с диаметром валков 360 мм и длиной 1000 мм.

Практическое задание

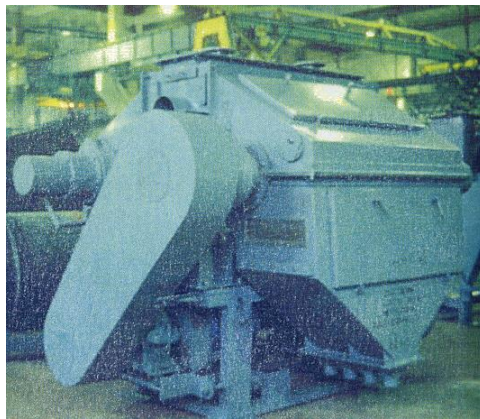
Расшифруйте наименование типоразмера сепараторов:



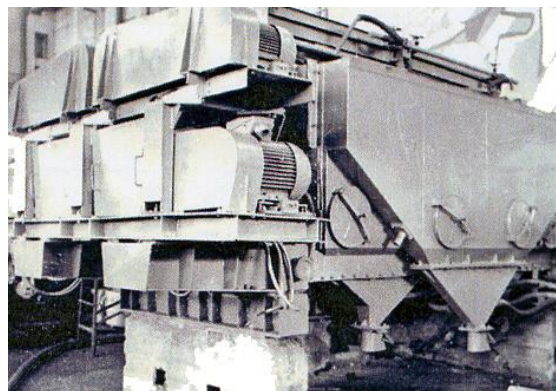
1) 2ПБМ-90/250



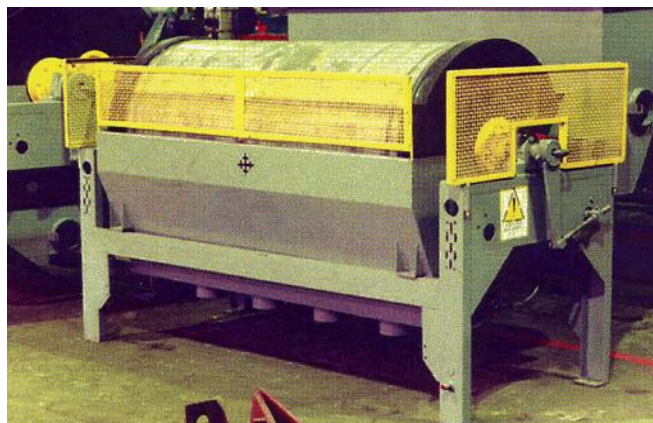
2) 2ЭВМ-38/250



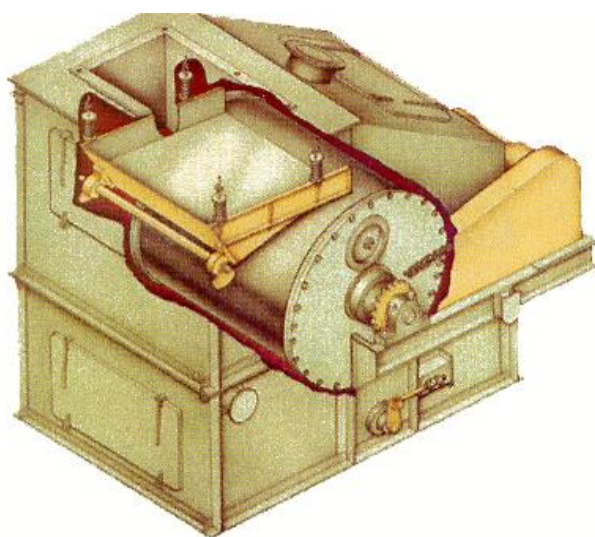
3) 2ЭВС-36/100



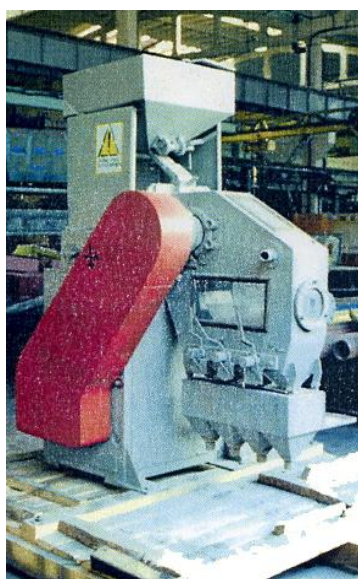
4) 4ЭВМ-40/250



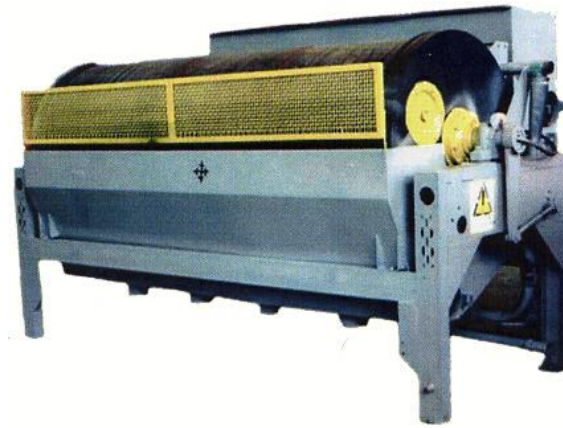
5) ПБМ-90/195



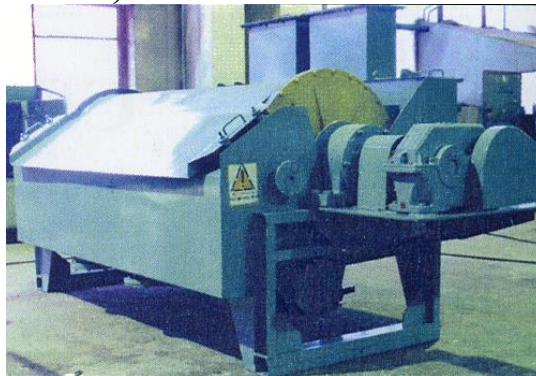
6) ПБС-90/100



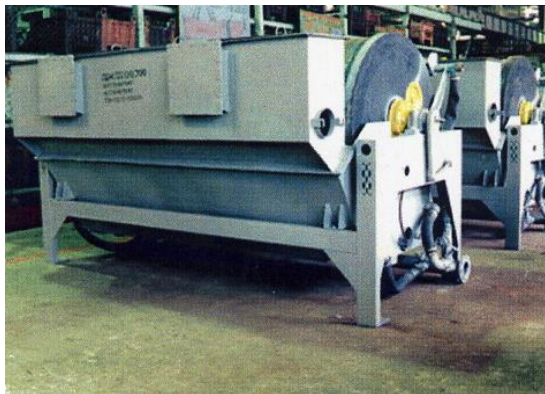
7) ЭВС-28/9



8) ПБМ-90/250



9) ЭБМ-90/250



10) ПБМ-150-200

Магнитные сепараторы производят различные фирмы, например магнитные сепараторы ПБМ-90/250 выпускает компания ООО Рудгормаш <http://www.rudgormash.ru/?page=22>.

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 барабанных сепараторах 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, электризации трением (трибоэлектрический эффект). Частицы предварительно заряжаются контактным электродом; в электрическом поле коронного разряда, радиационным методом (облучение α - и β -лучами); 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.

Применение

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 типов 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 бара-

бан 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.

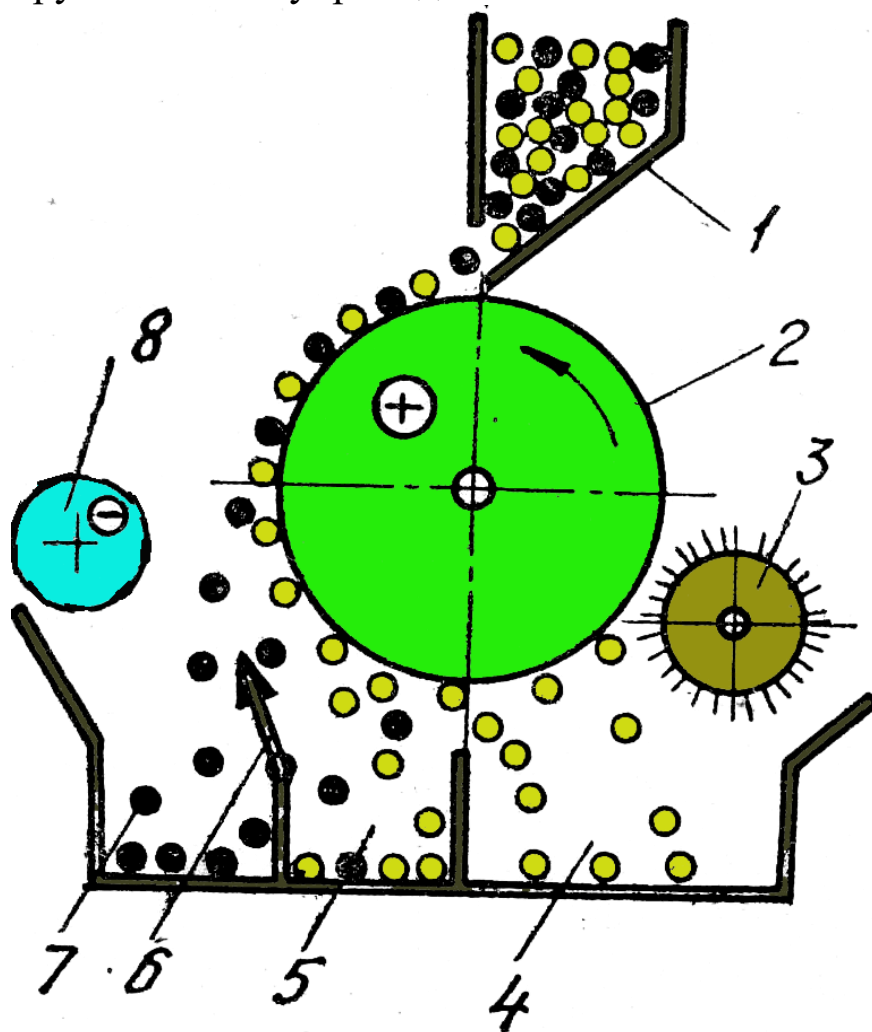


Рис. 3.4.3.1. Электрический барабанный сепаратор:
 1 – бункер; 2 – заряженный барабан (контактный осадительный электрод); 3 – щетки; 4 – бункер для диэлектриков; 5 – бункер для промпродукта; 6 – разделительная перегородка; 7 – бункер для проводников; 8 – отклоняющий электрод

Трибоэлектрический барабанный сепаратор СТЭ
(рис. 3.4.3.2).

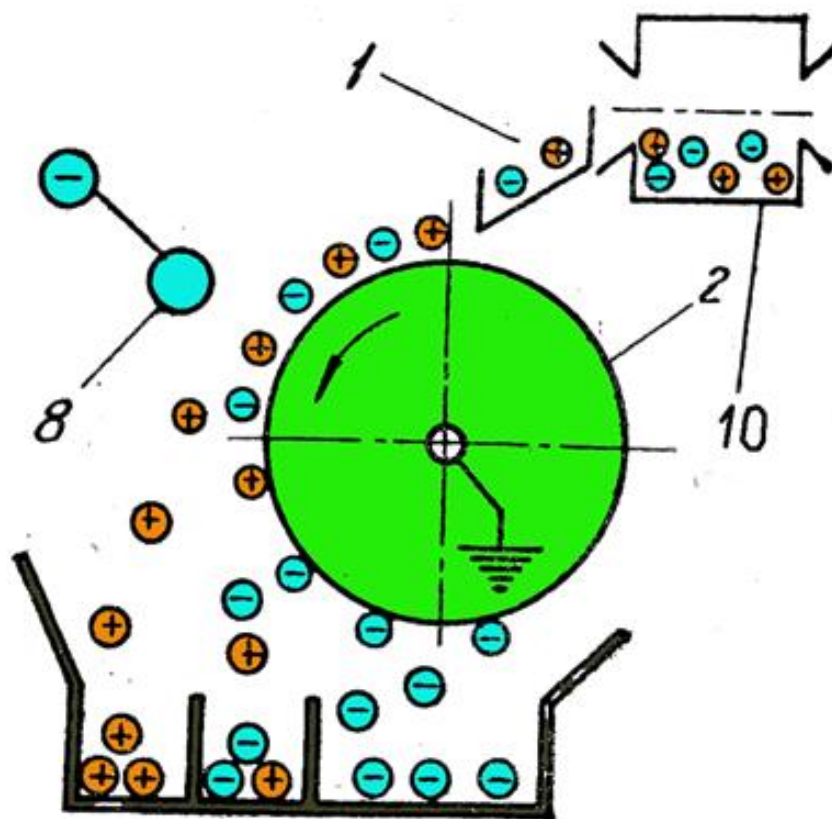


Рис. 3.4. 3.2. Трибоэлектростатический барабанный сепаратор:
1 – бункер; 2 – заземленный барабан (контактный осадительный электрод); 8 – отклоняющий электрод; 10 – электризатор

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.

Коронные и коронно-электростатические сепараторы
(рис. 3.4.3.3).

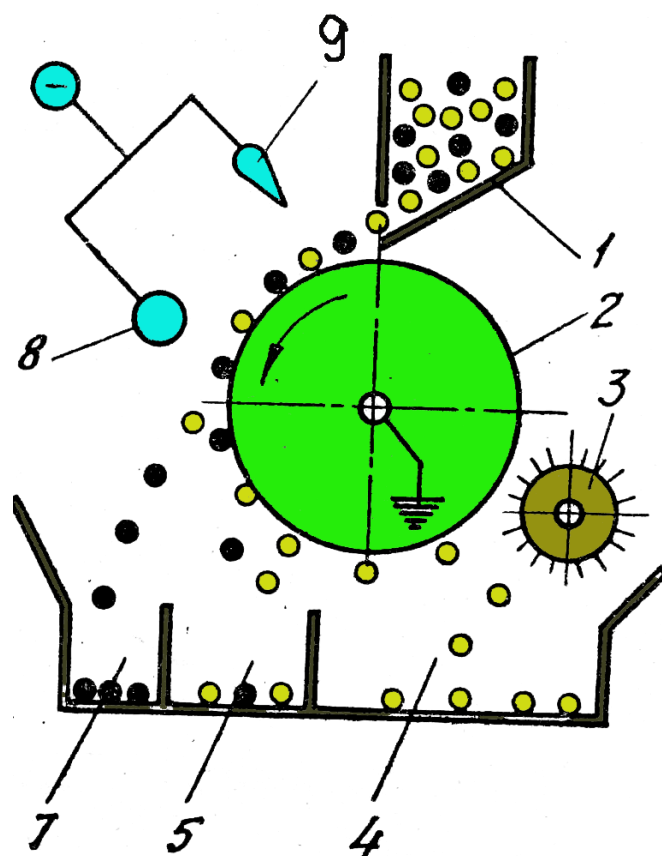


Рис. 3.4.3.3. Коронно-электростатический барабанный сепаратор:
1 – бункер; 2 – заземленный барабан (контактный осадительный электрод); 3 – щетки; 4 – бункер для диэлектриков;
5 – бункер для промпродукта; 7 – бункер для проводников;
8 – отклоняющий электрод; 9 – коронирующий электрод

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 соответственно 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.

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 сепараторов.

3.5. Специальные методы обогащения

Ряд методов обогащения относят к разряду специальных.

Применение

Ручная и механизированная рудоразборка применяется для обогащения слюды, длинноволокнистого 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.

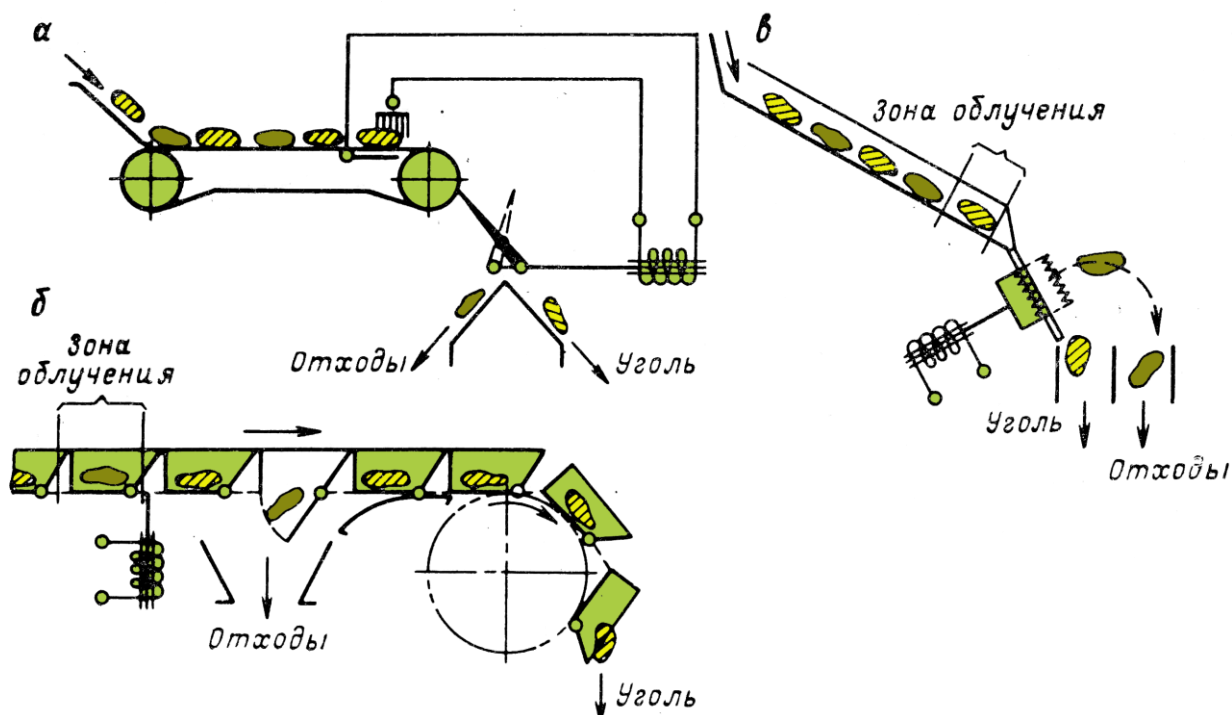


Рис. 3.5.1. Механизированная выборка породы:
 а – электрический сепаратор; б – рентгенометрический сепаратор с ковшовой цепью; в – радиометрический сепаратор с выталкивающим сортировочным устройством

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

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

Методы радиометрического обогащения

Применение

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 γ -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. *Фотометрический метод обогащения* (рис. 3.5.2) осу-

ществляется при механическом разделении минеральных зерен, имеющих разный цвет или блеск, лучепреломление, и применяется для обогащения магнетитовых, кварцевых, мела, золотосодержащих руд из-за различия в свойстве отражать или преломлять лучи.

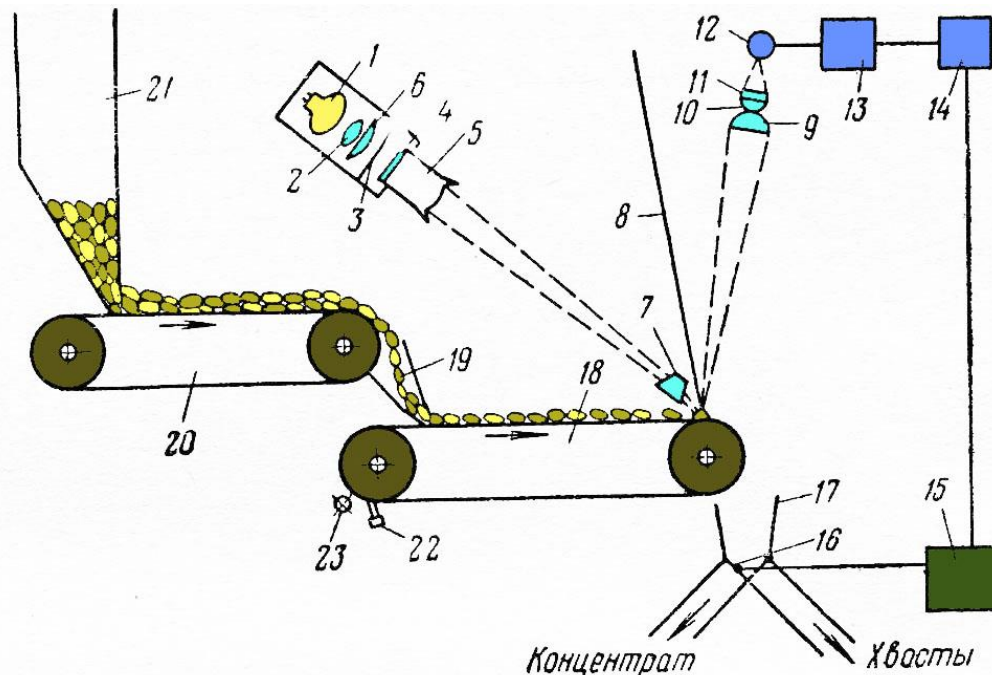


Рис. 3.5.2. Схема оптического сепаратора: 1 – фонарь; 2, 3, 6, 7, 9, 10 – линзы оптической системы; 4 – регулирующая щель; 5 – поляризатор; 8 – светонепроницаемый экран; 11 – анализатор, скрещенный под прямым углом с поляризатором; 12 – фотоумножитель; 13 – источник питания фотоумножителя; 14 – усилитель 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

5. Рентгенорадиометрический применяется для обогащения чаще всего оловянных руд, при этом руды облучаются γ - или X-лучами, затем снимают спектры для определения химического элементного состава минералов.

6. Гамма-абсорбционный применяется для обогащения руд с различной способностью поглощения минералами гамма-излучения. Эффективен при обогащении железных руд, углей и

других полезных ископаемых с высоким содержанием ценных компонентов.

7. Нейтронно-абсорбционный метод основан на использовании различий в ослаблении потока нейтронов разделяемыми минералами. Применяется для обогащения руд бора.

8. Люминесцентный применяется для обогащения руд с различной способностью излучать свет в видимом диапазоне электромагнитных волн при воздействии ультрафиолетового, рентгеновского или γ -излучения. Эффективен при обогащении алмазов.

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.

Применение

Можно избирательно разрушать определенные минералы, составляющие сросток, применяя метод *декрипитации*. Он основан на различной 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, крупные по сравнению с зернами пустой породы или же имеют иную форму. Например, в россыпях драгоценных металлов выделение крупных классов позволяет избавиться от значительной части пустой породы (рис. 3.5.3 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).

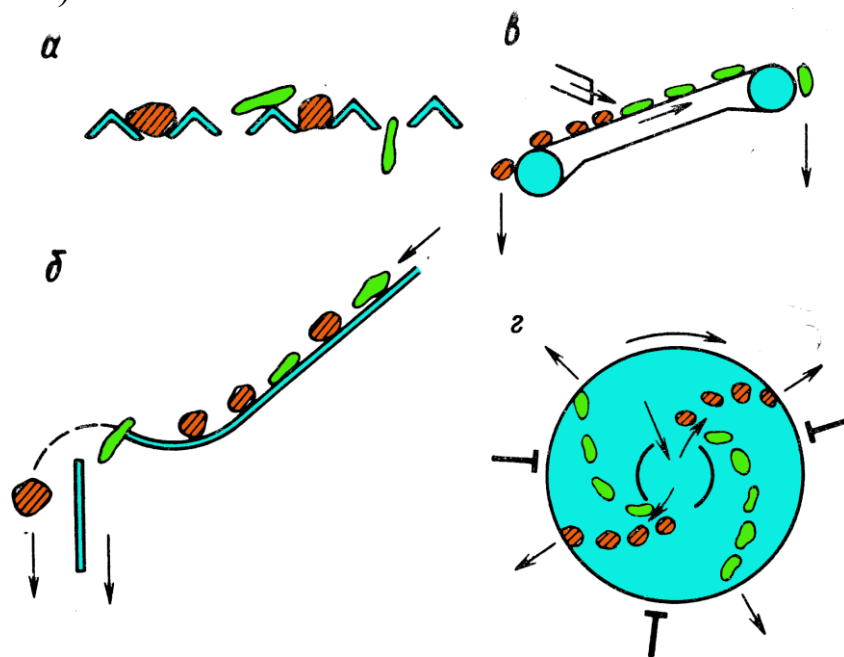


Рис. 3.5.3. Обогащение по крупности, форме и трению

При движении по наклонной плоскости волокнистые и плоские частички скользят, а округлые зерна 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 создает условия для их разделения. Различия в форме зерен и коэффициенте трения позволяет отделять плоские чешуйчатые частички слюды или волокнистые агрегаты 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.

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 лежат в основе **сорбционного способа обогащения** (рис. 3.5.4), например золота. При этом золото подвергают **выщелачиванию** в растворах цианидов, затем золото-содержащий раствор подвергают контакту с ионообменными смолами, прогоняя через колонки.

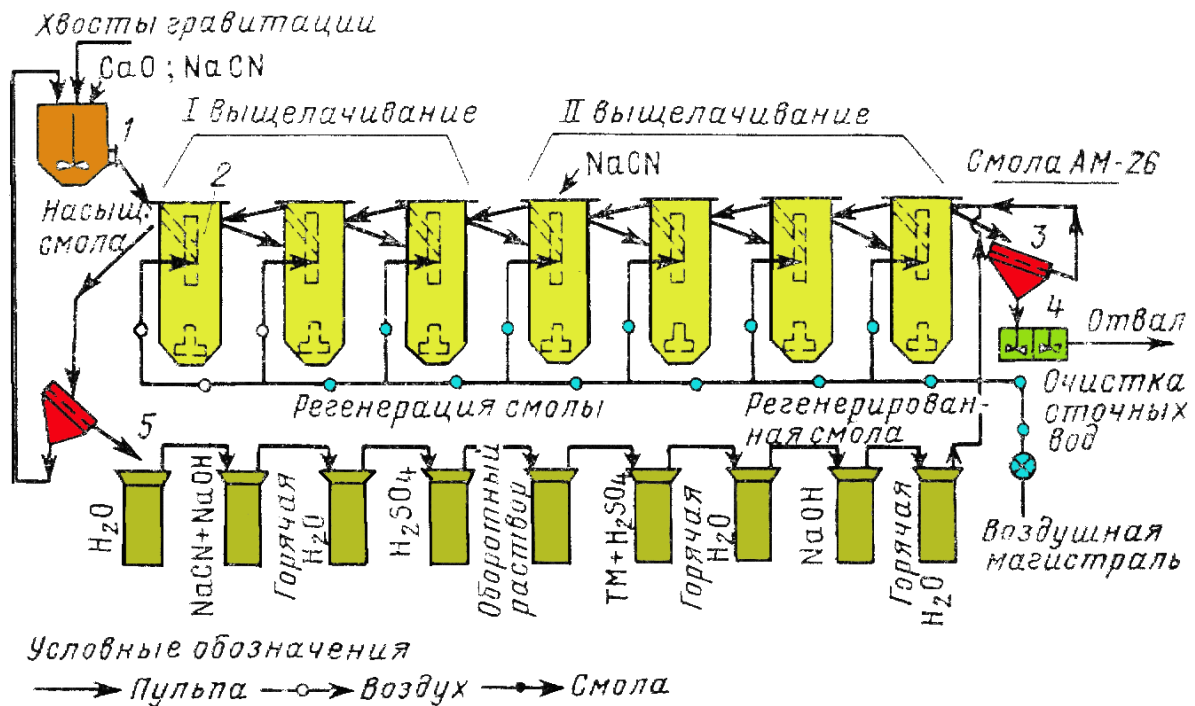


Рис. 3.5.4. Сорбционный способ обогащения растворенного золота с помощью ионообменных смол

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 разной способностью 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 жировых 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 и обесшламливания пульпы, осветления оборотных вод, а также обеспыливания.

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 — 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.

$$W = \frac{Q_{\text{H}_2\text{O}}}{Q_{\text{H}_2\text{O}+\text{руда}}} \cdot 100 \%,$$

где $Q_{\text{H}_2\text{O}}$ – масса воды в продукте; $Q_{\text{H}_2\text{O}+\text{руда}}$ – 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 пленку;

адгезионной – влаги смачивания, которая представлена на поверхности в виде пленки 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 различают следующие продукты обогащения:

Пульпы являются самыми обводненными продуктами – механическими смесями твердого и воды (суспензиями), характеризуются процентным содержанием влаги – влажностью (W) либо массовым отношением жидкого к твердому. Весовое отношение жидкого к твердому обозначается часто как Ж:Т, например, 7:1; 10:1 и т. д. Пульпы обладают текучестью с влажностью не менее 40 % и содержат все виды влаги.

Мокрые продукты имеют влажность в диапазоне $15-25 \% < W < 40 \%$ и содержат часть капиллярной, адсорбционную и другие 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 кристаллизационную влагу (химически связанную), а также в определенной пропорции адсорбционную (в основном гигроскопическую) 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, от его начальной влажности, от гранулометрического и минералогического составов, а также от 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 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 центрифуги.

Фильтрация – 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 обезвоживание минералов под действием силы тяжести при помощи встряхивания или естественным образом. Дренаживание применяют обычно для обезвоживания концентратов, промпродуктов, отходов крупных и средних классов крупности. Это наиболее простой и дешевый способ удаления влаги. *Дренаживанием избавляются от свободной (гравитационной) влаги.*

Применение

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 просеивающей поверхности аппаратов: обезвоживающих грохотах, элеваторах, классификаторах, горизонтальных ковшовых конвейерах, 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 часов. 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 трапецевидной формы диаметром 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0 мм для мелкого материала. Для крупного применяются грохоты двухситные: верхнее сито – штампованное, например 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/м² в 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 – до 10-20 %, шлама – до 22-28 %.

Обезвоживание продуктов обогащения производится также **в элеваторах** при извлечении этих продуктов из отсадочных машин и классификаторов типа багер-зумпфов (рис. 4.1.3.2).

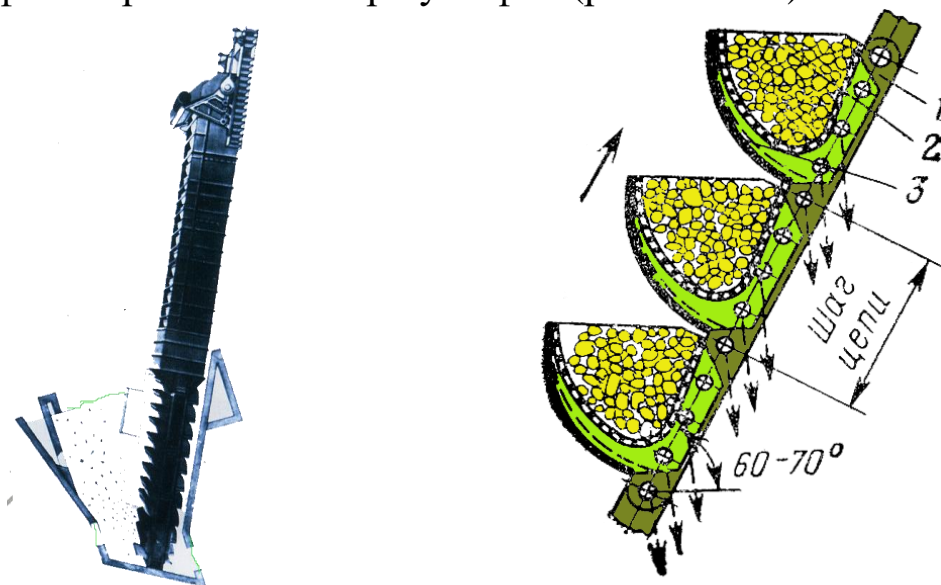


Рис. 4.1.3.2. Классификатор с обезвоживающим элеватором:
1 – зубчатая или цепная передача; 2 – ковш с щелевидными отверстиями; 3 – стальные листы, отводящие воду

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 тяжелые 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 осаждают из пульпы, обезвоживают сгущенный осадок и утилизируют. Процесс осадения 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 флокулы. Обладая бóльшим объемом и массой, чем шламовые частицы, они преодолевают вязкость среды и осаждаются под действием гравитационных сил. Механизм образования флокул 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 присоединиться 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 (химически связанного) покрытия участков поверхности частиц* и понижения за счет этого электрохимического потенциала поверхности частиц, что приводит к их коагуляции и образования агрегатов.

Применение

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 осадения частиц из пульпы происходит одновре-

менно осветление шламовой воды (рис. 4.1.4.1), которая поступает обратно в технологический процесс.

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 условиями применения флокулянта. Активность флокулянтов повышается по мере увеличения их молекулярной массы, но одновременно уменьшаются их способности к диспергированию. Молекулярная масса эффективных высокомолекулярных флокулянтов более 10^6 .

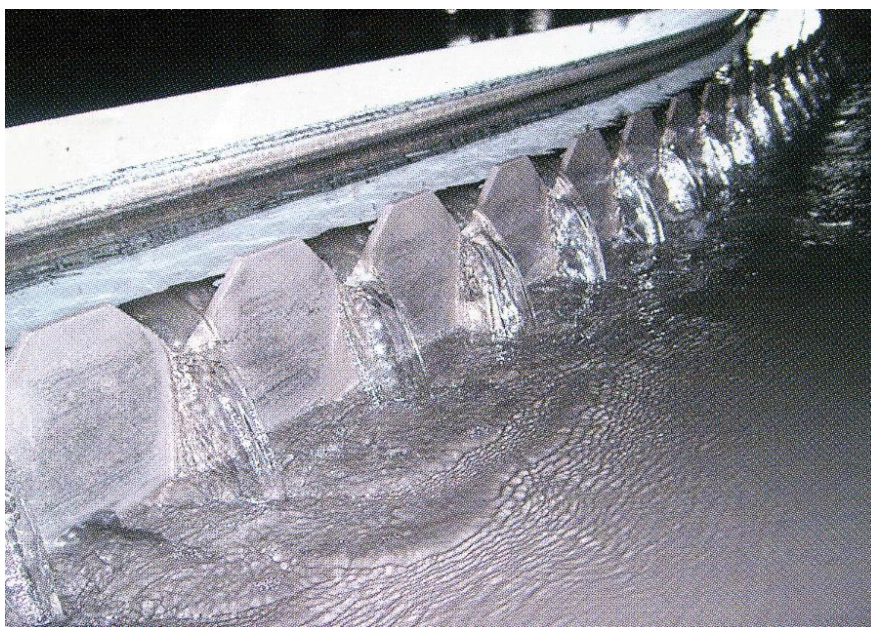


Рис. 4.1.4.1. Перелив радиального сгустителя, получаемый после осветления

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 2 до 25 м (с центральным приводом) и от 15 до 200 м (с периферическим).

Содержание твердого в сгущенном продукте: 400-500 г/л.



Рис. 4.1.4.2. Сгуститель 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.

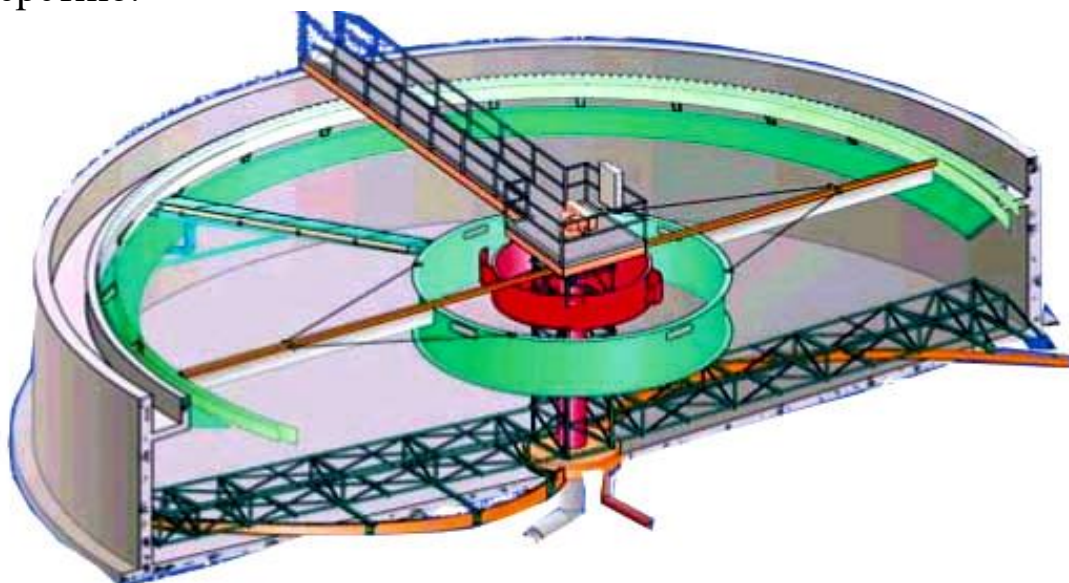


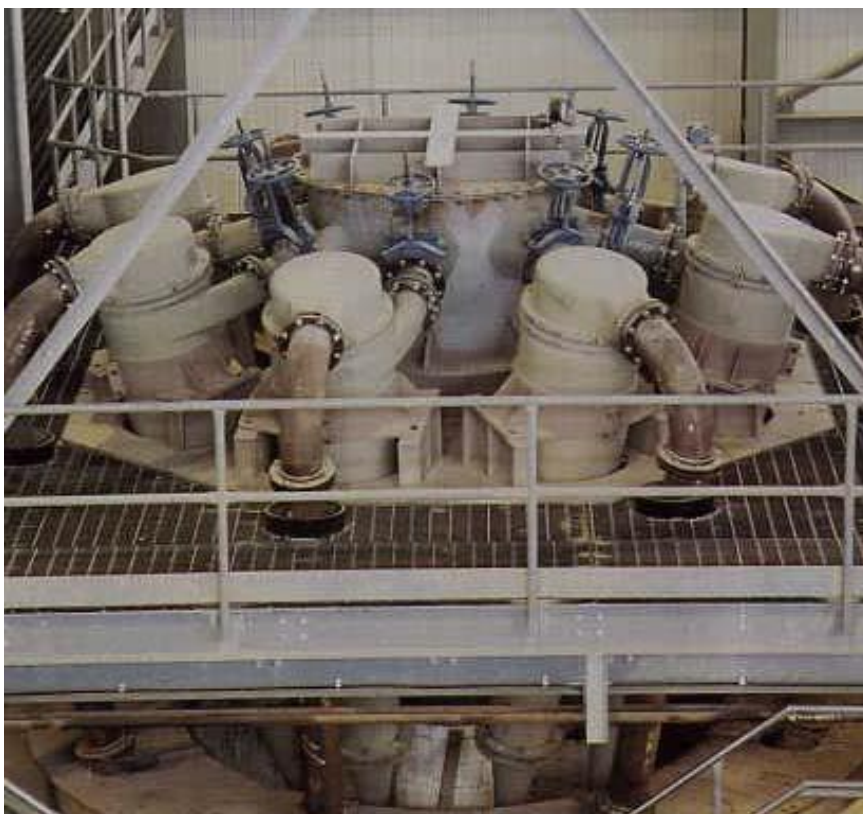
Рис. 4.1.4.3. Сгуститель радиальный с центральным приводом:
1 – чан; 2 – подвижная ферма; 3 – неподвижная ферма;
4 – круговой рельс; 5 – опорная головка;
6 – вращающаяся часть опорной головки

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. <http://www.mpoltd.ru/mashiny-i-oborudovanie/sgustitel-radialnyj-plastinchatyj.html>

Сгустительные воронки имеют площадь поверхности осаждения 7-15 м² и используются для дополнительного сгущения шлама, например для частичного обезвоживания сгущенного продукта радиального сгустителя.

Гидроциклоны широко известны как аппараты-классификаторы.



<https://www.uralmetallholding.ru/catalog/gidrociklony/>

В процессе разделения частиц по размерам гидроциклоны одновременно сгущают продукт, состоящий из наиболее крупных частиц – песков, и поэтому одновременно являются сгустителями. Для сгущения шламов применяют гидроциклоны больших размеров

Рис. 4.1.4.4. Гидроциклоны

размеров 600-1500 мм, которые чаще всего устанавливают вертикально или под большим углом наклона к горизонту (рис. 4.1.4.4).

Пластинчатые сгустители – сгустители с наклонными пластинами (рис. 4.1.4.5).



Любая поверхность 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.

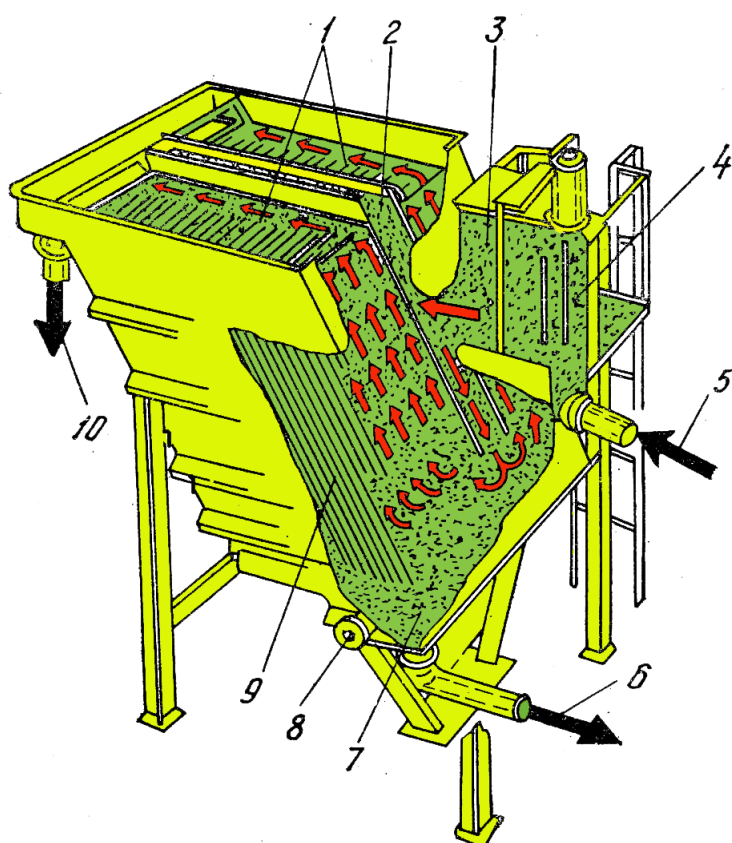


Рис. 4.1.4.5. Сгуститель с наклонными пластинами:

- 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. Центрифуги отличаются по конструкции и принципу действия. Известны два типа обезвоживающих центрифуг: фильтрующие и осадительно-фильтрующие центрифуги. Фильтрующие центрифуги обезвоживают материал крупностью кусков 2-25 мм, осадительно-фильтрующие – крупностью 0-2 мм. Центрифуги предназначены для обезвоживания концентратов и промежуточных продуктов обогащения.

Применение *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 %.

Фильтрующие центрифуги бывают шнековые (рис. 4.1.5.1), вибрационные (рис. 4.1.5.3) и инерционные, отличающиеся по принципу разгрузки обезвоженного материала.

Аппараты: ФВШ <http://www.zaoplatov.ru/equipment/miner?n=201>; ВШП-32; «Рейнвельд» (Нидерланды, Англия, Франция); НВВ (с вибрационной разгрузкой); ВГ – горизонтальная вибрационная; вибрационная фильтрующая центрифуга HSG-1100.

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. 4.1.5.1. Центрифуга фильтрующая вертикальная шнековая ФВШ-100С-1

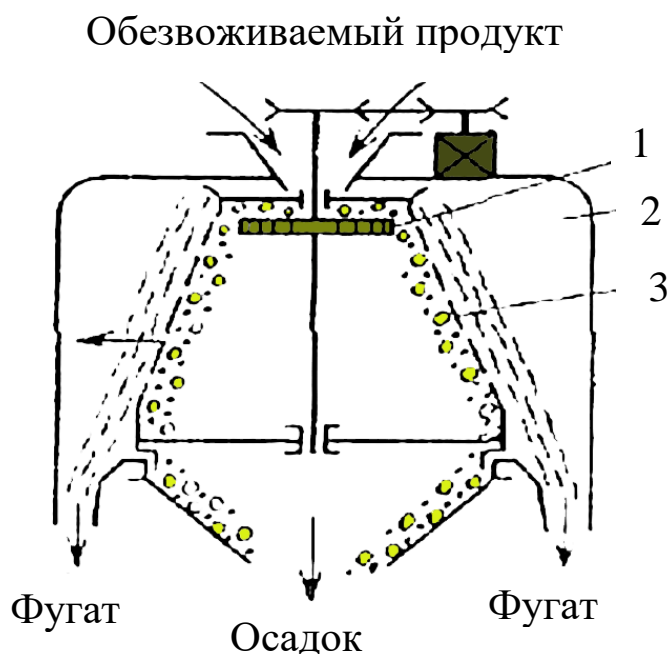


Рис. 4.1.5.2. Схема центрифуги фильтрующей вертикальной шнековой: 1 – распределительное устройство для обезвоживаемого материала; 2 – корпус; 3 – ротор

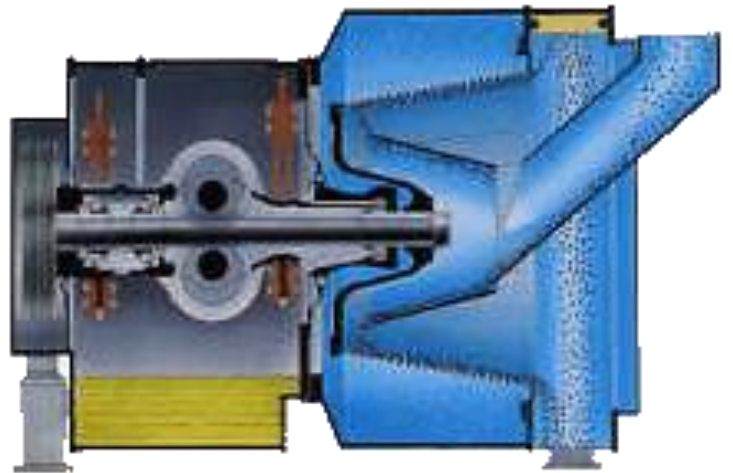


Рис. 4.1.5.3. Центрифуга фильтрующая вибрационная HSG-1100

Центрифуги с вибрационной выгрузкой отличаются автоматической очисткой поверхности сит и более интенсивным отделением влаги. Влажность обезвоженного угля класса 0-13 мм составляет $W_{0-13} = 7-8 \%$, на центрифуге HSG-1100W – не более 7 %.

Применение

Осадительные и осадительно-фильтрующие центрифуги (рис. 4.1.5.4) используются для обезвоживания мелких классов руды крупностью кусков 0-2 мм и осветления оборотных вод углеобогатительных фабрик.

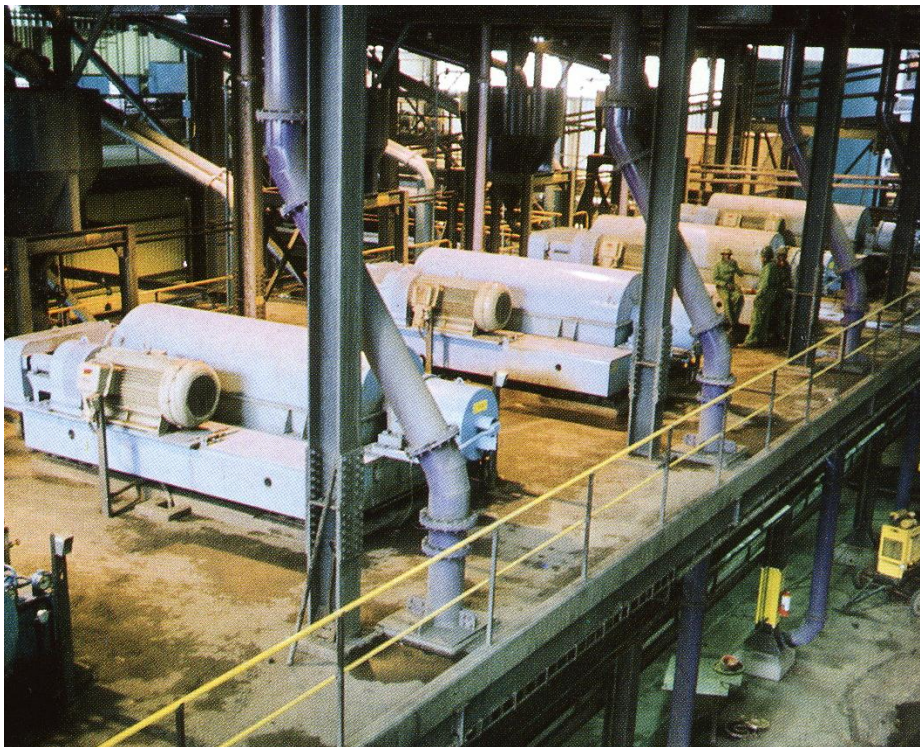


Рис. 4.1.5.4. Осадительно-фильтрующие центрифуги

Аппараты: «Декантер» <http://andritz-se.ru>; Flottweg и др. Ротор «Декантера» (рис. 4.1.5.5) расположен горизонтально, внутри него размещен шнек и фильтрующая насадка. Ротор функционально разделен на две части: осадительную и фильтрующую. Некоторые центрифуги, например Flottweg не имеют фильтрующей насадки и называются *осадительными*.

Влажность обезвоженного осадительно-фильтрующими центрифугами угольного шлама – 14-16 %.

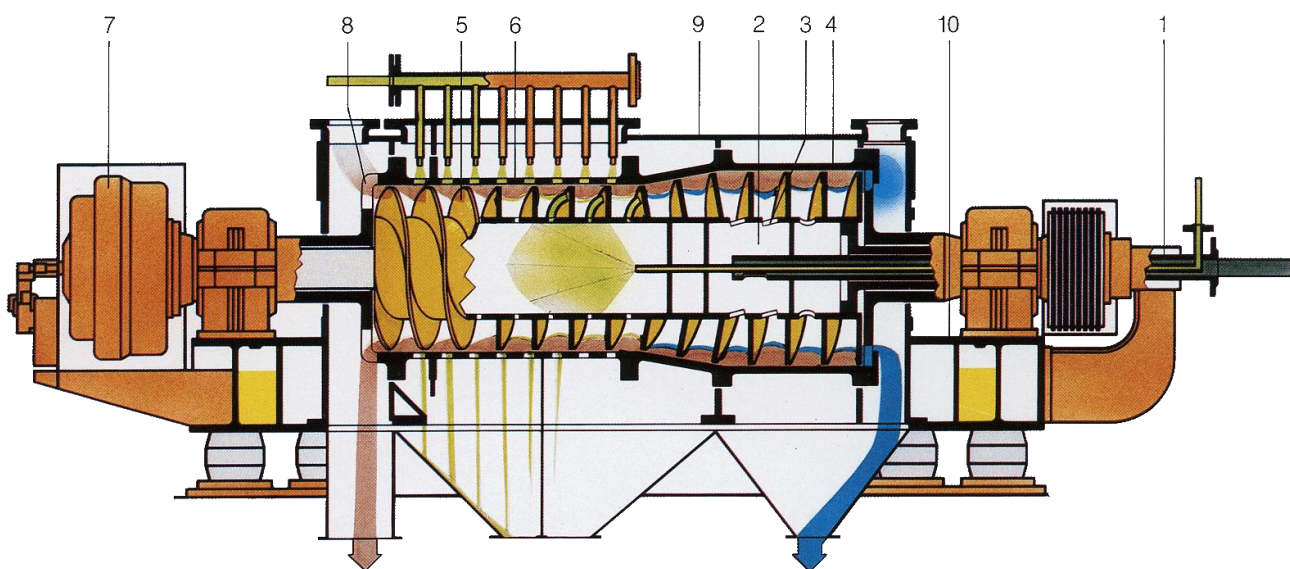


Рис. 4.1.5.5. Осадительная центрифуга «Декантер»:

- 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 твердые частицы суспензии осаждаются на стенках барабана. В *осадительной части* барабана отделенная центрифугированием жидкость (отжатая) течет навстречу передвижению осадка шнеком 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 менее 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

Рис. 4.1.6.1. Флотофильтровальное отделение

от воды ленточными и барабанными фильтр-прессами.

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.

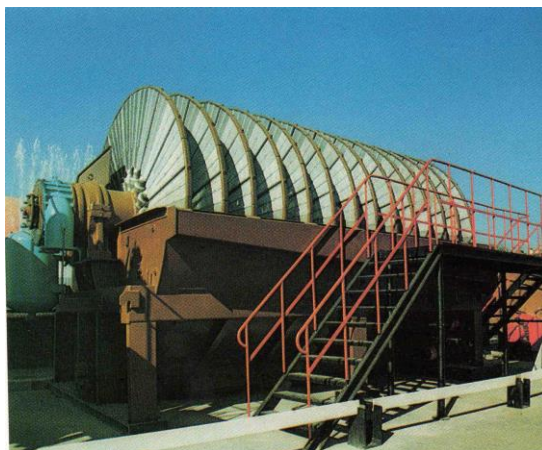


Рис. 4.1.6.2. Дисковый вакуум-фильтр ДУ-250 Сибирь

На углеобогащательных фабриках применяются вакуум-фильтры «ANDRITZ» <http://andritz-se.ru> (рис. 4.1.6.3), ДУ-250 Сибирь, Украина-80 и др.



Рис. 4.1.6.3. Дисковый вакуум-фильтр фирмы «ANDRITZ»

Производительность дисковых вакуум-фильтров и эффективность обезвоживания зависят от содержания гидрофильных и осо-

бенно глинистых (высокодисперсных) частиц в питании фильтра, которые приводят к образованию обводненных осадков и зашламовке фильтрующей ткани. Процесс протекает качественнее и быстрее с применением флокулянтов.

Фильтры высокого давления (гипербарические) (рис. 4.1.6.4) и дисковые вакуум-фильтры предназначены для обезвоживания концентратов с диаметром частиц менее 0,5 мм (флотационного концентрата). Фильтры высокого давления работают по тому же принципу, но система фильтрующих дисков заключена в барокамеру.

Применение

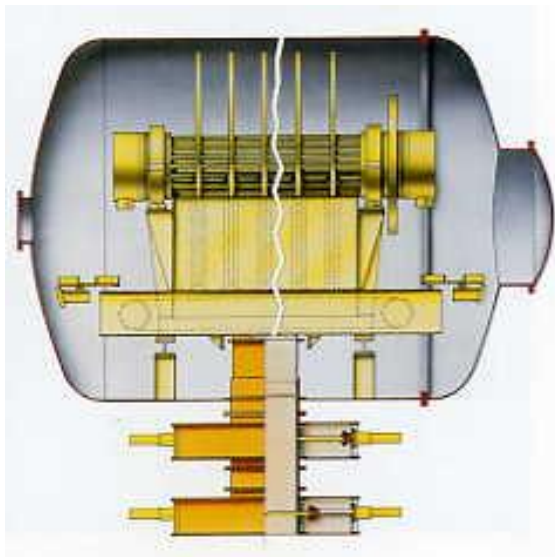


Рис. 4.1.6.4. Фильтры высокого давления фирмы «ANDRITZ»

Применение

Фильтр-пресс ленточный (рис. 4.1.6.5) предназначен для обезвоживания породных шламов и мелких частиц породы (отходов флотации, спиральных сепараторов и т. д.).

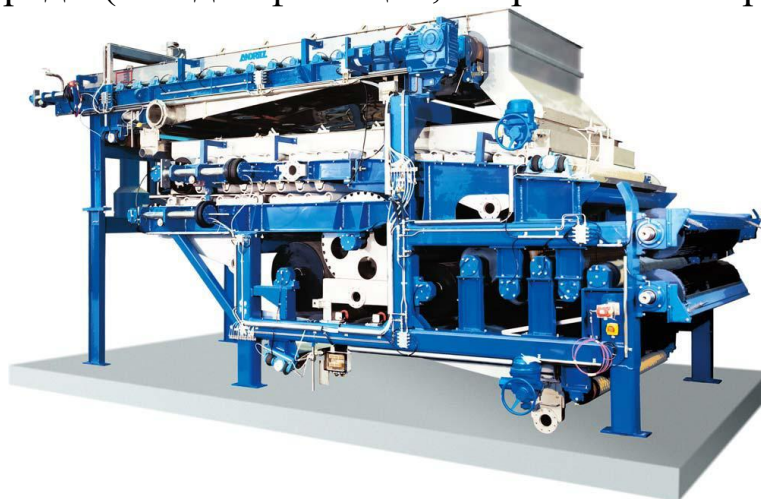


Рис. 4.1.6.5. Ленточный фильтр-пресс фирмы «ANDRITZ»

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).

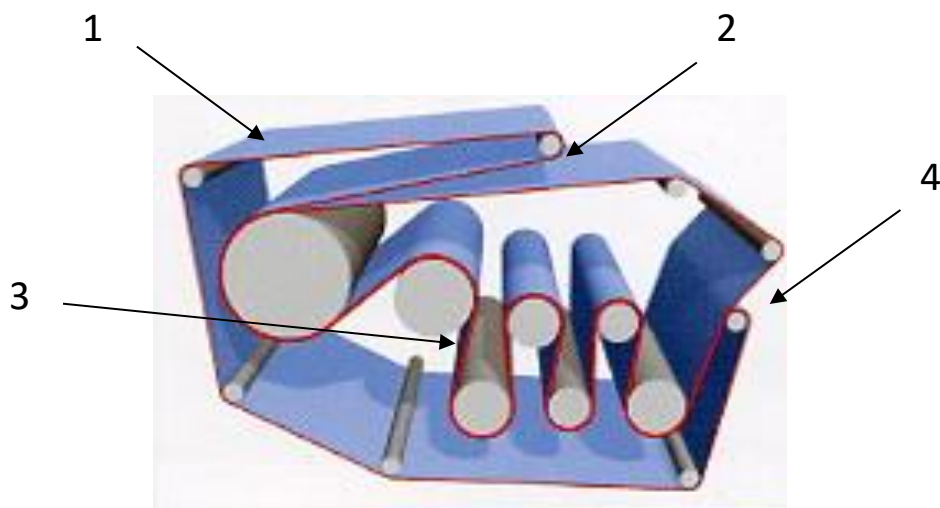


Рис. 4.1.6.6. Иллюстрация принципа работы ленточного фильтр-пресса: 1 – зона гравитационного дренажа; 2 – клиновидная зона; 3 – зона сжатия-сдвига; 4 – зона разгрузки осадка фильтр-пресса

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 волок. 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.

Применение

Сушка применяется для частично обезвоженных продуктов: руд с размерами частиц менее 5 мм и

коксуемых марок углей с размерами частиц менее 13 мм. 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 углеобогащательной фабрике (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 °С. Выходящие из топки газы имеют температуру около 1100 °С, но их объема недостаточно для сушки материала, поэтому в сушку добавляют некоторое количества воздуха из атмосферы. Температура то-

почных газов и пара на выходе 70-150 °С. 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.

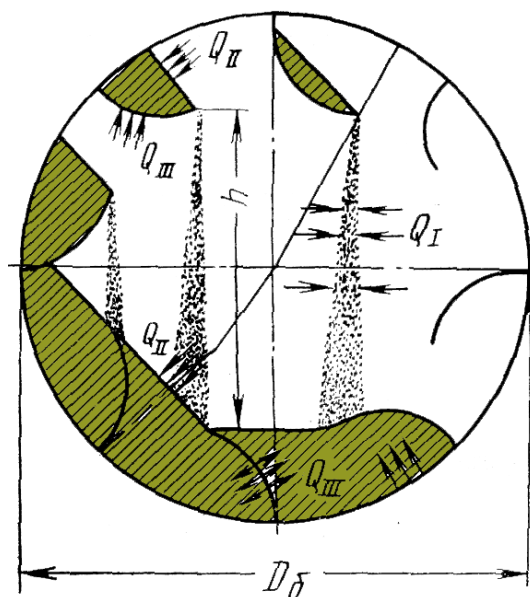


Рис. 4.1.7.3. Схема передачи тепла в сушильном барабане в процессе его вращения и перемешивания материала с помощью насадок-лифтеров

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.

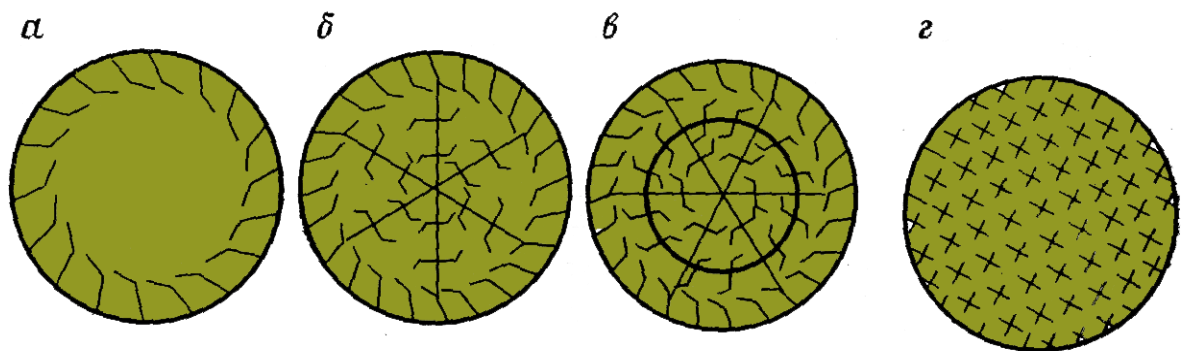


Рис. 4.1.7.4. Внутренние насадки барабанных прямоточных сушилок: а – периферийная; б – секторная; в – секторная с внутренним кольцом; г – крестообразная

Со стороны загрузки материала (рис. 4.1.7.5) производится подача горячего газа из топки (1) в барабан (2) при помощи вентилятора-дымососа (5).

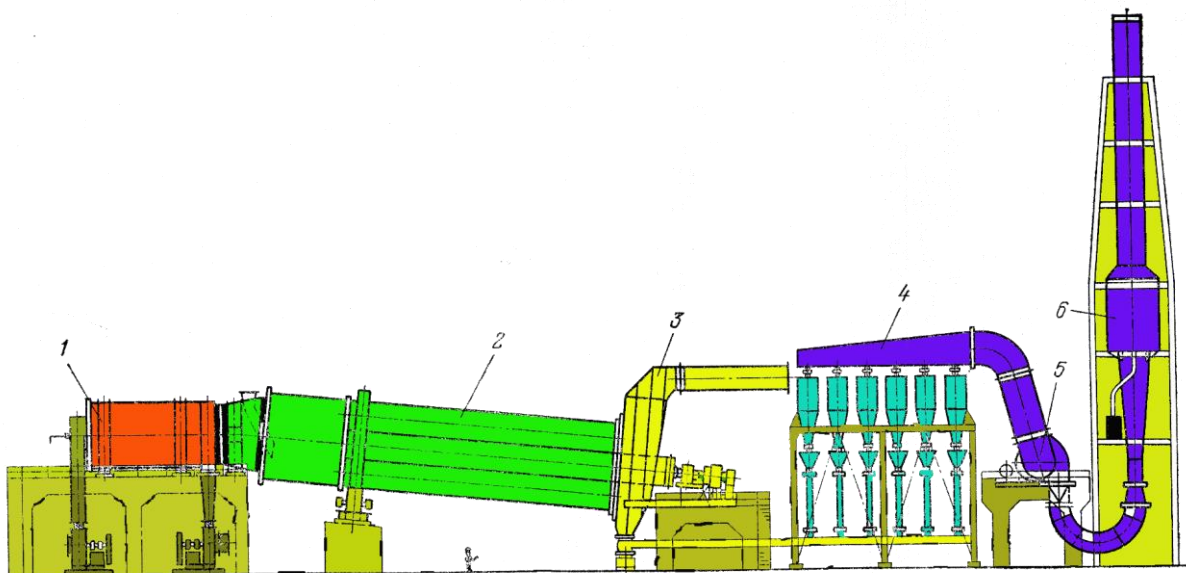


Рис. 4.1.7.5. Крупногабаритная барабанная сушильная установка с газоочистными сооружениями:

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.

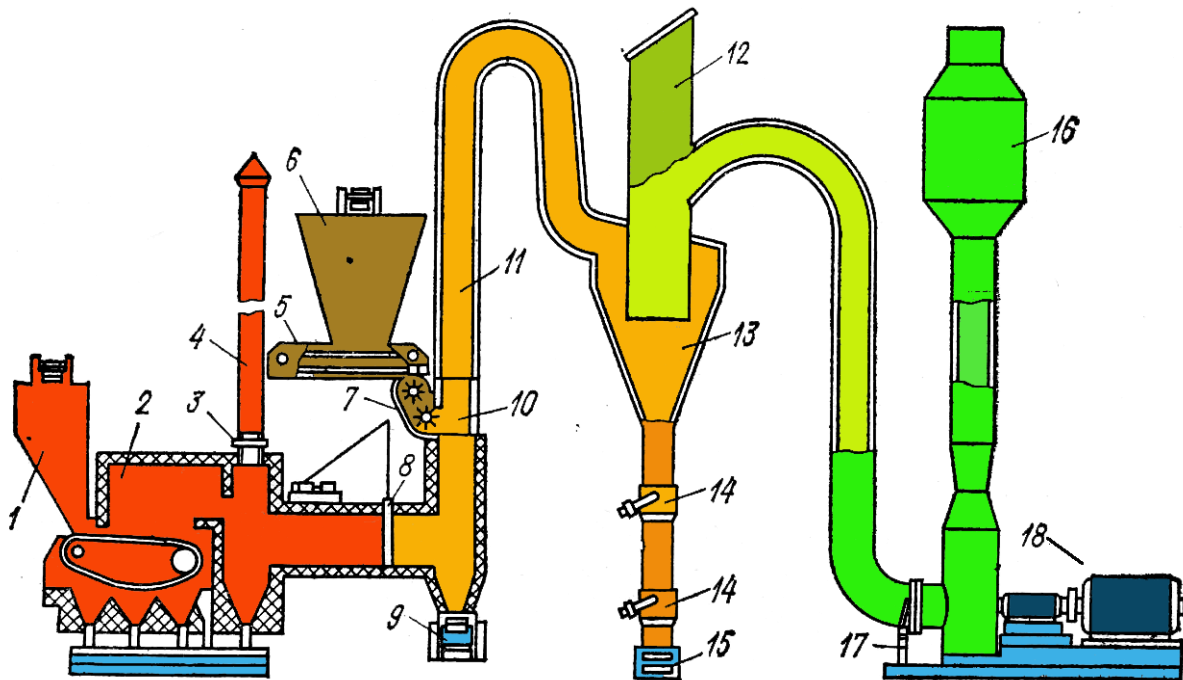


Рис. 4.1.7.6. Схема установки с трубой-сушилкой:

- 1 – топливный бункер; 2 – топка; 3 – клапан растопочной трубы; 4 – растопочная труба; 5 – скребковый питатель;
- 6 – бункер влажного угля; 7 – загрузочное устройство;
- 8 – шибер борова топки; 9 – провальная часть;
- 10 – загрузочная часть трубы-сушилки; 11 – труба-сушилка;
- 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 ленточ-

ный 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/м³ч.

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?

9. Какова крупность подвергаемых дренированию частиц?

10. Какова влажность обезвоженных продуктов?

11. Что собой представляет процесс сгущения?

12. Назовите принципиальное устройство аппаратов, используемых для сгущения пульпы: радиального сгустителя, гидроциклона, пластинчатого сгустителя.

13. Что представляют собой реагенты-флокулянты и чем они отличаются от реагентов-коагулянтов?

14. Каким образом осуществляется процесс центрифугирования?

15. Каким образом обезвоживаются продукты в фильтрующих центрифугах? Для какой крупности кусков они предназначены?

16. Чем отличаются фильтрующая вертикальная шнековая центрифуга от фильтрующей вибрационной?

17. Назовите область применения, конструкцию, принцип действия осадительной центрифуги «Декантер».

18. Каким образом классифицируются магнитные сепараторы по способу удаления продуктов обогащения?

19. Дайте определение процессу фильтрования. В чем заключается сущность этого процесса?

20. Назовите область применения, принципиальное устройство и действие дисковых вакуум-фильтров.

21. Назовите область применения, принципиальное устройство и действие ленточных фильтр-прессов.

22. Назовите основные типы сушильных агрегатов.

23. 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.

В шихту для прессования добавляют связующие вещества: жидкое стекло, известь, сульфид-спиртовую барду и т. д. Расход 6-8 % к шихте.

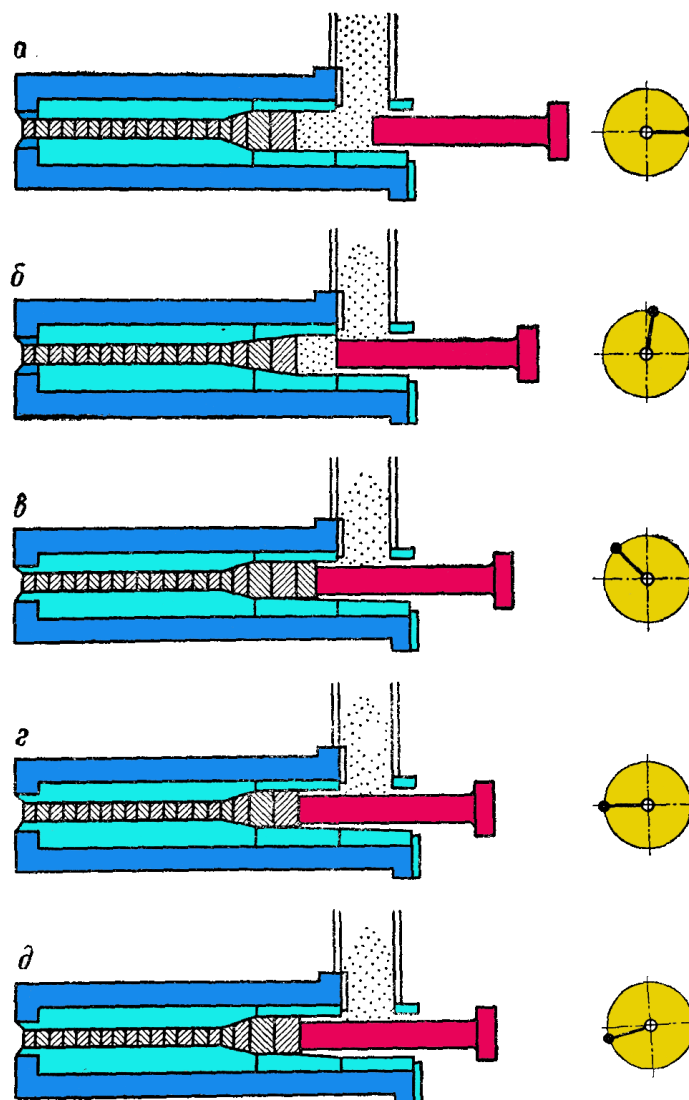


Рис. 5.1.1. Схема процесса брикетирования с помощью штемпельного пресса

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 вещества, которые интенсифицируют процесс: известь, мел, бентонит и т. д., и подвергают окомкованию. Аппараты: барабанные и чашевые (рис. 5.1.2) окомкователи.

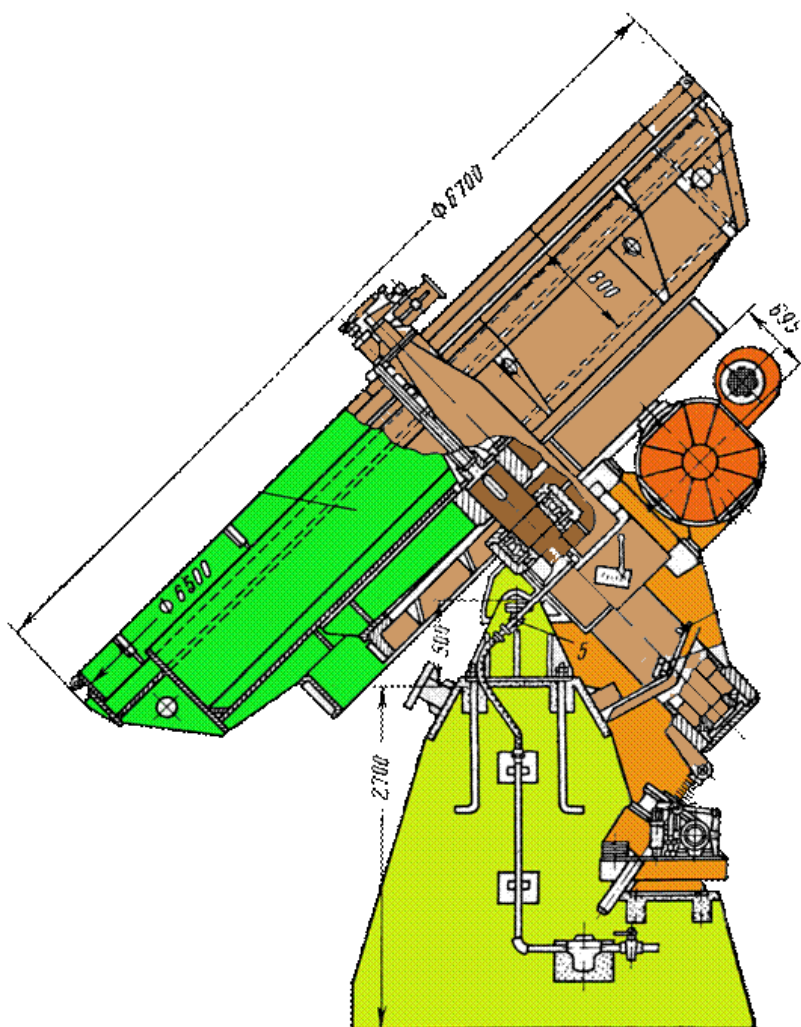


Рис. 5.1.2. Чашевый окомкователь

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. Т. IV : учебник для вузов / А. А. Абрамов. – Москва : МГУ, 2008. – 710 с.
2. Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых : учебник для вузов: в 2 т. – Москва : 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 томах. Т. 2. Технология обогащения полезных ископаемых: учебник для вузов / А. А. Абрамов. – Москва : МГУ, 2004. – 509 с.
4. Кармазин, В. В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых: в 2 томах. Т. 1. Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых: учебник для вузов / В. В. Кармазин, В. И. Кармазин. – Москва : МГУ, 2005. – 670 с.
5. Справочник по обогащению углей / под ред. И. С. Благова, А. М. Коткина, Л. С. Зарубина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1984. – 614 с.
6. Современная техника и технология обогащения российских углей : каталог-справочник / Л. А. Антипенко, Ю. Е. Кирюхин, А. А. Гуцин, Ю. А. Толченкин ; под общ. ред. В. М. Щадова. – Кемерово : Кузбассполиграфиздат, 2008. – 310 с.
7. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования : каталог-справочник / под общ. ред. В. М. Щадова / сост. Г. С. Головин, А. С. Малолетнев. – Москва : НТК Трек, 2007. – 292 с.
8. Шилаев, В. П. Основы обогащения полезных ископаемых. – Москва : Недра, 1986. – 296 с.
9. Фридман, С. Э. Основы обогащения руд и углей и окускование концентратов : учебник для вузов / С. Э. Фридман, О. К. Щербаков, Н. Я. Еремин. – Москва : Недра, 1991. – 270 с.
10. Бедрань, Н. Г. Переработка и качество полезных ископаемых : учебник для вузов / Н. Г. Бедрань, Л. М. Скоробогатова. – Москва : Недра, 1986. – 290 с.
11. Процессы и машины для обогащения полезных ископаемых / В. И. Кармазин, Е. Е. Серго, А. П. Жендринский [и др.]. – Москва : Недра, 1974. – 559 с.

Содержание

	Предисловие	3
1.	Введение	5
1.1.	Технологические показатели процесса обогащения	7
1.2.	Технологические схемы обогащения	9
1.3.	Усреднение полезных ископаемых	13
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	40
	Вопросы для самопроверки	43
2.2.	Классификация	44
2.2.1.	Классификаторы	46
	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	55
2.3.4.1.	Щековые дробилки	55
2.3.4.2.	Конусные дробилки	59
2.3.4.3.	Валковые дробилки	69
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	96
3.1.1.	Классификация гравитационных процессов обогащения	97
3.1.2.	Фракционный анализ	97
3.1.3.	Отсадка	103
3.1.3.1.	Закономерности падения минеральных зерен в воде и воздухе	104
3.1.3.2.	Устройство и принцип действия отсадочных машин	105
3.1.3.3.	Классификация отсадочных машин по способу создания пульсаций воды	110
	Вопросы для самопроверки	112
3.1.4.	Обогащение в тяжелых средах	113
3.1.4.1.	Тяжелосредный сепаратор с вертикальным элеваторным колесом	114
3.1.4.2.	Тяжелосредные гидроциклоны	116
3.1.4.3.	Схемы регенерации некондиционной суспензии	117
	Вопросы для самопроверки	120
3.1.5.	Обогащение в потоках воды на наклонных плоскостях	120
3.1.5.1.	Спиральный сепаратор	122
3.1.5.2.	Концентрационный стол	123
	Вопросы для самопроверки	124
3.2.	Флотационные методы обогащения полезных ископаемых	124
3.2.1.	Флотационные реагенты	126
3.2.2.	Флотационные машины	127
3.2.2.1.	Механические флотационные машины рудные	129
3.2.2.2.	Механические флотационные машины угольные	131
3.2.2.3.	Пневмомеханические флотационные машины	134
3.2.2.4.	Пневматические флотационные машины	135
	Вопросы для самопроверки	138
3.3.	Магнитные методы обогащения	139
3.3.1.	Магнитные сепараторы	141

3.3.2.	Классификация магнитных сепараторов	143
3.3.3.	Расшифровка типоразмеров магнитных сепараторов	144
	Практическое задание	145
	Вопросы для самопроверки	148
3.4.	Электрические методы обогащения	149
3.4.1.	Классификация минералов по электрическим свойствам	150
3.4.2.	Виды электросепарации	150
3.4.3.	Электрические сепараторы	150
	Вопросы для самопроверки	153
3.5.	Специальные методы обогащения	153
	Вопросы для самопроверки	159
4.	Вспомогательные процессы переработки	161
4.1.	Обезвоживание продуктов обогащения	161
4.1.1.	Виды влаги	161
4.1.2.	Методы обезвоживания	162
4.1.3.	Дренажное	163
4.1.4.	Сгущение	165
4.1.5.	Центрифугирование	171
4.1.6.	Фильтрование	175
4.1.7.	Термическая сушка	178
	Вопросы для самопроверки	184
5.	Комплексное использование минерального сырья	185
5.1.	Окускование полезных ископаемых	185
5.2.	Использование отходов обогащения	187
	Вопросы для самопроверки	188
	Рекомендуемая литература	189

Людмила Алексеевна Суслина

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебное пособие

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 05.10.2020. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 12,0.

Тираж 100 экз. Заказ

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева.
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр УИП Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4.