

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Филиал Белорусского национального технического университета,
г. Солигорск
Кафедра «Технологии и оборудование разработки месторождений
полезных ископаемых»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

_____ Я.Л. Городецкий

« ____ » _____

СОГЛАСОВАНО

Директор филиала БНТУ,

г. Солигорск

_____ С.Н. Речиц

« ____ » _____

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

**«ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ
И ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»**

для специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование
(по направлениям)»

Автор:

И. А. Пекарчик, преподаватель кафедры «Технологии и оборудование
разработки месторождений полезных ископаемых» филиала БНТУ,
г. Солигорск.

Рассмотрено и утверждено

на заседании Совета филиала БНТУ, г. Солигорск « ____ » _____,
протокол № ____

г. Минск, 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	4
I ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	6
РАЗДЕЛ I ВВЕДЕНИЕ	6
1.1 Краткое описание применяемых понятий (руда, полезное ископаемое, горные породы, классификация руд)	6
1.2 Продукты обогащения полезных ископаемых	7
1.3 Процессы последовательной обработки полезных ископаемых	8
1.4 Краткое описание применяемого оборудования.....	9
1.5 Подготовительные процессы и применяемое оборудование на обогатительных фабриках	20
1.6 Процесс измельчения.....	23
1.7 Процесс классификации (грохочения).....	25
1.8 Дробление полезных ископаемых. Способы и схемы дробления	32
1.9 Процесс прессования горных пород и применяемое оборудование	37
1.10 Гранулирование горных пород.....	39
РАЗДЕЛ II ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД.....	42
2.1 Гравитационные методы обогащения горных пород	42
2.2 Оборудование, применяемое при отсадке горных пород	42
2.3 Обогащение полезных ископаемых в потоке воды	45
2.4 Флотация горных пород и применяемое оборудование	48
РАЗДЕЛ III ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	52
3.1 Обезвоживание горных пород и продуктов обогащения.....	52
3.2 Сушильные установки горных пород	55
3.3 Фильтрование и гидроциклонное обезвоживание горных пород.....	58
РАЗДЕЛ IV ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА ТОРФЯННЫХ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ.....	60
4.1 Технологические схемы производства торфяных топливных брикетов. Требования к исходному сырью и готовой продукции.....	60
4.2 Технология флотационного способа производства калийных удобрений	62
4.3 Технология галургического способа производства калийных удобрений	63
II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	65
2.1 Перечень тем лабораторных работ.....	65
2.2. Перечень тем практических занятий.....	65
III РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	66
3.1 Средства диагностики результатов учебной деятельности	66
3.2 Примерный перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы обучающихся	66

IV ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	68
4.1 Список рекомендуемой литературы	68

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (далее ЭУМК) по учебной дисциплине «Процессы и оборудование переработки и обогащения полезных ископаемых» предназначен для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)».

В соответствии с учебным планом подготовки студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)» дисциплина «Процессы и оборудование переработки и обогащения полезных ископаемых» включена в перечень дисциплин, изучаемых на 5 и 6 курсах первой ступени высшего образования.

При написании ЭУМК использованы материалы, изложенные в учебниках, учебных пособиях, методических указаниях, технических нормативно-правовых актах, научных статьях, материалах научно-практических конференций.

Целью ЭУМК является приобретение студентами знаний в области обогащения и переработки полезных ископаемых

Основная задача при изучении курса – приобретение студентами практических и теоретических знаний в области обогащения и переработки полезных ископаемых.

В процессе освоения дисциплины «Процессы и оборудование переработки и обогащения полезных ископаемых» студенты изучают:

1. подготовительные процессы обогащения и переработки полезных ископаемых:

- качество минерального сырья, продуктов подготовительных операций и процесса обогащения, их технологические показатели;
- разделение материалов по крупности, дробление, грохочение, измельчение, усреднение полезных ископаемых;

2. основные обогатительные процессы:

- технологические показатели процесса обогащения;
- методы обогащения (гравитационные, флотационные, магнитные, электрические, специальные);

3. вспомогательные процессы обогащения:

- обезвоживание;
- сушка;
- гранулирование;
- окускование;

4. применяемое оборудование:

- описание, принцип действия применяемого оборудования;
- методика расчета и подбора оборудования для рудоподготовки и обогащения;

5. технологические процессы производства калийных удобрений, торфяных топливных брикетов.

Структурирование и подача учебного материала

ЭУМК включает учебные, научные и методические материалы по учебной дисциплине «Процессы и оборудование переработки и обогащения полезных ископаемых». Состоит из четырех разделов: теоретического, практического, контроля знаний, вспомогательного.

Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения дисциплины «Процессы и оборудование переработки и обогащения полезных ископаемых» в объеме, установленном учебным планом и учебной программой для специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)».

В практическом разделе ЭУМК приведены темы практических занятий и курсового проекта.

Раздел контроля знаний включает примерный перечень вопросов для самостоятельной работы студентов.

Во вспомогательный раздел входит перечень основных и вспомогательных литературных источников.

Предложенные материалы являются основой для изучения учебной дисциплины «Процессы и оборудование переработки и обогащения полезных ископаемых» для специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК

Электронный документ открывается в среде Windows на IBM PC – совместимом персональном компьютере стандартной конфигурации.

І ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

РАЗДЕЛ І ВВЕДЕНИЕ

1.1 Краткое описание применяемых понятий (руда, полезное ископаемое, горные породы, классификация руд)

Полезное ископаемое – содержащееся в земной коре природное минеральное или органическое вещество, которое целесообразно добывать и использовать в народном хозяйстве или для личных потребностей, как в сыром виде, так и после соответствующей переработки

Горные породы – естественные минеральные образования, сформировавшиеся вследствие геологических процессов, более или менее постоянного состава и строения, слагающие земную кору и залегающие в ней в виде самостоятельных тел.

Руда – минеральное образование с содержанием полезных компонентов, обеспечивающим экономическую целесообразность их извлечения при современном уровне развития техники.

Руды принято классифицировать по трем признакам:

- 1) виду полезных компонентов;
- 2) по количеству полезных компонентов;
- 3) по характеру оруденения (оруднение – это присутствие в горных породах рудных материалов, независимо от их содержания и характера распределения. Обычно данное понятие уточняется по качеству или составу (богатое, бедное, промышленное, медное, полиметаллическое и т.д.) и по морфологическому типу (вкрапленное, гнездовое, жильное т.д.).

По виду полезных компонентов выделяют:

- руды металлические (руды черных, цветных, редких, благородных и радиоактивных металлов);
- неметаллические (апатитовые и фосфоритовые руды; калийные и каменные соли; гипс, известняк и другие породы для производства строительных материалов; руды, содержащие слюду, пьезокварц, графит, драгоценные камни и некоторые другие виды минерального сырья).

В зависимости от количества входящих полезных компонентов руды делятся на:

- простые (однокомпонентные, или монометаллические);
- сложные (полиметаллические). Руды цветных металлов чаще всего бывают полиметаллическими.

По характеру оруденения руды делятся на:

- сплошные;
- вкрапленные.

Порода (пустая порода) – минеральное образование, не являющееся объектом извлечения полезных компонентов при разработке месторождений (или минеральное соединение, не содержащее полезных компонентов или содержащее их слишком мало для рентабельной переработки).

Руда и порода – понятия относительные, поскольку по мере развития способов обогащения и добычи руд в переработку вовлекаются породы с более низким содержанием. Минеральное соединение, считавшееся ранее породой, в настоящее время может являться рудой.

Вмещающая порода – горная порода, окружающая рудное тело или включенная в него, которая либо совсем не содержит полезных компонентов, либо содержит их, но в количестве, недостаточном для экономического оправдания добычи и переработки.

Рудной массой называется смешанная при добыче руда с пустой породой.

Горной массой называют всю выданную на поверхность руду и породу, как в смешанном виде, так и отдельно, сюда же входит и порода, полученная при проведении горных выработок.

Рудное месторождение – естественное скопление в земной коре полезного ископаемого, разработка которого экономически выгодна.

1.2 Продукты обогащения полезных ископаемых

Обогащением полезных ископаемых называется совокупность процессов первичной обработки минерального сырья с целью разделения минералов и получения кондиционных продуктов с повышенной концентрацией в них одного или нескольких ценных компонентов.

При обогащении полезных ископаемых используют различия в физических, химических и физико-химических свойствах входящих в их состав минералов с учетом особенностей вещественного состава минерального сырья.

В результате обогащения получают следующие продукты:

- один или несколько *концентратов*, называемых по концентрируемым в них основным компонентам (например, железный, апатитовый, медный и др.);
- *хвосты*, являющиеся отвальным продуктом, в котором концентрируются минералы породы, не представляющие непосредственной практической ценности в данных технико-экономических условиях, хотя в иных условиях они могут оказаться крайне необходимым сырьем той или иной отрасли народного хозяйства.

Основными технологическими показателями процессов обогащения полезных ископаемых являются:

- качество продуктов;
- выход продуктов;
- извлечение ценных компонентов.

1.3 Процессы последовательной обработки полезных ископаемых

По своему назначению процессы последовательной обработки полезных ископаемых на обогатительных фабриках делятся на:

- подготовительные процессы;
- основные обогатительные процессы;
- вспомогательные процессы и процессы производственного обслуживания.

Целью *подготовительных процессов* является подготовка сырья к последующему обогащению с учетом возможности применения тех или иных методов обогащения.

К основным подготовительным процессам относятся:

- процессы разделения материала по крупности – грохочение (классификация), обеспечивающие разделение материала на классы крупности, необходимые для получения максимальной эффективности разделения минералов при использовании различных методов обогащения;
- процессы разрушения минеральных комплексов – дробление, измельчение и дезинтеграция, обеспечивающие раскрытие (разъединение) минералов перед их разделением;
- процессы изменения физических, физико-химических свойств и химического состава разделяемых минералов, с целью увеличения различия их технологических свойств и повышения эффективности процессов обогащения. Они могут включать в себя операции термической, химической, механической, электрической и другие виды обработки минеральных частиц перед их разделением.

Основными обогатительными процессами являются процессы разделения, использующие различные технологические свойства минералов, при которых извлекаемые минералы выделяются в отдельные концентраты или продукты, а не извлекаемые минералы – в хвосты. К ним относятся:

- *гравитационные* методы обогащения;
- *магнитные* методы обогащения;
- *электрические* методы обогащения;
- *радиометрические* методы обогащения;
- *флотационные* методы обогащения;
- *специальные* методы обогащения.

К вспомогательным относятся процессы:

- обезвоживания и обеспыливания продуктов обогащения путем их дренирования, сгущения, фильтрования и сушки для доведения влажности этих продуктов до установленной нормы;
- кондиционирования оборотных вод с целью повторного их использования;
- очистки сточных вод перед сбросом в водоемы.

1.4 Краткое описание применяемого оборудования

Бункеры. Назначение и классификация

Бункеры представляют собой сосуды большого объема с загрузочными и разгрузочными отверстиями, перекрываемыми задвижками. Бункеры предназначены для приема, временного накопления, хранения и подачи на транспортные средства насыпных грузов для их дальнейшей переработки. Бункеры загружаются через открытый верх или загрузочные отверстия, разгружаются через отверстия в днище или внизу боковых стенок. Продвижение груза по бункеру и истечение его через отверстия происходят под действием силы тяжести.

Бункеры применяются в установках трех типов:

- *аккумулирующие* – для хранения насыпных грузов, снабжены устройствами для загрузки и разгрузки емкостей; устройствами для измерения массы и др.;
- *уравнительные* – промежуточные емкости для насыпных грузов;
- *технологические* – для временного хранения промежуточных продуктов переработки.


Применение бункеров необходимо в том случае, если сопряженные в едином производственном процессе транспортные и технологические машины работают в разных режимах по времени: одни периодически, другие непрерывно.

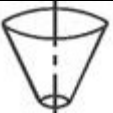



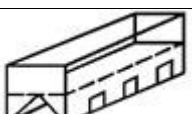

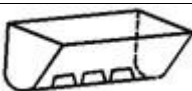

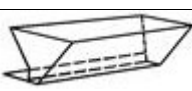
Режим времени работы и производительность комплекса объединенных транспортно-технологических машин определяет необходимый объем бункеров для накопления и хранения грузов.

Процессы сводообразования и скорость истечения груза зависят от физико-механических свойств груза, диаметра разгрузочного отверстия и формы бункера.

В таблице 1 представлена классификация бункеров.

Таблица 1 – Классификация бункеров

Бункеры		Геометрическая форма		Схема
Тип	Группа	Корпуса	Днища	
1	2	3	4	5
Прямоугольные	Пирамидальные, обелисковые	Пирамида, обелиск		
	Комбинированные призмопирамидальные, призмобелисковые	Призма	Пирамида, обелиск	

1	2	3	4	5
Круглые	Конические	Конус		
	Цилиндроконические	Цилиндр	Конус	
Корытообразные	Односкатные треугольные	Треугольная призма		
	Односкатные трапециевидальные	Четырехугольная призма	Треугольная призма	
	Двускатные	Четырехугольная призма	Две треугольные призмы	
	Трапециевидальные	Трапециевидальное корыто		
	Параболические	Параболическое корыто		
	Комбинированные Трапециевидальные	Призма	Трапециевидальное корыто	
	У-образные	Трапециевидальное корыто с плоским дном и боковой щелью		

Форма бункера должна обеспечивать максимальное заполнение и полную разгрузку без образования «мертвых» зон, где происходит задержка груза, и предотвращать возможность сводообразования (зависания) груза над разгрузочными отверстиями, нарушающего режим свободного истечения груза. Угол наклона стенок бункера должен быть на 10 – 15° больше угла естественного откоса груза для того, чтобы у стенок воронки не образовывалась пассивная зона, в пределах которой груз в начале разгрузки остается неподвижным, затем располагается по углу естественного откоса, а затем скользит вдоль стенок бункера.

Бункеры изготавливают деревянными, металлическими, бетонными, железобетонными. Наибольшее распространение имеют бункеры со стенками из листовой стали и каркасом из профильной стали. Для облегчения движения грузов стенки бункеров внутри выполняют гладкими; при перемещении абразивных грузов стенки бункеров армируют съемными стальными плитами. При транспортировании влажных смерзающихся грузов используют утепленные и отапливаемые бункера.

Разгрузочные отверстия бункера располагают по центру днища или сбоку с одной или с обеих сторон. Корпус бункера закрепляется сверху за края несущей конструкции.

Истечение и сводообразование

Процесс истечения насыпного груза через выпускное отверстие в дне бункера происходит примерно так, как показано на рисунке 1, *а* и *б*, при симметричном и боковом расположении отверстия. В обоих случаях в движение приходит вертикальный столб груза над отверстием, вследствие чего на поверхности груза образуется воронка, по которой по мере истечения ссыпаются частицы. При расположении выпускного отверстия вблизи вертикальной стенки бункера насыпной груз скользит вдоль последней, и образующаяся воронка имеет несимметричную форму.

По опытным данным, истечение груза через симметрично расположенное отверстие бункера происходит в следующем порядке (рисунок 1, *в*): сначала высыпается часть 2, имеющая в зависимости от формы отверстия форму конуса или клина, затем расположенная над нею часть 3, имеющая форму эллипсоида, затем сдвигаются части 4 и далее части 5, так что к моменту окончания процесса в нижней части бункера образуется воронка из частей 5, заполняющих «мертвое» пространство. Наименьший угол наклона стенок в нижней части бункера, при котором «мертвое» пространство не образуется и груз высыпается без остатка, зависит от коэффициента трения груза о стенку, возрастая с его увеличением. Так, для сортированного угля этот угол составляет $45 \dots 50$, для мелкого угля 60° , для руды не менее 65° . При высыпании над выпускным отверстием нередко образуется свод груза в виде купола или арки. Это характерно для грузов, содержащих крупные куски (рисунок 4, *з*), однако может иметь место и при не крупнокусковых грузах, особенно влажных и слеживающихся, в связи с поперечным распором под действием силы тяжести вышележащих слоев груза, причем образующийся купол или арка опирается, как и в предыдущем случае, на наклонные стенки суживающейся части бункера, а при небольших поперечных размерах бункера – иногда и на вертикальные стенки.

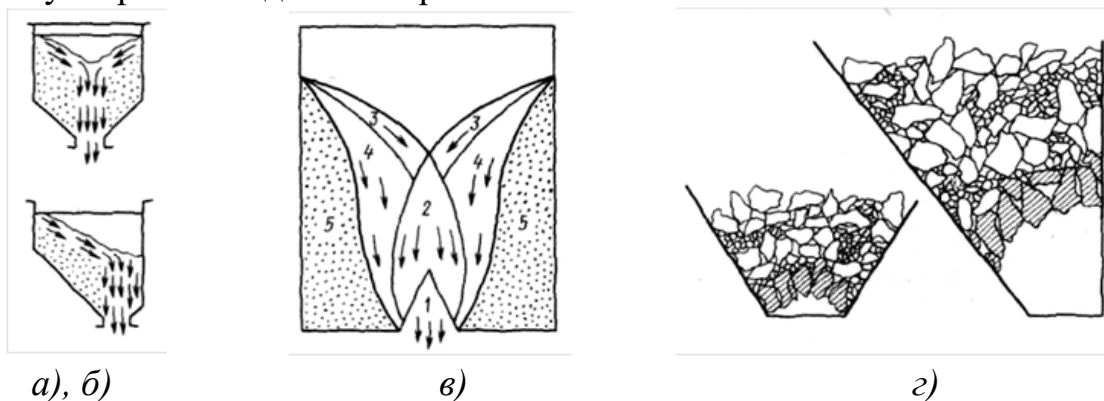


Рисунок 1 – Схемы процессов

а, б, в – истечения насыпного груза из бункера; *з* – сводообразования

Расчет пропускной способности бункеров

Пропускная способность (т/ч) бункера зависит от скорости истечения сыпучих материалов.

Для бункеров непрерывного действия:

$$Q_m = 3600 \cdot \vartheta \cdot \rho \cdot \omega', \quad (1.1)$$

где ϑ – скорость истечения насыпного груза из отверстия бункера, м/с;

ρ – насыпная плотность груза, т/м³;

ω' – площадь отверстия истечения с учетом кусковатости груза, м².

Для круглого отверстия $\omega' = \pi(D - a')^2/4$, где D – диаметр отверстия, м).

Для прямоугольного отверстия $\omega' = (A_{и} - a')(B_{и} - a')$, где $A_{и}$ и $B_{и}$ – размеры сторон отверстия, м).

Определение гидравлического радиуса:

$$R_{г} = \frac{D - a'}{4}, \quad (1.2)$$

где D – диаметр выпускного отверстия бункера, мм;

a' – размеры максимальных кусков, мм.

Определение критического радиуса:

$$R_{кр} = \frac{a'}{2}. \quad (1.3)$$

Скорость истечения v груза из бункера:

– при $R_{г} > R_{кр}$, $v = \lambda_{и} \sqrt{3,2 \cdot g \cdot R_{г}}$,

– при $R_{г} < R_{кр}$, $v = \lambda_{и} \sqrt{4,2 \cdot g \cdot R_{г}}$,

где $\lambda_{и}$ – коэффициент истечения, $\lambda_{и} = 0,2-0,65$.

Площадь отверстия истечения:

$$\omega' = \frac{\pi(D - a')^2}{4}. \quad (1.4)$$

Давление на дно бункера

Если материал по своим физико-механическим свойствам близок к жидкости, то вертикальное давление P_y (Па), действующее на дно бункера, близко к гидравлическому:

$$P_y = \rho \cdot q \cdot h_0, \quad (1.5)$$

где h_0 – глубина расположения рассматриваемой точки над уровнем материала, м;

ρ – плотность материала, кг/м³;

q – ускорение силы тяжести, м/с².

Для материалов хорошо сыпучих в результате действия сил внутреннего трения, а также сил трения материала о стенки бункера давление на дно уменьшается. Это влияние учитывает коэффициент зависания $K_з$.

Тогда

$$P_y = \rho \cdot q \cdot h_0 \cdot K_з. \quad (1.5)$$

Коэффициент K_3 тем выше, чем большее значение имеет коэффициент бокового распора ε , который равен $\varepsilon = P_x/P_y$, где P_x – боковое давление в рассматриваемой точке. Так для жидкости $\varepsilon = 1$ и $K_3 = 1$. Для хорошо сыпучих материалов $\varepsilon = 0,3–0,5$, тогда K_3 можно принимать в пределах 0,8–0,9.

Точное определение K_3 находят по зависимости:

$$K_3 = \frac{1}{x} \cdot \left(1 - \frac{1}{ax}\right), \quad (1.6)$$

$$x = \varepsilon \cdot h \cdot f / R_0, \quad (1.7)$$

где f – коэффициент трения материала о стенки бункера;

R_0 – гидравлический радиус (отношение площади дна бункера к периметру), м.

При загрузке бункера с большой высоты или возможности образования внутри бункера пустот и затем резкого падения материала давление на дно бункера значительно увеличивается. Это явление учитывает коэффициент динамики K_d . Для бункеров, оборудованных вибраторами, $K_d = 1,3–1,5$; при загрузке бункера с большой высоты $K_d = 1,1–1,4$; при зависании материала с образованием пустот $K_d = 2$.

Давление на вертикальные стенки бункера

Давление на вертикальные стенки P_x определяется:

$$P_x = P_y \cdot \varepsilon \cdot K_3 \cdot K_d, \quad (1.8)$$

где ε – коэффициент бокового давления, зависящий от свойств материала и может быть определен экспериментально или по зависимости:

$$\varepsilon = \frac{1 - \sin^2 \varphi}{1 + \sin^2 \varphi}, \quad (1.9)$$

где φ – угол естественного откоса материала).

Давление на наклонные стенки бункера

Для определения давлений на наклонные стенки бункера пользуются теорией сыпучих тел, согласно которой давление в произвольной точке массы следует закону эллипса напряжений, главными полуосями которого является вертикальное давление P_y и горизонтальное P_x . Основываясь на этом полное давление P_n , нормальное P_n' и тангенциальное P_t можно определить графическим путем (рисунок 2).

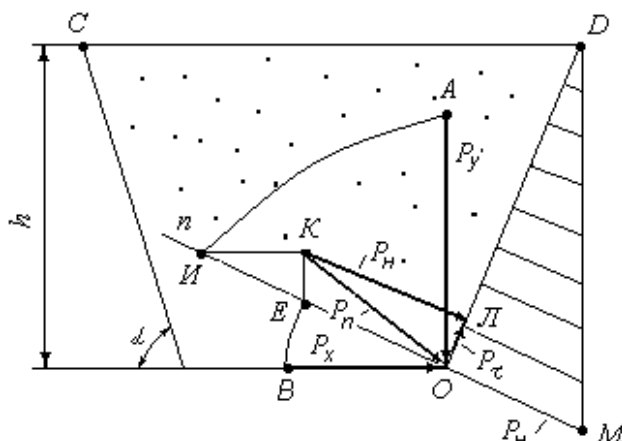


Рисунок 2 – Схема давлений на наклонную стенку бункера

Возьмем на наклонной стенке бункера точку O , лежащую на кромке выпускного отверстия и определим величину полного давления считая, что бункер заполнен материалом по кромку CD . Приняв точку O за центр, построим на ней эллипс напряжений с модулями осей $OB = P_x$ и $OA = P_y$. Из точки O проведем перпендикулярно OD нормаль n и радиусом равным длине OB засекаем на n точку E , а радиусом OA точку I . Из точек E и I проводим линии параллельные полуосям до их пересечения в точке K , которая будет лежать на эллипсе напряжений. Отрезок KO представляет собой вектор полного давления в точке O ($P_n = KO$).

Нормальное и касательное давление $P_n = KL$ и $P_\tau = OL$. Во всех остальных точках стенки O полное и нормальное давления имеют то же направление, что и в точке O и изменяются по закону прямой линии DM .

Кроме того, полное давление на стену бункера в точке O можно определить аналитически, зная угол наклона стенки бункера:

$$P_n = \sqrt{D_x^2 \cdot \sin^2 \alpha + D_y^2 \cdot \cos^2 \alpha}, \text{ Па}, \quad (1.10)$$

а нормальные и касательные составляющие:

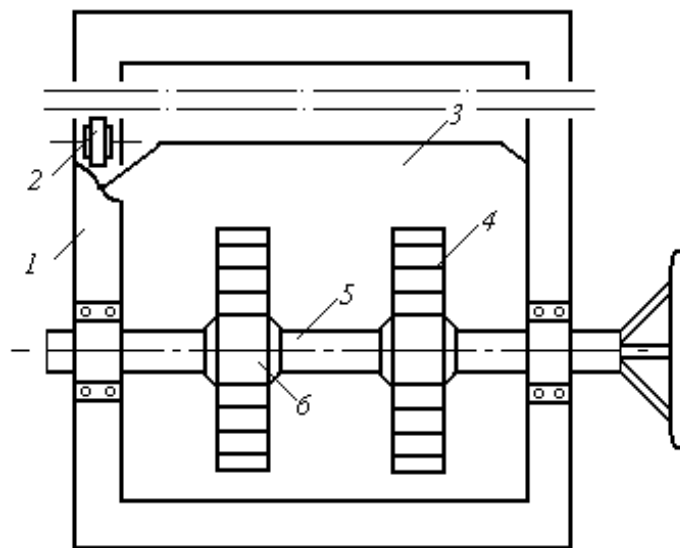
$$P_i = P_x \cdot \sin^2 \alpha + D_{0'} \cdot \cos^2 \alpha, \text{ Па}, \quad (1.11)$$

$$D_\tau = \frac{1}{2} \cdot (D_{0'} - D_{\bar{0}}) \cdot \sin 2\alpha, \text{ Па}, \quad (1.12)$$

где α – угол наклона стенки к горизонту.

Шиберные затворы

Шиберные затворы имеют вид плоской задвижки, перемещающиеся в пазах, расположенных по сторонам прямоугольного выпускного отверстия (рисунок 3). Приводятся в действие ручным рычажным одно- или двух- реечным механизмом с помощью механического привода или гидропневмоцилиндров. Затворы этого типа применяются для бункеров, работающих на хорошо сыпучих материалах.



1 – металлоконструкция; 2 – опорный ролик; 3 – шибер;

4 – рейка; 5 – вал; 6 – зубчатое колесо

Рисунок 3 – Схема шиберного затвора

Для затворов больших размеров и воспринимающих большие нагрузки вместо направляющих скольжения применяют роликовые опоры.

Расчет шиберных затворов сводится к определению усилия, необходимого для открытия шибера затвора, которое наибольшее в начальный момент трогания с места.

Усилие открывания определяется:

$$P = (P_1 + P_2) \cdot K_3. \quad (1.13)$$

Учитывая, что $P_1 = P_y \cdot a \cdot b \cdot f_1$ и $P_2 = (P_y \cdot a \cdot b + m_{ш} \cdot q) \cdot f_2$, получим

$$P = [P_y \cdot a \cdot b \cdot f_1 + (P_y \cdot a \cdot b + m_{ш} \cdot q) \cdot f_2] K_3. \quad (1.14)$$

Секторные затворы

Секторные затворы делятся на односекторные и двухсекторные (челюстные). Простой секторный затвор (рисунок 4, а) представляет собой сектор 1, вращающийся на пальцах, закрепленных на боковых стенках корпуса 2, который имеет квадратное сечение и крепится к отверстию бункера. Управляется с помощью гидравлических или пневматических цилиндров 3, а также механической передачей. Такие затворы применяются преимущественно в бункерах для хорошо сыпучих материалов с мелкими и средними кусками.

Челюстной затвор состоит из двух секторов или челюстей 1 (рисунок 4, б), которые соединены между собой зубчатыми секторами 2, находящимися в зацеплении. Обе челюсти открываются и закрываются одновременно. Челюстные затворы лучше приспособлены для частых открываний и закрываний бункеров и регулирования подачи материала.

При расчете секторного или челюстного затвора учитывается, что наибольший момент необходимо приложить в начале открывания затвора. Суммарный момент сопротивления складывается из потерь на трение в цапфах или подвесках M_1 и от трения материала о сектор M_2 .

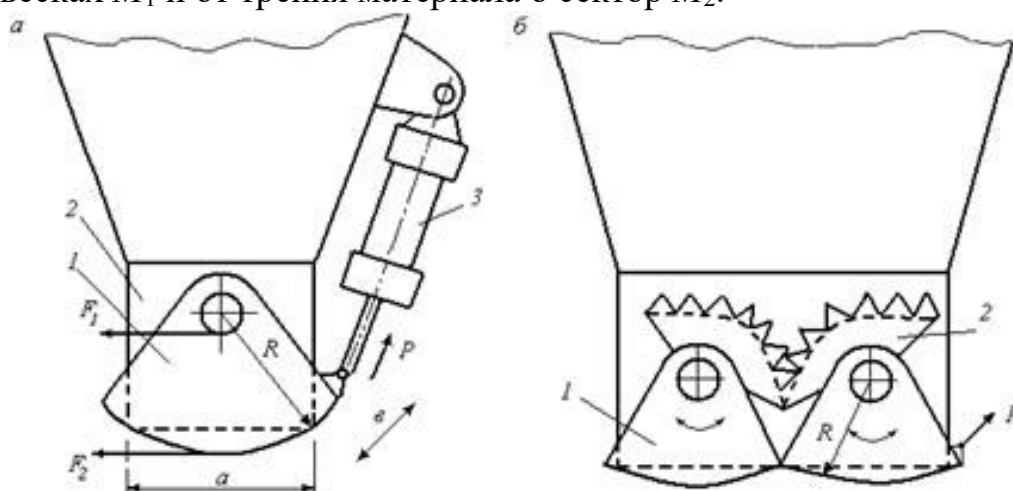


Рисунок 4 – Схема затворов
а – секторный, б – челюстной

Лотковые затворы

Применяются для различных по крупности материалов, из-за чего они нашли широкое применение. Рабочим органом лоткового затвора является шарнирно закрепленный под выпускным отверстием лоток (рисунок 5). При закрытом положении затвора лоток *1* находится в горизонтальном положении. При перемещении лотка относительно шарнира *O* на угол больший угла естественного откоса материала, последний скользит по дну лотка и удаляется из бункера. Кроме этого с увеличением угла наклона лотка соответственно увеличивается скорость движения материала и его производительность. Подъем и опускание лотка осуществляется с помощью пневмо или гидроцилиндра, связанных с проушиной *2*. Для уменьшения нагрузок на привод в затворе имеется противовес *3*.

Расчет затвора сводится к определению усилия *P*, необходимого для подъема лотка с находящимся на нем материалом.

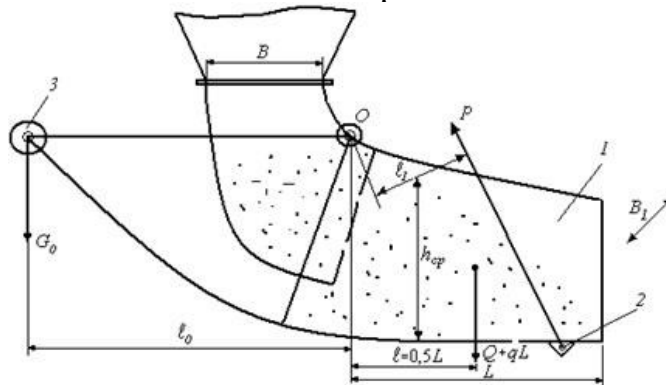


Рисунок 5 – Схема лоткового затвора

Для расчета затвора принимаем следующие обозначения:

B – сторона квадрата выпускного отверстия, м;

*B*₁ – ширина лотка, м;

L – длина лотка, м;

*h*_{ср} – средняя высота загрузки лотка, м;

ρ – плотность материала, кг/м³;

q – сила тяжести одного погонного метра лотка, Н;

Q – сила тяжести сыпучего материала на лотке, Н;

*G*₀ – сила тяжести контр груза, Н;

*l*₀, *l*, *l*₁ – плечи сил, м.

Рассматривая действие сил относительно оси поворота *O* получим:

$$G_0 \cdot l_0 + P \cdot l_1 = (Q + q \cdot L) \cdot l, \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (1.15)$$

Среднюю высоту загрузки лотка по его длине можно с запасом считать $h_{\text{ср}} = 0,4 \cdot B_1$ следовательно, сила

$$Q = B_1 \cdot L \cdot 0,4 \cdot B_1 \cdot \rho = 0,4 \cdot B_1^2 \cdot L \cdot \rho, \text{ Н.} \quad (1.16)$$

Принимая $l \approx 0,5 L$ и коэффициент запаса $K = 1,3$ получим из (1.15)

$$P = \frac{1,3 \cdot (0,4 \cdot B_1^2 \cdot \rho + q) \cdot L - G_0 \cdot l_0}{l} \text{ Н.} \quad (1.17)$$

Питатели – это механические устройства, предназначенные для равномерной, регулируемой подачи сыпучих и кусковых материалов в различные аппараты – дробилки, сушилки, реакторы и др.

По принципу действия питатели подразделяются на питатели с тяговым рабочим органом, колебательным и вращательным.

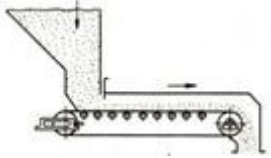
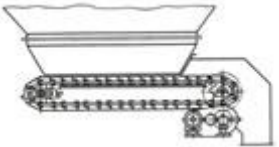
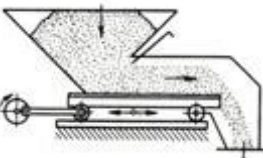
Основными требованиями, предъявляемыми к питателям, являются: стабильность по количеству выдаваемого материала; герметичность конструкции и минимальное влияние на физико-механические свойства материала.

Питатели с тяговым рабочим органом подразделяются на 3 основные вида:

- пластинчатые;
- скребковые;
- ленточные (таблица 2).

Для подачи крупнокусковых материалов с размерами кусков 100×100 мм и более применяют цепные питатели, представляющие собой несколько бесконечных якорных цепей подвешенных на звездочках приводного вала. Якорные цепи образуют сплошное полотно, опирающееся на дно желоба. При вращении приводного вала цепи перемещают материал по дну желоба.

Таблица 2 – Типы и разновидности питателей

Тип питателя	Назначение
1	2
<p>Ленточный</p> 	<p>Для равномерной подачи насыпных материалов на технологические машины и транспортирующие устройства.</p> <p>Обеспечивает регулируемую производительность изменением высоты слоя груза на ленте с помощью шиберных устройств загрузочных бункеров</p>
<p>Пластинчатый</p> 	<p>Для равномерной подачи тяжелых, крупно-кусковых, абразивных грузов</p>
<p>Качающийся</p> 	<p>Для непрерывной подачи из бункеров кусковых и сыпучих материалов с насыпной плотностью до 2,6 т/м³. Имеет простую конструкцию, высокую надежность, производительность регулируется за счет хода лотка</p>

1	2
<p>Вибрационный</p> 	<p>Для дозированной подачи кусковых и зернистых сыпучих материалов из бункеров, воронок и других загрузочных устройств.</p> <p>Питатели вибрационные с активатором предназначены для выгрузки из бункеров сыпучих материалов, склонных к сводообразованию и зависанию</p>
<p>Дисковый</p> 	<p>Для равномерной выдачи из бункеров кусковых, сыпучих и плохосыпучих материалов с насыпной плотностью до $2,5 \text{ т/м}^3$, работает под давлением материала из бункера, производительность регулируется за счет изменения положения съемного ножа и числа оборотов двигателя</p>
<p>Винтовой</p> 	<p>Для равномерной подачи пылевидных, зернистых, мелкокусковых насыпных грузов</p>
<p>Барабанный</p> 	<p>Для равномерной подачи хорошо сыпучих зернистых и мелкокусковых грузов и с ребристой поверхностью барабана для крупнокусковых грузов</p>
<p>Цепной</p> 	<p>Для равномерной подачи крупнокусковых однородных грузов</p>
<p>Лопастный</p> 	<p>Для равномерной подачи мелкофракционного материала из бункера с высокой точностью подачи</p>

Пластинчатые питатели и их расчет

Пластинчатые питатели предназначены для подачи тяжелых, крупнокусковых материалов с размерами кусков более 100 мм, а также выдачи материала из бункера, где наблюдается большое гидростатическое давление на дно бункера.

Пластинчатый питатель (рисунок 6, а) состоит из пластинчатого бесконечного полотна 4, огибающего приводные 3 и натяжные 1 звездочки. Располагается питатель непосредственно под бункером. Производительность питателя регулируется изменением частоты вращения ведущего барабана (используются двигатели привода постоянного тока или многоскоростные – переменного тока) и положением регулирующей заслонки – шибера 2 (по конструкции пластинчатый питатель аналогичен пластинчатому конвейеру).

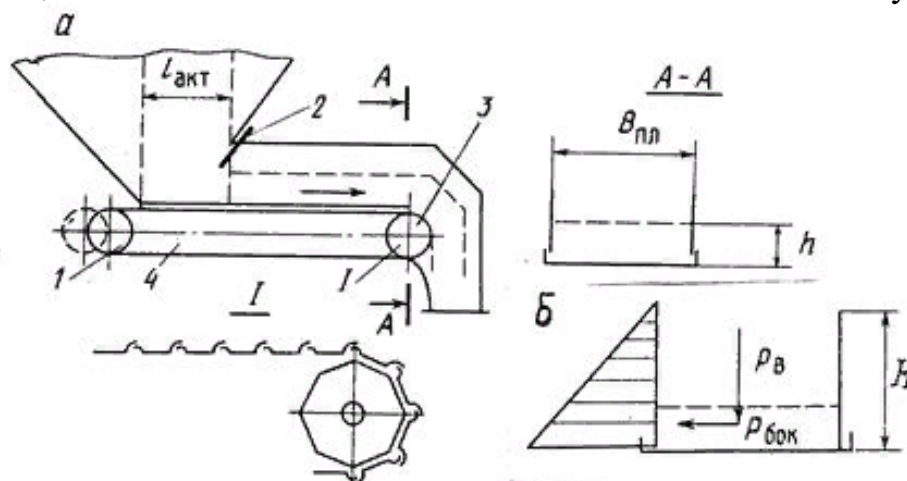


Рисунок 6 – Схема пластинчатого питателя а и расчетная б к определению сил трения материала о стенки бункера

У пластинчатого питателя для изготовления полотна применяют плосковыпуклые пластины, которые не защемляют куски материала при огибании звездочек. Опираются пластины на направляющие с помощью втулочно-катковых цепей. Для уменьшения пыления используется настил с подвижными бортами, причем борта располагаются снаружи бункера.

Ленточный дозатор

При непрерывном технологическом процессе широко используют автоматические дозаторы непрерывного действия, которые за определённый отрезок времени подают равномерным потоком заданное количество дозируемого материала.

Ленточный стационарный дозатор с механической связью датчика и регулятора (рисунок 7) для сыпучих материалов состоит из приемной воронки 5, короткого ленточного конвейера, который служит весовой платформой дозатора, и весового рычажного механизма с грузоприёмным роликом, расположенным под весовым участком ленты. На раме 1 дозатора смонтирован ленточный конвейер, ведущий барабан 3, который приводится в движение от электродвигателя 2. Над лентой 9 дозатора на стойке 4 установлена приёмная воронка 5. Материал из воронки поступает на ленту дозатора, которая захватывает материал и вытягивает его из воронки.

Весовой механизм дозатора представляет собой рычаг с весовым роликом 8 на одном плече. На ролик действует сила тяжести ленты с находящимся на ней материалом. Другое плечо рычага тягой соединено с коромыслом 10, на котором имеется гиря 7. Если материал поступает равномерным потоком, то коромысло находится в равновесии. Как только масса материала изменится, изменится и давление на ролик. Когда количество материала на ленте увеличится, ролик начнёт опускаться, одновременно другой конец рычага через тягу будет поднимать правое плечо коромысла. Вследствие этого левое плечо коромысла и связанная с ним заслонка 6 начнут опускаться, уменьшая впускное отверстие приемной воронки. В результате выход материала на ленту будет уменьшаться до тех пор, пока не восстановится заданная производительность. При уменьшении количества материала на ленте произойдет обратное – грузоприёмный ролик поднимется и коромысло поднимет заслонку, вследствие чего увеличится подача материала на ленту.

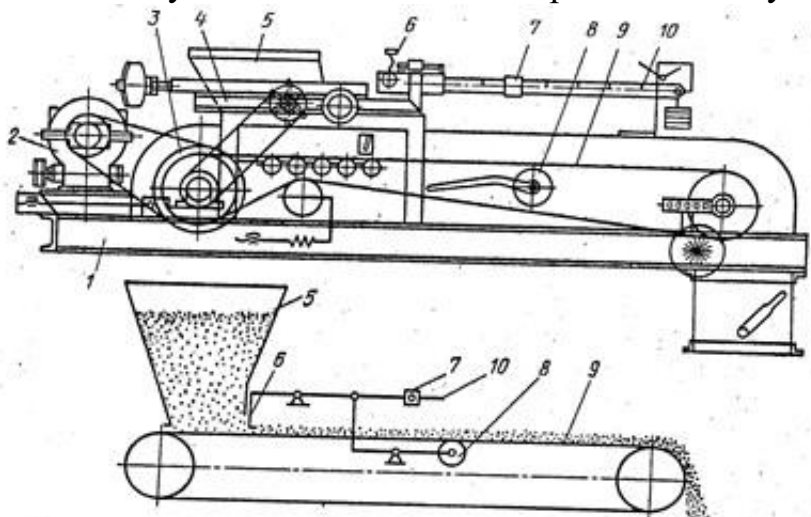


Рисунок 7 – Ленточный стационарный дозатор с механической связью датчика и регулятора

Производительность дозатора:

$$Q = 3600 \cdot v \cdot m, \text{ т/ч}, \tag{1.18}$$

где v – скорость ленты, м/с;

m – масса материала на 1 м ленты, т.

1.5 Подготовительные процессы и применяемое оборудование на обогатительных фабриках

К подготовительным процессам относятся: дробление в щековых (рисунок 8), конусных (рисунок 9), валковых (рисунок 10), молотковых, роторных дробилках, дезинтеграторах (рисунок 11), дисмембраторах и электрогидравлическое или электроимпульсное дробление.

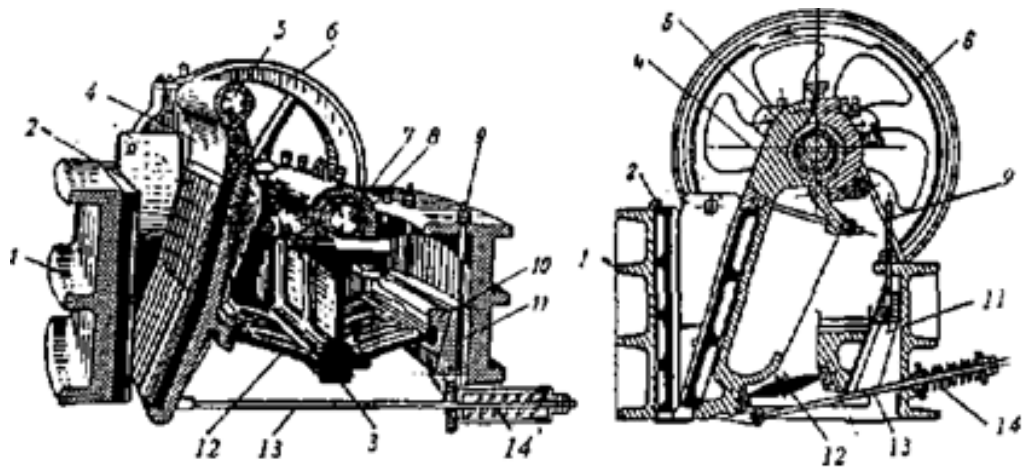


Рисунок 8 – Щековые дробилки

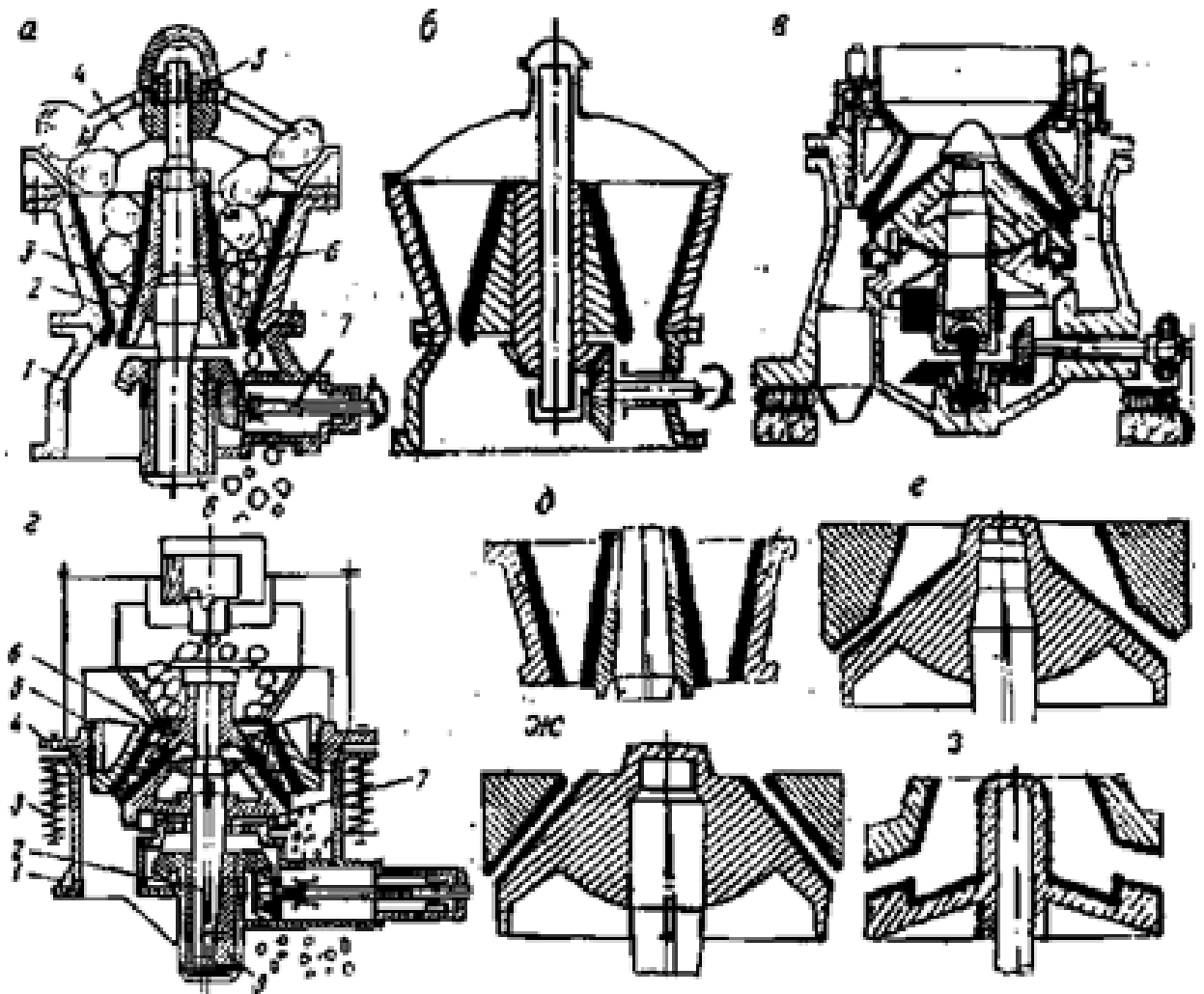


Рисунок 9 – Конусные дробилки

Выбор типа дробильного аппарата зависит от физических свойств (прочности, вязкости, хрупкости, трещиноватости и др.) и крупности исходного материала, требуемой степени дробления и гранулометрического состава дробленого продукта, необходимой производительности.

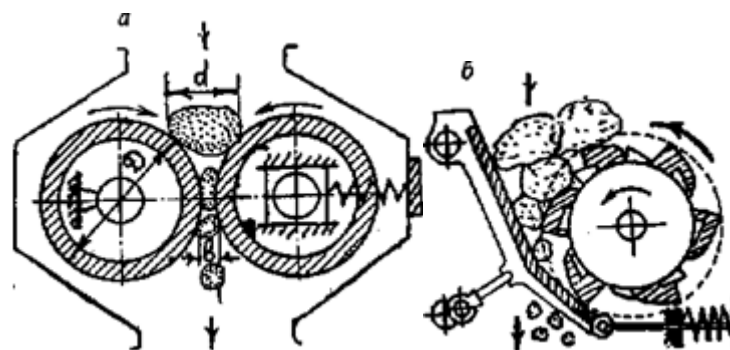


Рисунок 10 – Двухвалковая и одновалковая дробилка

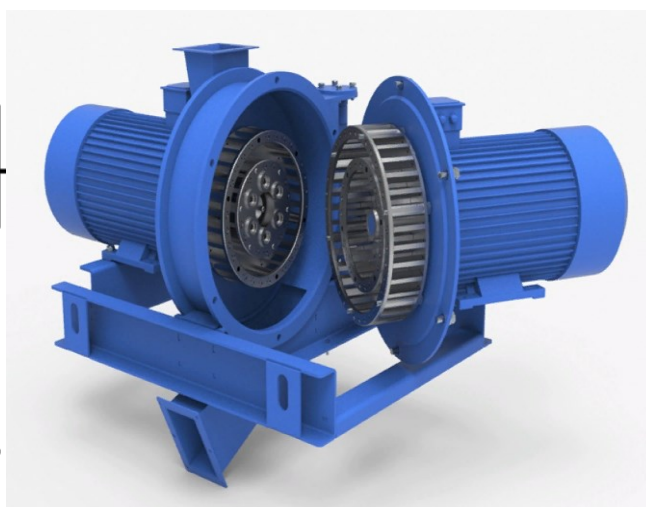
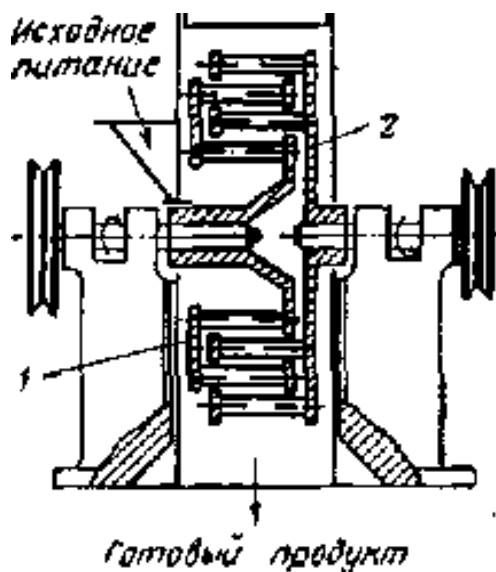


Рисунок 11 – Дезинтегратор: схема работы и общий вид

Молотковые дробилки

Молотковые (рисунок 12) и роторные дробилки изготавливают с ротором диаметром до 2000 мм, длиной до 3000 мм и окружной скоростью до 117 м/с. Они пригодны для крупного, среднего и мелкого дробления.

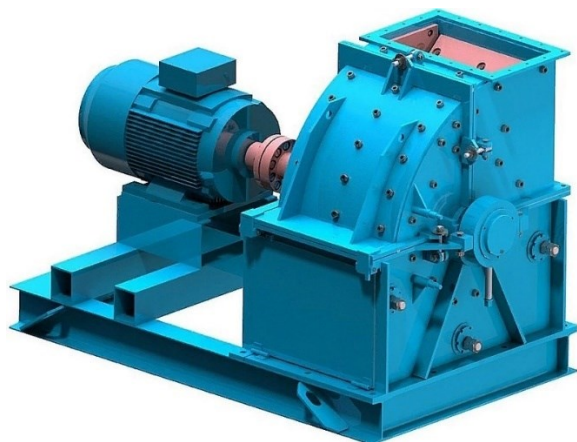


Рисунок 12 – Молотковая дробилка

Дробимый материал поступает в рабочее пространство дробилки через загрузочное отверстие. Разрушение кусков вызывается ударом молотков или

бил, ударом кусков о специальные отбойные плиты или бронестержни и при взаимном их столкновении, раздавливанием и истиранием кусков молотками или билами на колосниковой решетке. Дробленый продукт разгружается вниз под дробилку.

Для предотвращения вылета кусков из приемного отверстия предусмотрены закрытые сверху коробки, вход материала в которые имеет штору из конвейерных лент или цепей. Эту же коробку используют и для отсоса пыли, образующейся при дроблении.

Отбойные плиты изготавливаются в виде массивных отливок волнистой или зубчатой формы, иногда с продольными или поперечными щелями. В молотковых дробилках они устанавливаются неподвижно, в роторных – или подвешиваются совершенно свободно, или снабжаются пружинными амортизаторами, что позволяет им поворачиваться вокруг своей оси, если сила удара превышает известную величину или при попадании в дробилку недробимого предмета.

В зависимости от назначения дробилок их изготавливают одно- и двухроторными, с колосниковыми решетками и без них, со встроенными в корпус тяжелыми конвейерами, реверсивными или нереверсивными

Интенсивность процесса дробления на каждой стадии характеризуется *степенью дробления* (i_i). Равной отношению размеров максимальных кусков в исходном (D_{max}) и дробленном (d_{max}) продуктах:

$$i_i = D_{max}/d_{max}. \quad (1.19)$$

В зависимости от крупности дробимого материала и дробленого продукта различают:

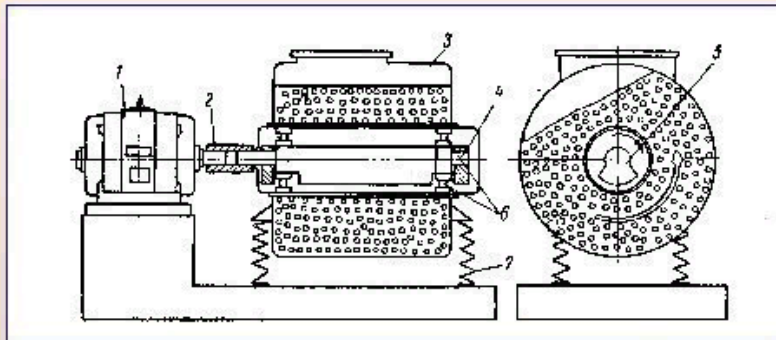
- *крупное дробление* (от 1500–300 до 350–100 мм), или первая стадия дробления (обычно не более 5);
- *среднее дробление* (от 350–100 до 100–40 мм), или вторая стадия дробления (не более 8–10);
- *мелкое дробление* (от 100–40 до 30–5 мм), или третья стадия дробления (не более 10).

1.6 Процесс измельчения

Измельчение осуществляется в барабанных (рисунок 13) вращающихся и вибрационных мельницах (рисунок 14), центробежных (рисунок 15), струйных и взрывоструйных мельницах. Выбор типа измельчительного аппарата зависит от физических свойств (прочности, вязкости, хрупкости и др.) и крупности исходного материала, а также требуемой степени его измельчения и раскрытия сростков, гранулометрического состава измельченного продукта, необходимой производительности.



Рисунок 13 – Барабанная мельница



Вибрационная мельница

1—электродвигатель; 2—эластичная муфта; 3—корпус; 4—вал вибратора; 5—дробилка; 6—подшипники; 7—пружины.



Рисунок 14 – Вибрационная мельница и ее устройство

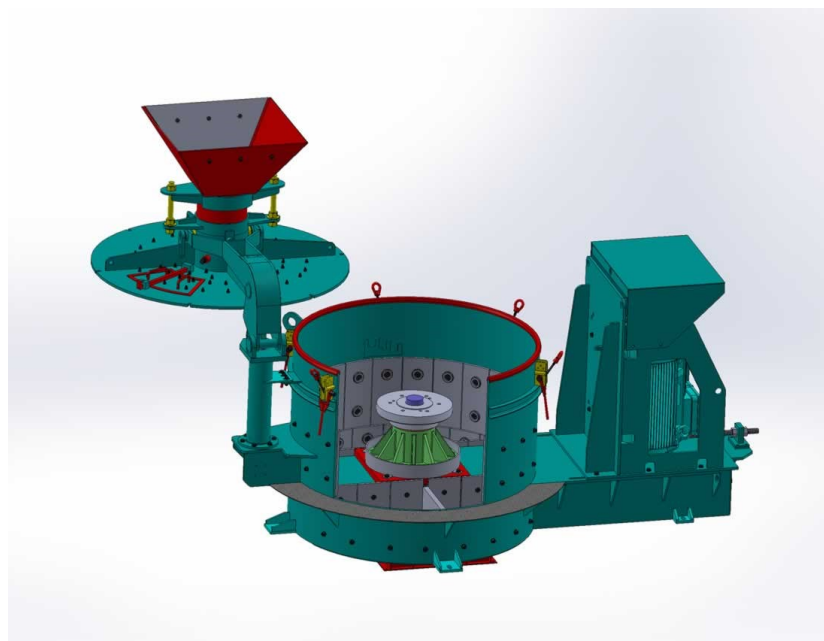


Рисунок 15 – Центробежная мельница

1.7 Процесс классификации (грохочения)

Грохочение – это процесс разделения материалов на классы крупности, осуществляемый на просеивающих поверхностях.

Просеивающие поверхности изготавливаются из различных материалов и имеют сквозные отверстия различной формы и размеров.

Сущность процесса грохочения заключается в том, что частицы исходного питания размерами меньше отверстий сита под действием силы тяжести и колебаний грохота проходят через эти отверстия. Частицы размерами больше отверстий сита остаются на нем и удаляются с грохота.

Материал, поступающий на грохочение, называется исходным, остающийся на сите – надрешетным (верхним) продуктом, проваливающийся через отверстия сита – подрешетным (нижним) продуктом .

При последовательном просеивании материала на n ситах получают $n + 1$ продуктов. В этом случае один из продуктов предыдущего просеивания служит исходным материалом для последующего просеивания.

Последовательный ряд абсолютных значений величин отверстий сит (от больших к меньшим), применяемых при грохочении, называется шкалой грохочения или классификации.

Модуль шкалы классификации – постоянное отношение размера отверстий предыдущих сит к размеру отверстий последующих.

Например, для шкалы классификации 100; 50; 25; 12,5; 6,25 мм модуль равен 2 ($100/50 = 50/25 = 25/12,5 = 12,5/6,25$).

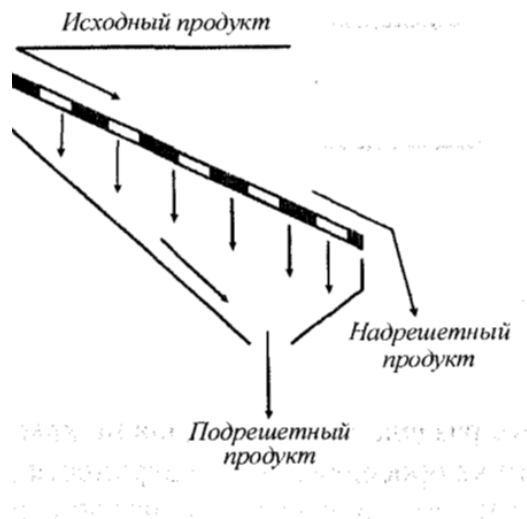


Рисунок 16 – Схема процесса грохочения (классификации)

Размер d наибольших зерен (кусков) подрешетного продукта такой же, как и размер отверстий сита, через которое осуществляется просеивание материала.

Соответственно обозначают:

- подрешетный продукт $-d$ (минус d);
- надрешетный продукт $+d$ (плюс d) (рисунок 16).

В зависимости от назначения грохочение бывает:

- самостоятельным;
- подготовительным;
- вспомогательным;
- грохочение с целью обезвоживания.

Самостоятельное грохочение – процесс разделения материала на продукты заданной крупности, являющиеся конечными товарными продуктами, предназначенными для отправки потребителям.

Подготовительное грохочение – процесс разделения материала на два или несколько классов, подвергаемых отдельной переработке на данной фабрике, например, перед отдельным обогащением классов крупности на различных аппаратах.

Вспомогательное грохочение предусматривается в схемах дробления и измельчения с целью выделения мелких классов, не подлежащих дроблению (измельчению).

Грохочение с целью обезвоживания – операция обезвоживания на грохотах продуктов обогащения или обесшламливание материала перед дальнейшим обогащением.

В зависимости от конструкции классификатора процесс классификации может осуществляться в горизонтальном или восходящем потоке среды под действием гравитационных сил и сил сопротивления, а также в центробежном

поле, где классифицируемые частицы испытывают дополнительное воздействие центробежных сил инерции.

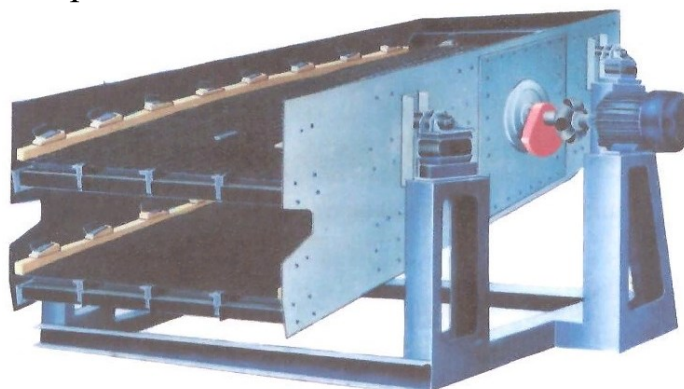


Рисунок 17 – Грохот вибрационный
(разделение материала происходит под действием гравитационных сил)

В классификаторе пульпа разделяется на два или несколько продуктов (фракций) различной крупности. При разделении на два продукта более **крупный продукт** носит название **песковой фракции**, сокращенно – песков, а более **мелкий** называется **сливом**. Разделение на три и более продукта (фракции) производится в многопродуктовых классификаторах.

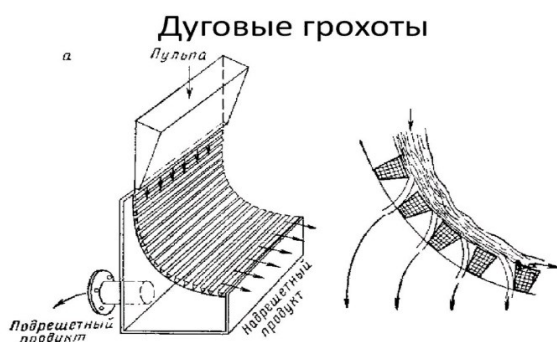


Рисунок 18 – Схема дугового сита и изображение дугового сита

При классификации в *восходящем потоке* (рисунок 19, *а*) крупность зерен, выделяемых в слив (или пески), определяется соотношением скорости их падения V_0 и скорости восходящего потока. Если для данного зерна $V_0 > U$, то зерно перейдет в пески, а если $V_0 < U$, то зерно будет вынесено потоком в слив классификатора. При получении нескольких классов их выделение осуществляется при различных скоростях восходящих потоков.

При классификации в *горизонтальном потоке* (рисунок 19, б) каждая частица перемещается в горизонтальном направлении со скоростью горизонтального потока среды U и по вертикали под действием силы тяжести с конечной скоростью падения V_0 .

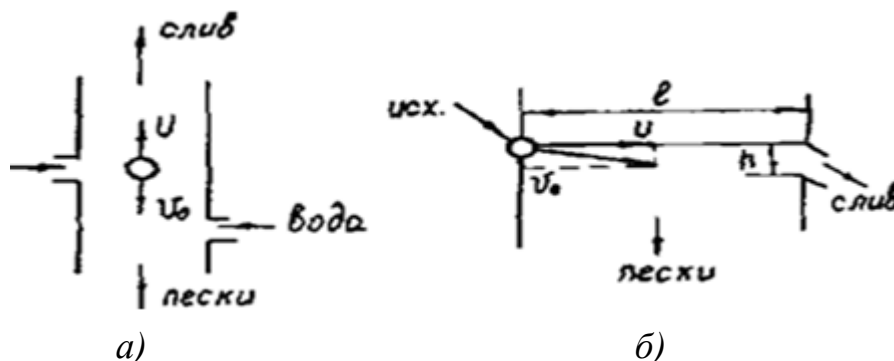


Рисунок 19 – Схема процесса классификации в восходящих (а) и горизонтальных (б) потоках

Для классификации в *центробежном поле* используются или неподвижные цилиндрические аппараты, пульпа или аэросуспензия в которые подается под давлением $(0,5-3,0) \cdot 10^5$ Па тангенциально к внутренней поверхности цилиндра, или вращающиеся обычно цилиндрические аппараты. Вращение пульпы и образование центробежных полей с ускорением в десятки и тысячи раз позволяет резко снизить крупность разделения, по сравнению с гравитационной классификацией.

Гидроциклоны – аппараты для гидравлической классификации тонкоизмельченных материалов в центробежном поле, создаваемом в результате вращения пульпы (рисунок 20).

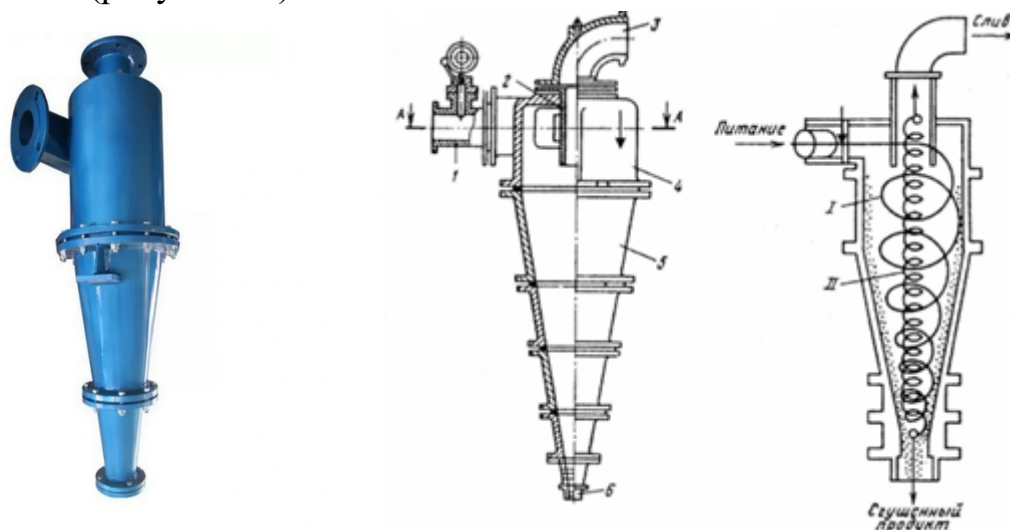


Рисунок 20 – Изображение гидроциклона и схема движения пульпы в гидроциклоне

Гидроциклон представляет собой аппарат, состоящий из цилиндрической 4 и конической 5 частей. Внутренняя поверхность аппарата защищена от истирания абразивными частицами футеровкой из каменного (диабазового) литья, полиуретана или резины.

Цилиндрическая часть закрыта сверху крышкой 2, имеющей центральное отверстие, к фланцам которого болтами крепится сливной патрубок 3. Снизу к конической части гидроциклона также болтами крепится песковая коническая насадка 6. Цилиндрическая часть гидроциклона имеет патрубок 1, по которому под давлением подается исходный материал. Давление пульпы на входе в гидроциклон контролируется манометром.

Исходная пульпа поступает в гидроциклон (рисунок 20) под давлением через питающий патрубок 1. Так как питающий патрубок расположен по касательной к цилиндрической части 4 корпуса, пульпа получает вращательное движение. Наиболее тяжелые и крупные частицы под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам аппарата и нисходящим спиральным потоком движутся вниз к разгрузочной насадке 6 для песков. Мелкие же частицы вместе с водой образуют внутренний поток, который поднимается вверх и выносятся через сливной патрубок 3.

Барабанные грохоты (рисунок 21, 22) имеют вращающуюся просеивающую поверхность цилиндрической или конической формы.

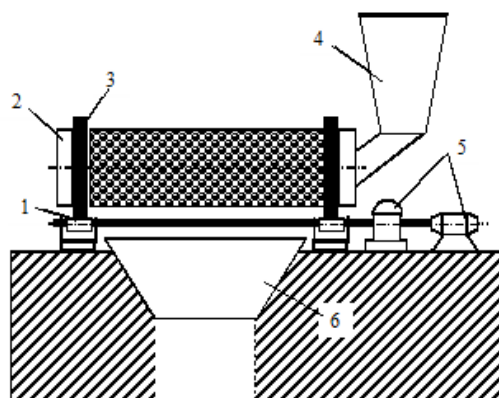
Барабанный грохот



Обычно используется для мокрого грохочения и для промывки



Рисунок 21 – Барабанный грохот



1 – опорный приводной ролик; 2 – просеивающая поверхность; 3 – бандаж;
4 – бункер руды; 5 – привод; 6 – приемный бункер

Рисунок 22 – Схема барабанного грохота

В зависимости от формы барабана бывают:

- цилиндрические;
- конические.

Просеивающая поверхность представляет собой стальные перфорированные листы или сетку. Ось цилиндрического барабана наклонена к горизонту под углом от 4 до 7°, ось конического – горизонтальна.

Барабанные грохоты изготавливают также для классификации материала на несколько классов. Для этого сито барабана собирается из нескольких секций с увеличивающимися к разгрузочному концу отверстиями.

Также применяются барабанные грохоты (бураты), рабочая поверхность которых состоит из шести или восьми плоских сит, образующих боковую поверхность призмы или усеченной пирамиды.

Диаметр барабана – от 500 до 3000 мм; длина – от 2000 до 9000 мм. Диаметр буратов – 1000–1100; длина – 3500–6000 мм.

Частоту вращения барабана ограничивают определенным пределом, так как при больших частотах вращения центробежная сила прижимает материал к рабочей поверхности и грохочение становится практически невозможным. Такая частота вращения называется критической и вычисляется по следующей формуле:

$$n_{кр} = \frac{30}{\sqrt{R}} \text{ об/мин}, \quad (1.20)$$

где R – радиус барабана, м.

Рабочую частоту вращения выбирают в пределах:

$$n = \frac{8}{\sqrt{R}} \div \frac{14}{\sqrt{R}} \text{ об/мин}. \quad (1.21)$$

Производительность грохота (в т/ч) по исходному питанию может быть вычислена по следующей формуле:

$$Q = 600 \cdot \delta \cdot y \cdot n \cdot (\text{tg}2\alpha) \cdot \sqrt{R^3 \cdot h^3}, \quad (1.22)$$

где δ – плотность материала, т/м³;

y – коэффициент разрыхления ($y = 0,2-0,4$);

α – угол наклона грохота, град.;

R – радиус барабана, м;

h – толщина слоя материала ($h \leq 2d_{\max}$), м.

Средняя производительность барабанного грохота на 1 м² площади сита и на 1 мм размера отверстий составляет при сухом грохочении 0,25–0,3 т/ч, при мокром – около 0,45 т/ч.

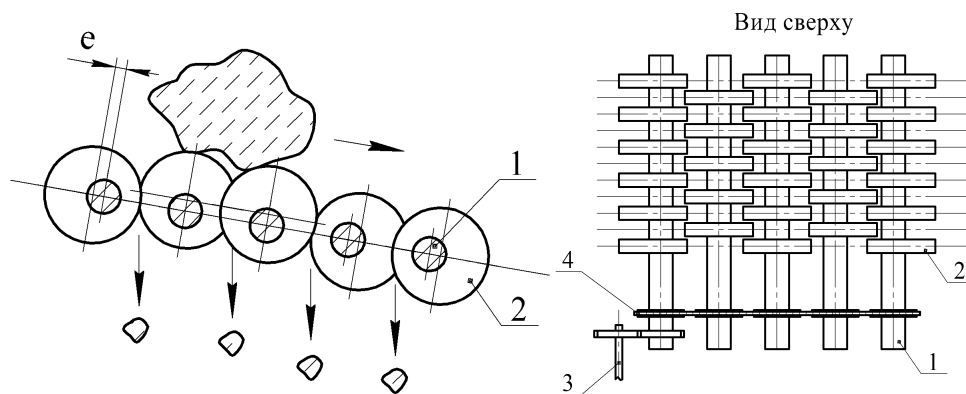
Основные недостатки: громоздкость, малая удельная производительность и низкая эффективность, особенно при грохочении мелкого материала.

Для промывки, дезинтеграции и мокрого грохочения рыхлых руд, содержащих платину, золото, олово и глину, применяют так называемые бутары. Их выполняют утяжеленной конструкции, позволяющей принимать куски крупностью до 200 мм. Для интенсификации промывки внутрь бутары подводят воду под давлением 0,2–0,5 МПа. Внутри барабана устанавливают полки и навешивают цепи, для разрыхления перерабатываемого материала. Частота вращения барабана увеличена до $\frac{20}{\sqrt{R}}$ об/мин.

К грохотам с подвижными колосниками относятся валковые грохоты (рисунок 23, рисунок 24, рисунок 25), просеивающей поверхностью которых являются эксцентриковые диски 2, насаженные на вращающиеся горизонтальные валы 1, установленные параллельно друг другу. Все валы, кроме крайнего, имеют на одном из концов звездочки, связанные между собой цепями 4. Один из валов является приводным. Вращение всех валов и перемещение материала осуществляется в одном направлении.



Рисунок 23 – Валковый грохот



1 – вал; 2 – эксцентрик; 3 – привод; 4 – цепь

Рисунок 24 – Схема валкового грохота

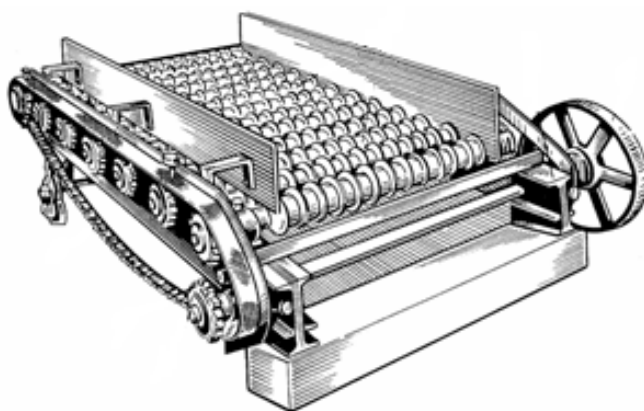


Рисунок 25 – Общий вид валкового грохота

Достоинства:

– высокая производительность по сравнению с неподвижными колосниковыми грохотами.

Недостатки:

- износ дисков;
- сложность конструкции;
- непригодность для глинистых и влажных материалов.

Рассеиваемый материал движется по дискам, при этом просев проваливается в зазоры между дисками (от 15 до 175 мм.), а отсев разгружается в конце грохота. Эксцентricность дисков обеспечивает разрыхление материала и способствует его продвижению вдоль грохота. Угол наклона грохота 10...12°. Скорость вращения дисков 0,6...1,5 м/с.

1.8 Дробление полезных ископаемых. Способы и схемы дробления

Процесс дробления по своему значению может быть:

- подготовительным;
- самостоятельным.

Целью *подготовительного* дробления полезных ископаемых перед их обогащением является раскрытие (разъединение) минералов при минимальном их переизмельчении в результате разрушения минеральных сростков. Конечная крупность дробления определяется крупностью вкрапленности извлекаемых минералов.

Дробление называется *самостоятельным*, если получаемый продукт не подлежит процессу обогащения, а является товарным и подлежит непосредственному использованию (угли перед коксованием, известняки и доломиты, камень при изготовлении щебня и т.д.). Крупность дробленных продуктов в этом случае определяется предъявляемыми к ним требованиями.

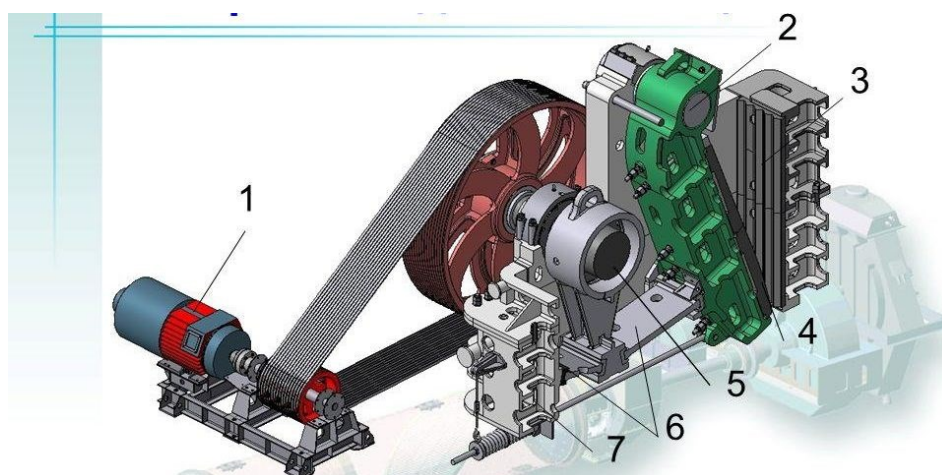
Интенсивность процесса дробления на каждой стадии характеризуется степенью дробления (i). Равной отношению размеров максимальных кусков в исходном (D_{max}) и дробленном (d_{max}) продуктах:

$$i = D_{max}/d_{max}. \quad (1.23)$$

В зависимости от крупности дробимого материала и дробленого продукта различают:

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

Щековые дробилки (рисунок 26) применяют для крупного и среднего дробления преимущественно твердых невязких руд. Дробление производится в рабочем пространстве, образованном неподвижной и подвижной – качающейся – щеками, в результате раздавливания, раскалывания и разламывания кусков при сближении щек.



1 – привод; 2 – ось; 3 – щека неподвижная; 4 – щека подвижная;
5 – вал эксцентриковый; 6 – плита распорная; 7 – станина

Рисунок 26 – Щековая дробилка

Типоразмеры щековых дробилок характеризуются шириной B и длиной Z их приемного отверстия – пасти ($B \times Z$). Максимальная крупность кусков исходного материала не должна превышать 85 % ширины приемного отверстия.

Простота конструкции, обслуживания и ремонта щековых дробилок привела к довольно широкому использованию их на обогатительных фабриках средней производительности, несмотря на существенные недостатки: сильную вибрацию при работе, забивку рудой при неравномерной загрузке, неоднородной крупности дробленого продукта.

Конусные дробилки получили широкое распространение в горнорудной промышленности для крупного, среднего и мелкого дробления руд, горно-химического сырья и строительных горных пород. Дробление осуществляется в кольцевом пространстве между неподвижным и подвижным (дробящим) конусами (рисунок 27). Подвижный конус, как бы обкатывая внутреннюю поверхность неподвижного конуса, производит дробление крупных кусков в результате их раздавливания, а также частично истирания и разламывания вследствие криволинейной формы дробящих поверхностей. Исходный материал (рисунок 27) загружается сверху в пространство 4 между подвижным 3 и неподвижным 2 конусами, а разгрузка дробленого продукта производится вниз под дробилку 1 через щель во время отхода подвижного конуса от неподвижного.

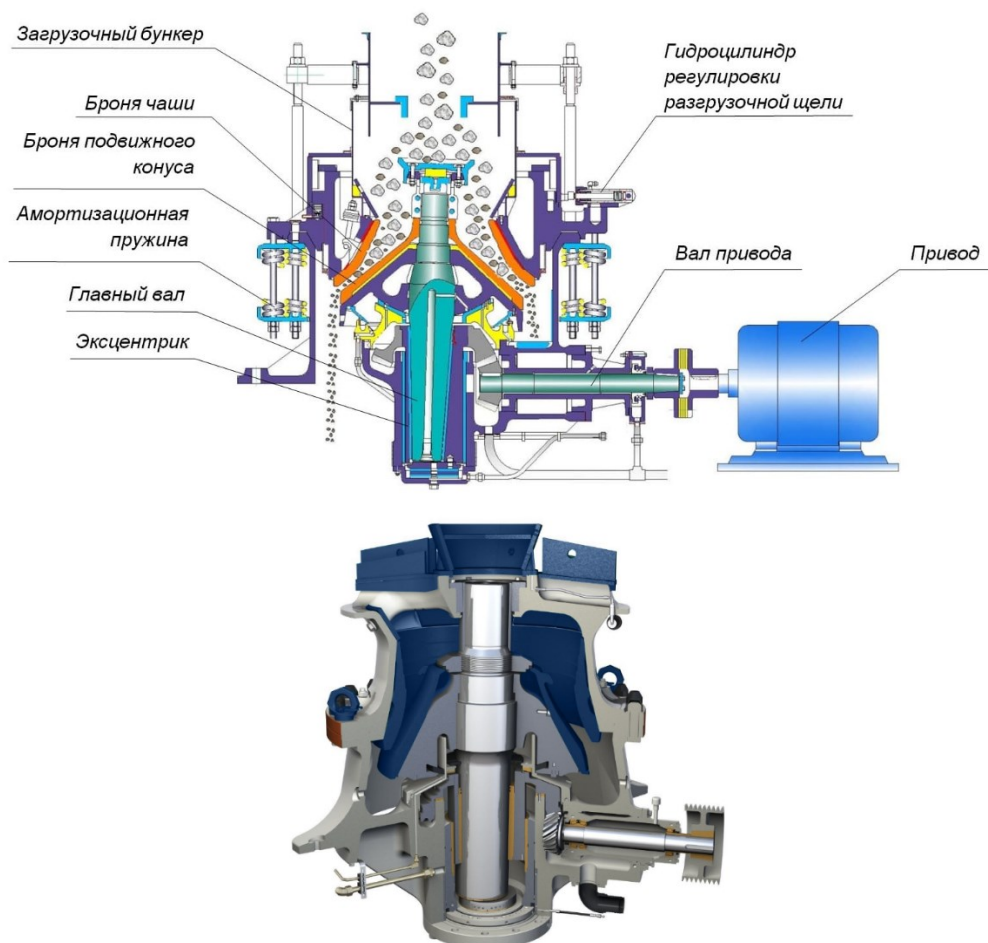


Рисунок 27 – Конусная дробилка (принцип работы)

Неподвижный конус образован внутренней поверхностью верхней части корпуса дробилки. Подвижный конус насажен на вал и его движение по неподвижному конусу обеспечивается несколькими способами. По основному из них нижний конец вала крепят эксцентрично в стакане. При вращении эксцентрикового стакана через зубчатую передачу ось вала описывает коническую поверхность.

Главным различием конусных дробилок для крупного, среднего и мелкого дробления является профиль их рабочего пространства. У дробилок для крупного дробления оно приспособлено к приему крупных кусков и кольцевое пространство между подвижным и неподвижным конусами расширяется в верхней части. Максимальный диаметр дробящего конуса примерно в 1,5 раза превышает ширину приемного отверстия дробилки, а ширина разгрузочной щели составляет около 0,1–0,2 от его размера.

Дробилки мелкого дробления по сравнению с дробилками среднего дробления имеют большую длину «параллельной зоны» между конусами и меньшую высоту дробящего конуса, поэтому их называют еще короткоконусными. Производительность дробилок среднего и мелкого дробления пропорциональна площади разгрузочной щели. Учитывая небольшую ее ширину, стремятся увеличивать ее длину за счет применения пологих дробящих конусов.

Конусные дробилки характеризуются высокой производительностью, сравнительно низким удельным расходом электроэнергии и достаточно равномерным по крупности дробленным продуктом.

К недостаткам конусных дробилок относится сложность конструкции, затрудняющая их ремонт и обслуживание, а также неудовлетворительная их работа при дроблении глинистых и вязких материалов, которые быстро забивают (запрессовывают) рабочую зону и разгрузочную щель дробилки.

Молотковые дробилки

В молотковых и роторных дробилках ударный ротор вращается в рабочем пространстве корпуса, футерованного специальными броневыми плитами.

Удары по кускам материала в молотковых дробилках (рисунок 28, рисунок 29) наносятся молотками, укрепленными на роторе машины шарнирно. Ротор состоит из насаженных на вал дисков, по периферии которых через отверстия пропущены стержни, служащие осями дробящих молотков. Поскольку сила удара определяется массой молотка, то для крупного дробления устанавливается меньшее число рядов тяжелых молотков, а для мелкого дробления – большее число рядов легких молотков. Наибольшая эффективность наблюдается при дроблении хрупких руд и материалов.

Дробимый материал поступает в рабочее пространство дробилки через загрузочное отверстие. Разрушение кусков вызывается ударом молотков или

бил, ударом кусков о специальные отбойные плиты или бронестержни и при взаимном их столкновении, раздавливанием и истиранием кусков молотками или билами на колосниковой решетке. Дробленый продукт разгружается вниз под дробилку.

В зависимости от назначения дробилок их изготавливают одно- и двухроторными, с колосниковыми решетками и без них, со встроенными в корпус тяжелыми конвейерами, реверсивными или нереверсивными.

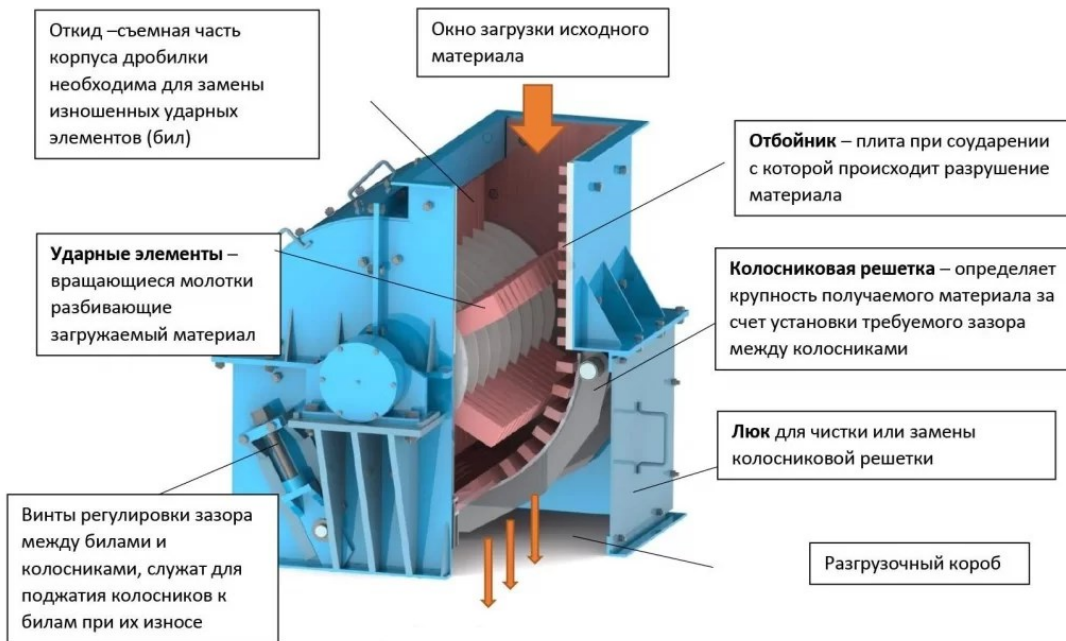
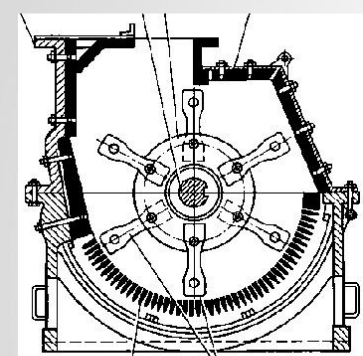
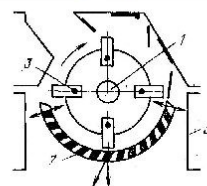


Рисунок 28 – Колосниковая молотковая дробилка

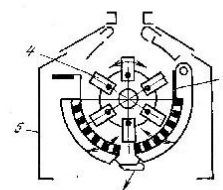
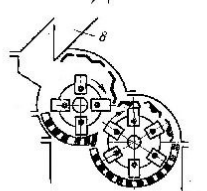
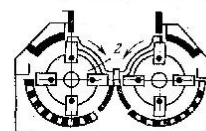
Молотковые дробилки



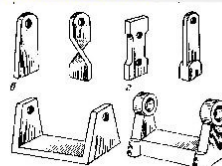
Однороторная



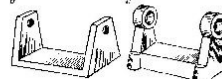
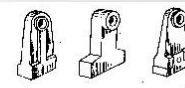
Двуроторная



Двуроторная последовательная



Реверсивная



Формы молотков
Рудоподготовка

Рисунок 29 – Вид молотковой дробилки, схемы роторов, формы молотков

1.9 Процесс прессования горных пород и применяемое оборудование

Брикетирование – это процесс окускования порошкообразного, мелкого материала в замкнутом пространстве под воздействием механических усилий (давления). Принцип брикетирования мелких материалов заключается в том, что брикетный пресс сжимает исходный материал в пресс-форме, в результате чего мелкие частицы объединяются в крупные агрегаты-брикеты, форма которых определяется конфигурацией пресс-формы.

Брикетирование руд без добавки связующих веществ осуществляют прессованием под давлением до $73,5 \text{ МН/см}^2$ (750 кгс/см^2). Сырые брикеты подвергают высокотемпературному обжигу (1200°C и выше), в процессе которого происходит их упрочнение. Прочность обожженных брикетов на сжатие достигает 150 кгс/см^2 , этот способ широко применяется во многих странах.

Брикеты, полученные прессованием руд и концентратов с добавками связующих веществ, имеют высокую прочность, поэтому упрочняющему обжигу они не подвергаются. В качестве связующих добавок применяют следующие органические и минеральные вещества: каменноугольная смола, пек, асфальт и др. Но они широко не используются из-за их дороговизны.

К качеству рудных брикетов предъявляются следующие требования:

- высокая механическая и термическая прочность;
- атмосфероустойчивость;
- пористость;
- плотность.

Подготовка брикетируемых компонентов. Подготовка к брикетированию заключается в обеспечении необходимой крупности, содержания влаги и металла в руде. Для малопрочных руд крупность должна быть не более 1 мм. Более крупные зерна при прессовании растрескиваются и образуют большое количество новых поверхностей, не покрытых связующими. Для руд средней и высокой прочности верхний предел крупности составляет 5–6 мм.

Завершающий этап подготовки брикетной смеси – дозирование компонентов и их тщательное перемешивание. Для дозирования применяют тарельчатые, барабанные, вибрационные, шнековые и другие типы питателей; для смешивания – одно-, двухвальные лопастные и барабанные смесители и многоступенчатые мешалки.

Для брикетирования применяют прессы периодического и непрерывного действия. К первым относятся штемпельные, револьверные (столовые) и рычажные; ко вторым – вальцовые и кольцевые.

Наиболее широко применяются вальцовые прессы, они имеют высокую производительность, большие усилия прессования, экономичны, малогабаритны и просты в эксплуатации. Эффективная работа вальцовых прессов во многом зависит от предварительного уплотнения шихты – подпрессовки, основная цель

которой – увеличение насыпной массы прессуемого материала. Одновременно при этом достигаются снижение расхода связующего, уменьшение пластичности брикетной смеси, строгое дозирование шихты в межвалковое пространство. Применение подпрессовки позволяет развить давление прессования на вальцовых прессах более 100 МПа.

Вальцовый пресс состоит из питателя-загрузчика (распределительная чаша), валков с бандажными кольцами и станины с системой гидравлического сжатия валков.

Валковый пресс (рисунок 30) представляет собой конструкцию бесстанинного типа и состоит из следующих основных узлов: двух рабочих валков с подушками, загрузочного устройства, устройства прижима валков и предохранения пресса от перегрузки, привода пресса и рамы. Скомпонован пресс с приводом и загрузочным устройством на общей раме.

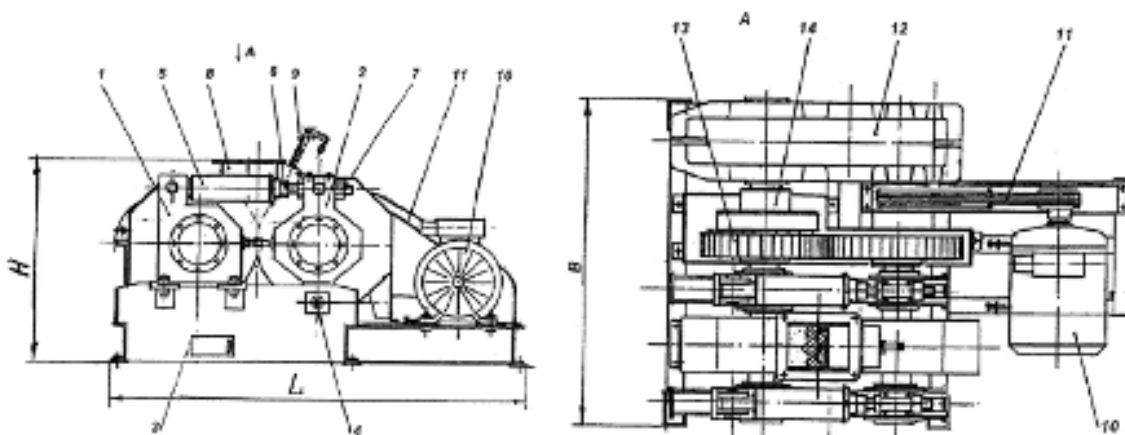


Рисунок 30 – Схема валкового (вальцевого) пресса

Рабочие валки (приводной 1 и неприводной 2) установлены в подшипниковых опорах (подушках). Подушки приводного валка неподвижны и жестко закреплены на раме 3. Подушки неприводного валка соединены с рамой шарнирно с помощью пальцев 4 и имеют возможность перемещения на определенную величину при превышении заданного усилия прессования. Подвижная и неподвижная подушки соединены между собой попарно с помощью предохранительных устройств 5. Предохранительные устройства представляют собой набор тарельчатых пружин, установленных в цилиндрических корпусах. Предварительной затяжкой пружин устанавливается заданное значение усилия прессования. Зазор между рабочими поверхностями валков устанавливается и регулируется гайками 7 на штоках, проходящих через сухари шарнирных опор неприводного валка.

При превышении заданного усилия прессования (усилия предварительной затяжки пружин), в том числе при попадании в межвалковое пространство посторонних предметов, неприводной валок отклоняется, и зазор может быть

увеличен до 15 мм с мгновенным восстановлением рабочего зазора после снижения усилия до значения, не превышающего заданное.

Валки снабжены сменными кольцевыми бандажами с профилированной рабочей поверхностью. Монтаж и демонтаж бандажей производится с помощью клиновидных колец. Загрузочное устройство 8 состоит из сварной воронки, размещенной в верхней части раствора валков и закрепленной на специальной раме, охватывающей боковые поверхности бандажей.

Регулировка подачи материала в межвалковое пространство осуществляется с помощью шибера 9.

1.10 Гранулирование горных пород

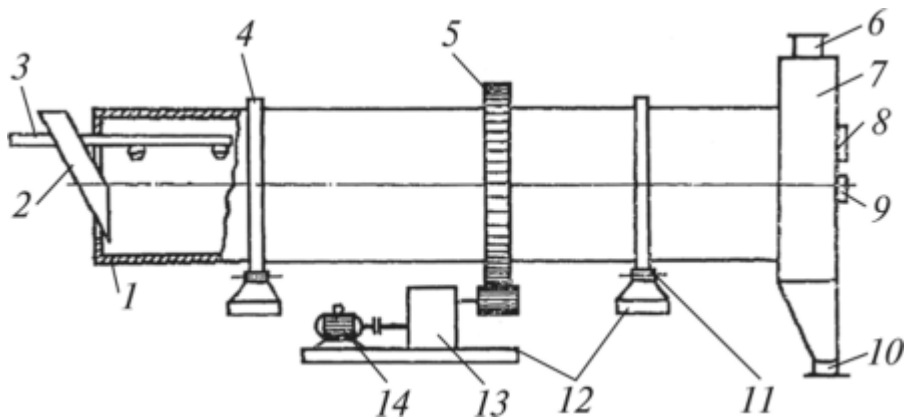
Методы гранулирования охватывают большую группу процессов формирования агрегатов обычно шарообразной или цилиндрической формы из порошков, паст, расплавов или растворов перерабатываемых материалов.

Гранулирование порошкообразных материалов окатыванием чаще всего проводят в ротационных (барабанных, тарельчатых, центробежных, лопастных), ленточных и вибрационных грануляторах различных конструкций. Производительность этих аппаратов и характеристики получаемых гранулятов зависят от свойств исходных материалов, а также от технологических и конструктивных параметров их работы.

Барабанные грануляторы

Получившие большое распространение на практике барабанные грануляторы часто снабжают различными устройствами для интенсификации процессов, предотвращения адгезии липких порошков на рабочих поверхностях, сортировки гранул по размерам. Они характеризуются большой производительностью (до 70 т/ч, иногда выше), относительной простотой конструкции, надежностью в работе, сравнительно невысокими удельными энергозатратами. Однако барабанные грануляторы не обеспечивают возможности получения гранулята узкого фракционного состава, контроля и управления соответствующими процессами.

Барабанный гранулятор (рисунок 31) представляет собой горизонтальный или наклоненный под углом 1–3° в сторону выгрузки цилиндр с закрепленными на нем бандажами и венцовой шестерней, через которую передается крутящий момент от электродвигателя. С торцов барабан снабжен загрузочной и разгрузочной камерами, герметизирующими рабочий объем гранулятора. Через загрузочную течку вводится исходная шихта или сухой порошок. В последнем случае для подачи связующего в головной части барабана над слоем материала установлены распределители жидкости.



1 – обечайка; 2 – течка для загрузки порошка; 3 – распределитель связующего;
 4 – бандаж; 5 – венцовая шестерня; 6 – патрубок для отсоса паров;
 7 – выгрузочная камера; 8 – окно для подсветки; 9 – смотровое окно;
 10 – патрубок для выгрузки гранул; 11 – опорный ролик;
 12 – бетонные основания; 13 – редуктор; 14 – электромотор
 Рисунок 31 – Конструктивная схема барабанного гранулятора

К распределителям жидкости предъявляют следующие требования:

- простота конструкции;
- равномерность распределения;
- возможность регулирования дисперсности распыла;
- возможность очистки во время эксплуатации.

Применяют распределитель типа «пила» (рисунок 32), представляющий собой трубу с зубчатым желобом. Желоб снабжают крышкой, предотвращающей попадание в него материала.

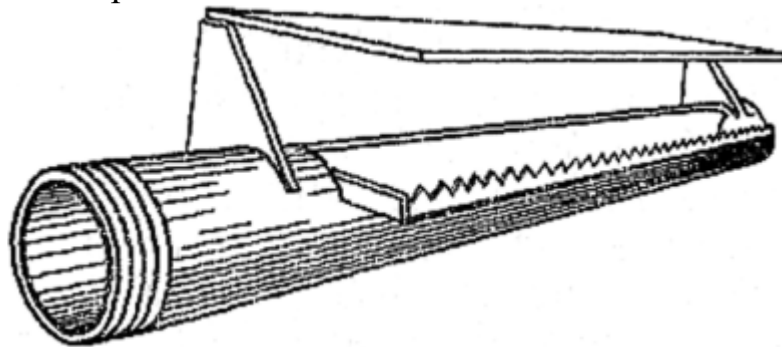


Рисунок 32 – Распределитель жидкости типа «пила»

Недостатком таких распределителей является необходимость их строго горизонтальной установки и невозможность регулирования размера капель.

Для диспергирования жидкости применяют пневматические форсунки внутреннего и внешнего смешения, работу которых регулируют изменением давления распыливающего агента.

Это давление, однако, ограничено, так как происходит размывание слоя материала струей. Поскольку для гранулирования окатыванием не требуется

особенно тонкого и однородного распыливания жидкости, часто используют механические форсунки.

Для создания нормальных условий окатывания и подъема материала на заданную высоту обычно достаточно трения о гладкие стенки барабана. Однако коэффициент заполнения барабана при хорошем перемешивании невелик, а габариты аппарата значительны. С целью увеличения коэффициента заполнения предложены различные конструктивные решения. Так, например, внутри барабана приваривают продольные листы.

РАЗДЕЛ II ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1 Гравитационные методы обогащения горных пород

Гравитационное обогащение – это обогащение, основанное на различии плотностей разделяемых компонентов. Исходным материалом для гравитационного обогащения является механическая смесь твердых частиц, различающихся по плотности.

Процессы гравитационного обогащения – это процессы, в которых разделение минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером и формой, обусловлено различием в характере и скорости их движения в среде под действием силы тяжести и сил сопротивления среды разделения. В качестве среды разделения используют воду, воздух, тяжелые суспензии и жидкости.

Все гравитационные процессы подразделяются на две принципиально отличные категории:

- гидростатические;
- гидродинамические.

По способу осуществления гравитационные процессы классифицируют следующим образом:

- реализуемые в объеме пульпы (обогащение в тяжелых суспензиях, отсадка, гидравлическая классификация, сгущение);
- во взвесенесущем потоке малой толщины (обогащение на концентрационных столах, шлюзах, желобах и конусных сепараторах);
- в центробежном поле (обогащение на винтовых сепараторах и в центробежных концентраторах);
- процессы пневматического обогащения (обогащение на пневматических сепараторах и пневматических отсадочных машинах).

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

Сущность процесса отсадки заключается в разделении смеси зерен полезного ископаемого по плотности в водной или воздушной среде, колеблющейся (пульсирующей) относительно разделяемой смеси в вертикальном направлении.

2.2 Оборудование, применяемое при отсадке горных пород

Отсадочная машина – машина для гравитационного обогащения, в которой исходный материал разделяется на отсадочном решете под влиянием вертикальных колебаний жидкости или воздуха.

Отсадочная машина (рисунок 33) состоит из двух сообщающихся между собой отделений – отделения концентрации I и отделения пульсации II. В

концентрационном отделении укреплено решето 1, на котором разделяются минералы. В отделении пульсаций имеется устройство, сообщающее возвратно-поступательное движение воде, которой заполнена камера машины. Обогащаемое полезное ископаемое попадает на решето вместе с водой, которая транспортирует его вдоль машины, распределяя равномерным слоем, называемым постелью.

Постелью 3 называют всю массу материала, сростков и породы, находящуюся на решете.

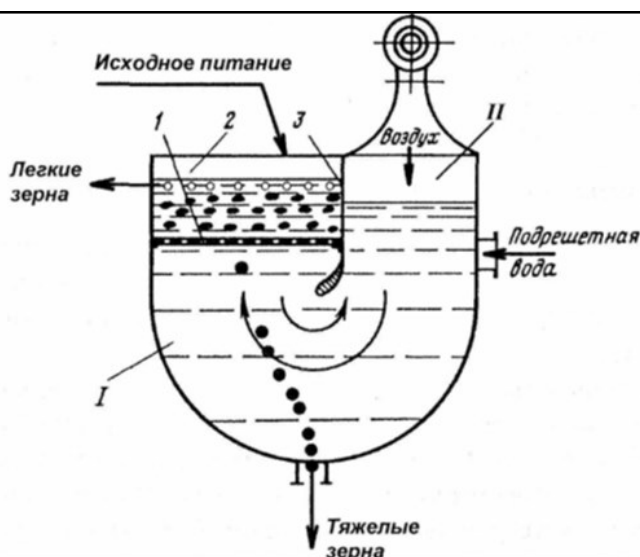


Рисунок 33 – Принципиальная схема отсадочной машины

Через отверстия в решете от привода создаются переменные по скорости и по направлению восходяще-нисходящие потоки воды. В результате многократных воздействий восходящих и нисходящих потоков постель расслаивается: легкие минералы восходящими потоками выносятся в верхние слои, а тяжелые под действием сил тяжести, преодолевая сопротивление среды, концентрируются в нижних слоях постели.

За счет продольных потоков транспортной воды постель перемещается вдоль машины к разгрузочному концу решета 2, где происходит послойная разгрузка продуктов обогащения.

Мелкие тяжелые зерна разгружаются в камеру машины через решето, более крупные – перемещаются по решету и разгружаются через щель в конце решета, а легкие зерна удаляются вместе со сливом.

Разнообразие условий применения отсадочных машин привело к созданию многочисленных конструктивных разновидностей. Отсадочные машины классифицируют по целевому назначению, принципу работы привода, способу разгрузки продуктов разделения, числу выделяемых продуктов и другим признакам.

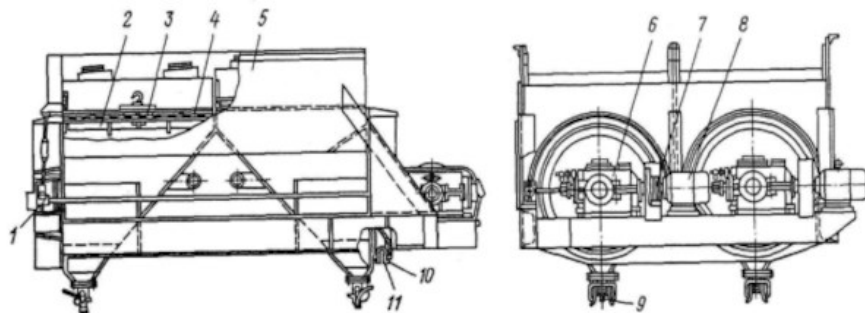
В зависимости от вида среды разделения все машины подразделяются на гидравлические (с водной рабочей средой) и пневматические (с воздушной рабочей средой).

По принципу работы привода, обеспечивающего пульсацию воды в отделении концентрации, отсадочные машины подразделяются на:

- поршневые;
- диафрагмовые;
- воздушно-пульсационные (беспоршневые);
- с подвижным решетом.

В поршневых отсадочных машинах (ОМП) пульсации воды вызываются возвратно-поступательным движением поршня. Поршневые машины применяются для обогащения марганцевых, оловянных, вольфрамовых руд крупностью 2–40 мм.

В диафрагмовых отсадочных машинах (МОД) (рисунок 34) пульсации среды создаются движением конических днищ или диафрагмой. Машины применяются для обогащения руд черных, редких металлов и золотосодержащих россыпей при крупности обогащаемого материала 0,5–15 (30) мм.



- 1 – задняя траверса; 2 – подрешетная рама; 3 – решет; 4 – надрешетная рама;
5 – корпус; 6 – редуктор; 7 – упругая муфта; 8 – электродвигатель;
9 – разгрузочное устройство; 10 – передняя траверса; 11 – манжета

Рисунок 34 – Диафрагмовая отсадочная машина МОД-4

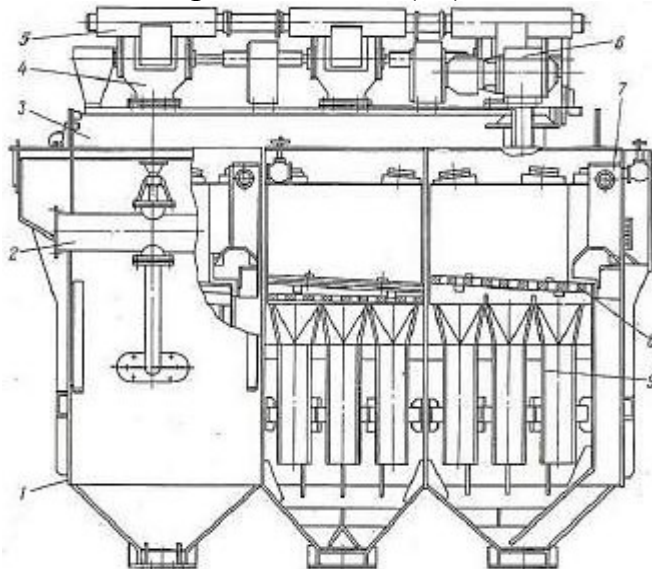
Характеристики диафрагмовой отсадочной машина МОД-4:

- производительность машины: 4 – 39 т/ч;
- площадь решет: 0,18 – 9,4 м²;
- число камер: 1 – 6;
- амплитуда колебаний: 3 – 50 мм⁻¹;
- крупность питания: от 0,1 до 30 мм;
- мощность электродвигателя: 0,6 – 3 кВт.

Расход воды на отсадочной машине 1 – 4 м³/т: из них 20 % подается в питание, 50 % – под решет I камеры и 30% под решет II камеры.

Крупность искусственной минеральной постели может быть до 30 – 40 мм. При использовании стальной дробы для мелкозернистого материала, ее крупность составляет 4 – 6 мм.

В воздушно-пульсационных (беспоршневых) (ОПМ, ОПО) (рисунок 35) отсадочных машинах пульсации среды создаются периодическим впуском сжатого воздуха. Машины получили наибольшее распространение при обогащении углей крупностью 0,5 (0,3) – 13 (25) мм и реже при обогащении руд крупностью разделяемого материала 0,5 – 4 (60) мм.



1 – корпус; 2 – водяной коллектор; 3 – воздухообъемник; 4 – пульсатор; 5 – воздушный коллектор; 6 – электропривод пульсаторов; 7 – авторегулятор; 8 – отсадочное решето; 9 – проточное устройство разгрузки тяжелых фракций
Рисунок 35 – Общий вид отсадочной машины типа ОПМ

2.3 Обогащение полезных ископаемых в потоке воды

Промывка – это процесс дезинтеграции (разрыхления, диспергирования) глинистого материала, содержащегося в руде, в соответствующих аппаратах под действием воды.

Промывка может быть самостоятельной операцией, в результате которой выделяется концентрат. Но чаще она является подготовительным процессом перед дальнейшим обогащением.

В зависимости от физико-механических свойств глины, руды бывают легкопромывистыми, среднепромывистыми, труднопромывистыми и весьма труднопромывистыми. Процесс промывки широко применяется при обогащении железных, марганцевых, хромовых руд, россыпей цветных редких и благородных металлов, строительного сырья (гравия, щебня, песка), коалинового сырья, фосфоритов, флюсовых известняков и других полезных ископаемых

Для промывки легкопромывистых руд применяют желоба, плоские и барабанные грохоты, бутары. Для промывки среднепромывистых руд используют скрубберы, скрубберы-бутары (рисунок 36), гравиемойки, вибромойки.

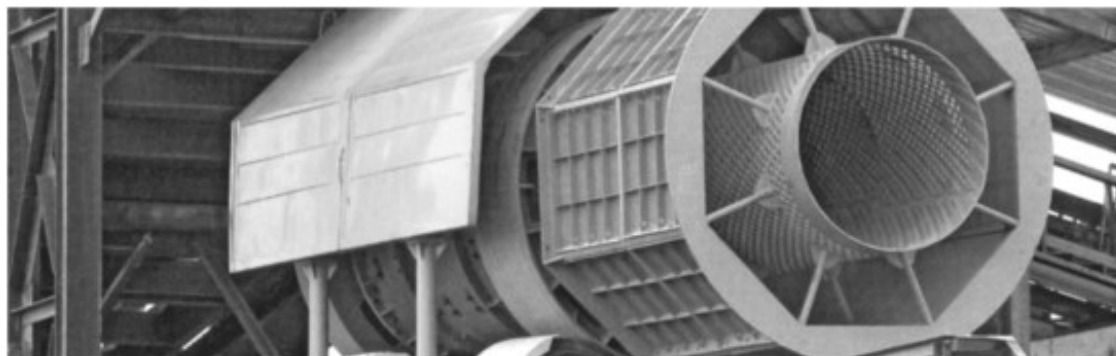


Рисунок 36 – Скруббер-бутара

Для расчета производительности промывочных машин можно исходить из расхода электроэнергии, необходимой на промывку 1 трубы:

$$Q = N \cdot \eta / q, \text{ т/ч}, \quad (1.24)$$

где N – установленная мощность электродвигателей, кВт;

η – коэффициент использования мощности двигателя (0,7 – 0,8);

q – удельный расход электроэнергии на промывку руды, кВт·ч/т.

Удельный расход электроэнергии: для легкопромывистых руд $q = 0,25$ кВт·ч/т; для среднепромывистых руд 0,25 – 0,75 кВт·ч/т; для труднопромывистых руд 0,75 – 2 кВт·ч/т; для весьма труднопромывистых руд более 2 кВт·ч/т.

При расчете производительности промывочных машин можно исходить также из необходимого времени на промывку руды до заданного качества.

Тогда для скруббера:

$$Q = 60 \cdot V \cdot \varphi / t, \quad (1.25)$$

где V – внутренний объем барабана, м³;

φ – коэффициент заполнения барабана материалом (0,8 – 0,1);

t – время, необходимое для промывки материала до заданного качества, мин.

Время промывки: для легкопромывистых руд $t = 1$ мин и менее; для среднепромывистых руд 1 – 2; для труднопромывистых руд 2 – 6; для весьма труднопромывистых руд более 6 мин.

Для корытной мойки:

$$Q = 30\pi \cdot D^2 \cdot \varphi \cdot L \cdot K / t, \quad (1.26)$$

где D – диаметр окружности, описываемой лопастями, м;

φ – коэффициент заполнения корыта материалом (0,1 – 0,15);

L – длина корыта, м;

K – коэффициент использования длины корыта;

t – время, мин.

Для вибрационных промывочных машин:

$$Q = 60 \cdot m \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \varphi \cdot L/t, \quad (1.27)$$

где m – количество промывочных машин;

R – радиус ванны, м;

φ – коэффициент заполнения ванны материалом (0,6 – 0,7);

L – длина ванны, м;

t – время промывки, мин.

Частота вращения барабанов промывочных машин (скрубберов, скрубберов-бутар) может быть определена по формуле:

$$n = \frac{28}{\sqrt{D}}, \text{ мин}^{-1}, \quad (1.28)$$

где D – диаметр барабана, м.

Промывку ПИ относят к гравитационным методам обогащения. Часто промывка заключается в простом обесшламливании материалов, материалов, осуществляемом в гравитационных аппаратах – гидроциклонах, классификаторах и т.д.

Гидроциклоны – аппараты для гидравлической классификации тонкоизмельченных материалов в центробежном поле, создаваемом в результате вращения пульпы.

Гидроциклон (рисунок 37) представляет собой аппарат, состоящий из цилиндрической 4 и конической 5 частей. Внутренняя поверхность аппарата защищена от истирания абразивными частицами футеровкой из каменного (диабазового) литья, полиуретана или резины.

Цилиндрическая часть закрыта сверху крышкой 2, имеющей центральное отверстие, к фланцам которого болтами крепится сливной патрубок 3. Снизу к конической части гидроциклона также болтами крепится песковая коническая насадка 6. Цилиндрическая часть гидроциклона имеет патрубок 1, по которому под давлением подается исходный материал. Давление пульпы на входе в гидроциклон контролируется манометром. Исходная пульпа поступает в гидроциклон под давлением через питающий патрубок 1. Так как питающий патрубок расположен по касательной к цилиндрической части 4 корпуса, пульпа получает вращательное движение. Наиболее тяжелые и крупные частицы под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам аппарата и нисходящим спиральным потоком движутся вниз к разгрузочной насадке 6 для песков. Мелкие же частицы вместе с водой образуют внутренний поток, который поднимается вверх и выносится через сливной патрубок 3.

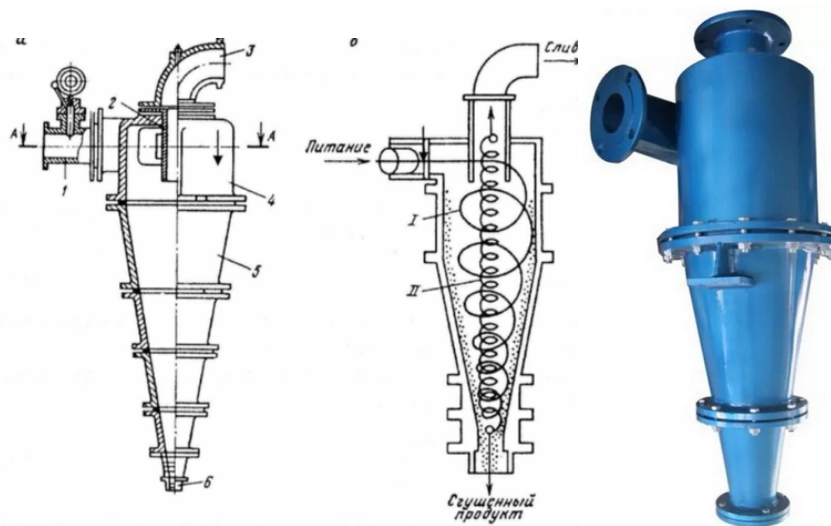


Рисунок 37 – Принципиальная схема и фото гидроциклона

Производительность гидроциклонов и эффективность разделения материала зависят от многих факторов, главные из которых:

- давление пульпы на входе в гидроциклон;
- внутренние размеры сечений питающего патрубка, сливной и песковой насадок;
- диаметр цилиндрической части и угол конусности гидроциклона;
- плотность пульпы, подаваемой в гидроциклон;
- характеристика разделяемого материала.

С увеличением диаметра гидроциклона увеличивается его объемная производительность. Однако следует учитывать, что чем меньше крупность питания, тем меньше должен быть диаметр гидроциклона.

С увеличением размера питающего патрубка пропорционально увеличивается объемная производительность гидроциклона. Однако при увеличении объемной производительности в слив уносятся более крупные частицы.

С увеличением диаметра выпускной (песковой) насадки уменьшается выход слива, увеличивается объем сгущенного продукта, снижается содержание в нем твердого, увеличивается унос тонких частиц через нижнюю насадку.

2.4 Флотация горных пород и применяемое оборудование

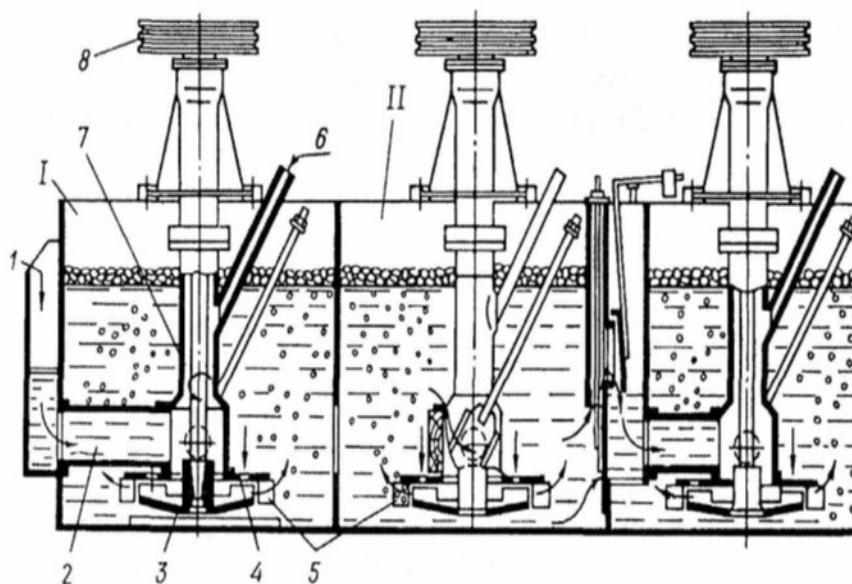
Флотация – это процесс молекулярного прилипания частиц флотируемого материала к поверхности раздела двух фаз, обычно газа (чаще воздуха) и жидкости, обусловленный избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также поверхностными явлениями смачивания (рисунок 38).

Промышленная пенная флотация медных сульфидных руд



Рисунок 38 – Фотография процесса флотации

Флотационный процесс осуществляется в обогатительных аппаратах, называемых флотационными машинами (рисунок 39).



- I – приемный карман; II – прямоточная камера;
1 – всасывающая камера; 2 – пульподающая труба; 3 – импеллер; 4 – статор;
5 – направляющие лопатки; 6 – труба для подсоса воздуха; 7 – аэратор;
8 – привод импеллера.

Рисунок 39 – Флотационная машина механического типа (типа «Механобор»)

Флотация протекает в такой последовательности subprocesses:

- во флотационную камеру подается пульпа, представляющая взвесь минеральных частиц в воде;
- с помощью вводимых в пульпу флотационных реагентов создаются условия для прилипания частиц одних минералов к пузырькам воздуха и, наоборот, предотвращается прилипание к пузырькам частиц других минералов;

- в пульпу подается диспергированный воздух и в ней образуется большое число мелких пузырьков, для стабилизации которых в пульпу подаются реагенты-пенообразователи;
- минеральные частицы сталкиваются с воздушными пузырьками и закрепляются на них, образуя минерализованный комплекс;
- минерализованные пузырьки всплывают на поверхность пульпы, образуя пенный слой, представляющий собой подвижную среду, состоящую из пузырьков газа, плотно прижатых друг к другу, с минеральной нагрузкой;
- минерализованная пена удаляется с поверхности пульпы специальными устройствами (пеногонами).

Обычно в пенный слой переходят полезные минералы, а минералы пустой породы остаются в пульпе.

В результате получают два продукта: пенный (рисунок 40) и камерный.



Рисунок 40 – Пенный продукт процесса флотации

Общая эффективность флотации зависит от технологических свойств минерального сырья и эффективности каждого из составляющих subprocesses.

Обычно флотация осуществляется при крупности частиц полезных минералов в пределах 0,02 – 0,6 мм. Успешнее всего разделяются флотацией рудные частицы размером от 0,02 до 0,2 мм. При флотации угольных шламов, графита, калийных солей могут флотироваться частицы крупностью до 0,5 – 1,0 мм.

Максимальный размер флотируемых частиц минералов зависит от их гидрофобности, плотности и формы. В исходном материале не должно быть как крупных зерен, флотация которых невозможна, так и тонких шламов (размер частиц меньше 0,02 мм), наличие которых ухудшает разделение минералов и увеличивает расход реагентов.

Оптимальную крупность измельчения определяют в первом приближении опытным путем в лабораторных условиях.

Плотность пульпы является одним из важных факторов, влияющих на флотацию, и представляет соотношение твердой и жидкой фаз пульпы. Содержание в пульпе твердого P , %, определяется по формуле:

$$P = \frac{T}{T+Ж} \cdot 100, \quad (1.29)$$

где T – масса твердого в единице объема пульпы;

$Ж$ – масса воды в этом же объеме;

$T + Ж$ – масса единицы объема пульпы.

Содержание твердого в пульпе в практике флотации колеблется от 15 до 40 %. В одних операциях флотации предпочтение отдается более разжиженной пульпе, в других, наоборот, пульпу сгущают.

Повышение температуры пульпы в большинстве случаев положительно влияет на флотацию. При этом растворимость ряда реагентов (особенно жирных кислот и мыл) возрастает и расход их снижается. В то же время при применении в качестве собирателей ксантогенатов такого эффекта не наблюдается и подогревать пульпу в этом случае целесообразно только в зимнее время.

Реагентный режим при флотации определяется ассортиментом применяемых реагентов, их расходом, порядком подачи в процесс и продолжительностью контакта реагентов с пульпой. Реагентный режим устанавливается опытным путем на основании изучения флотационных свойств минералов данной руды, крупности минеральных частиц, состава воды и других факторов.

Подача реагентов в процесс происходит в такой последовательности: вначале к пульпе добавляют реагенты-регуляторы pH среды, затем реагенты-активаторы и реагенты-подавители, затем собиратель и в последнюю очередь пенообразователь.

Аэрация пульпы – это процесс насыщения флотационной пульпы пузырьками воздуха, осуществляющийся во флотомашинах, кондиционерах или других аппаратах, путем засасывания его из атмосферы или подачи под давлением.

РАЗДЕЛ III ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

3.1 Обезвоживание горных пород и продуктов обогащения

Обезвоживанием называется процесс удаления воды (влаги) из продуктов, содержащих твердую и жидкую фазы.

В практике обогащения полезных ископаемых наибольшее распространение имеют процессы, происходящие в водной среде. Конечные продукты обогащения (концентраты и отвальные хвосты), как правило, содержат много влаги.

Влажность W , %, определяют отношением массы воды в продукте к массе влажного исходного продукта:

$$W = 100 \cdot (Q_1 - Q_2)/Q_1, \quad (1.30)$$

где Q_1 – масса влажного продукта;

Q_2 – масса сухого продукта.

В зависимости от содержания влаги (воды) продукты подразделяют на жидкие (обводненные), мокрые, влажные, воздушно-сухие, сухие и прокаленные.

Жидкие продукты (например, пульпа) характеризуются большим разжижением и текучестью. Влаги в них содержится не менее 40%.

Мокрые продукты содержат меньше воды (от 15 до 40 %), чем жидкие. Характеризуются свободным течением воды.

Для обезвоживания продуктов обогащения используют следующие процессы: *дренирование, сгущение, фильтрование, центрифугирование и термическую сушку.*

Дренированием называется процесс удаления гравитационной влаги из кускового и крупнозернистого материала путем естественного просачивания влаги под действием силы тяжести в промежутках между отдельными зернами. Дренирование осуществляется в обезвоживающих элеваторах, механических классификаторах, грохотах, обезвоживающих бункерах и на дренажных складах.

Сгущением называется процесс обезвоживания обводненных тонкозернистых продуктов путем осаждения твердых частиц и выделения жидкой фазы в виде осветленного слива. Процесс осуществляется в различного типа отстойниках, сгустительных воронках и цилиндрических сгустителях (рисунок 41, 42).

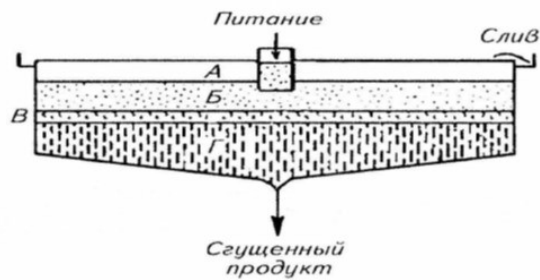


Рисунок 41 – Схема процесса сгущения



Рисунок 42 – Фото радиального сгустителя

Фильтрованием называют процесс удаления жидкой фазы пульпы с помощью пористой перегородки под действием разности давлений, создаваемой разрежением воздуха или избыточным давлением. Твердые частицы, задержанные фильтрующей поверхностью, называются осадком (кеком), а прошедшие через перегородку воды – фильтратом. В качестве фильтрующих перегородок используются специальные хлопчатобумажные, шерстяные, капроновые, нейлоновые и другие ткани, а также металлические сетки с отверстиями 0,15 – 0,25 мм. Выделение фильтрата осуществляется путем создания перепада давления по обеим сторонам фильтрующей поверхности.

Центрифугированием называют процесс обезвоживания мелких мокрых продуктов и разделения суспензии на жидкую и твердую фазы под действием центробежных сил. Машины для осуществления этих операций называют центрифугами, которые по принципу действия различаются как фильтрующие и осадительные. Применение центробежных сил при обезвоживании вызвано необходимостью ускорения процессов, проходящих недостаточно интенсивно или вообще не проходящих под действием сил тяжести.

Сушка – это процесс обезвоживания материалов, в том числе продуктов обогащения, основанный на испарении влаги при нагревании.

Сушка является заключительной стадией обезвоживания. К ней прибегают в тех случаях, когда необходимо предотвратить смерзание концентратов, удешевить их перевозку на большие расстояния или когда потребители концентратов ограничивают содержание влаги в таких пределах, которые не могут быть достигнуты сгущением и фильтрованием.

Для сушки продуктов применяются сушилки различных типов: подовые печи, трубы-сушилки, шахтные, электрические, барабанные и печи для сушки в кипящем слое. На обогатительных фабриках наибольшее распространение получили барабанные сушилки и печи КС (с кипящим слоем).

Материальный баланс сушки

Материальный баланс по высушиваемому материалу является общим для всех видов сушки.

Обозначения:

G_1 – массовый расход поступающего на сушку материала, кг/с;

G_2 – массовый расход высушенного материала, кг/с;

w_1 и w_2 – начальная и конечная влажность материала (на общую массу), соответственно, %;

W – масса влаги, удаляемая при сушке из материала, кг/с.

Уравнение материального баланса будет иметь вид:

– по всему материалу, поступающему на сушку:

$$G_1 = G_2 + W, \quad (1.31)$$

– по абсолютно сухому веществу:

$$G_c = G_1 \cdot \frac{100-w_1}{100} = G_2 \cdot \frac{100-w_2}{100}. \quad (1.32)$$

Из этих уравнений следует:

$$G_1 = G_2 \cdot \frac{100-w_2}{100-w_1} \text{ и } G_2 = G_1 \cdot \frac{100-w_1}{100-w_2}. \quad (1.33)$$

Количество удаляемой влаги из материала:

$$W = G_1 - G_2, \quad (1.34)$$

или

$$W = G_1 - G_1 \cdot \frac{100-w_1}{100-w_2} = G_1 \frac{w_1-w_2}{100-w_2} \text{ и } W = G_2 \cdot \frac{w_1-w_2}{100-w_2}. \quad (1.35)$$

При расчете конвективных сушилок помимо баланса по высушиваемому материалу составляют материальный баланс по влаге для сушильного агента.

Обозначим через L (кг/с) – массовый расход абсолютно сухого воздуха с влажностью x_0 , поступающего на сушку.

Тогда уравнение материального баланса по влаге для воздуха будет иметь вид:

$$Lx_0 + W = Lx_2, \quad (1.36)$$

а расход воздуха на сушку определяется как:

$$L = \frac{W}{x_2-x_0}. \quad (1.37)$$

Удельный расход воздуха на испарение из материала 1 кг влаги будет равен:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{I}{x_2 - x_0}. \quad (1.38)$$

Обозначим влагосодержание воздуха, нагретого в калорифере и поступающего в сушильную камеру, через x_1 . Проходя через калорифер воздух не отдает и не поглощает влаги, поэтому $x_1 = x_0$. Соответственно уравнения примут вид:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1}, \quad l = \frac{L}{W} = \frac{I}{x_2 - x_1}. \quad (1.39)$$

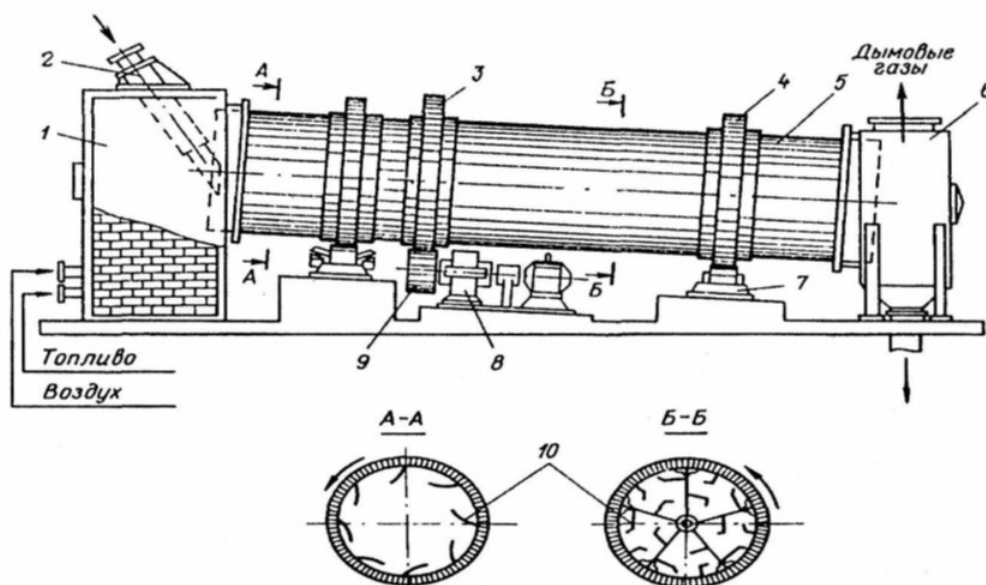
3.2 Сушильные установки горных пород

Барабанная сушилка прямого типа (рисунок 43) представляет собой барабан 5 (рисунок 44) с бандажими 4, которыми он опирается на опорные ролики 7. Барабан устанавливается с наклоном под углом $1 - 7^\circ$ в сторону разгрузочной камеры 6. Вращение барабана осуществляется от электродвигателя через редуктор 8, малую 9 и венцовую 3 зубчатые шестерни.

Материал загружается через загрузочную трубу 2 со стороны топки 1. Внутренняя поверхность барабана оборудована насадками 10, осуществляющими разрыхление и подъем материала на некоторую высоту.

Влажный материал по загрузочной трубе подается в барабан, туда же из топки поступает газ-теплоноситель. При соприкосновении горячего газа с материалом происходит испарение влаги, которая вместе с газом отводится естественной или принудительной (вентилятором) тягой.

При вращении барабана материал постепенно перемещается к разгрузочной камере, из которой разгружается с влажностью $1 - 5\%$.



- 1 – топка; 2 – загрузочная труба; 3 – венцовая зубчатая шестерня; 4 – бандаж;
5 – барабан; 6 – разгрузочная камера; 7 – опорные ролики; 8 – редуктор; 9 – шестерня

Рисунок 43 – Барабанная сушилка



Рисунок 44 – Фотография сушильного барабана

Барабанные сушилки являются аппаратами непрерывного действия. Сушилка представляет собой сварной барабан диаметром от 1 до 3,5 м, длиной 4 – 27 м в зависимости от типоразмера. Барабан устанавливается бандажами на опорные ролики с углом наклона от 1 до 5 ° в сторону разгрузочной камеры. Приводится во вращение венцовой парой от привода, скорость вращения 1 – 6 мин⁻¹. Для разрыхления продукта внутри барабана установлены гирлянды из свободно подвешенных якорных цепей, между которыми размещены секторные лопастные насадки.

Влажный продукт подается на приемно-винтовые насадки, предназначенные для равномерного распределения шихты по поверхностям цепных гирлянд. Провисание цепей и вращение барабана обуславливают колебания цепей относительно друг друга, при этом продукт интенсивно разрыхляется и сушится.

Лопастные насадки подхватывают со дна барабана материал, поднимают его и пересыпают на соседнюю цепную гирлянду. Высушенный продукт перемещается к разгрузочной камере, из которой выгружается с влажностью от 1,5 до 8%.

Типоразмер барабанной сушилки обычно выбирают путем расчета необходимого ее объема исходя из рекомендуемой напряженности по испаряемой влаге:

$$V = Q \cdot (R_1 - R_2) / 100\omega. \quad (1.40)$$

где V – общий объем сушилки (сушилок), м³;

Q – масса сушеного материала (по твердой фазе), т/ч;

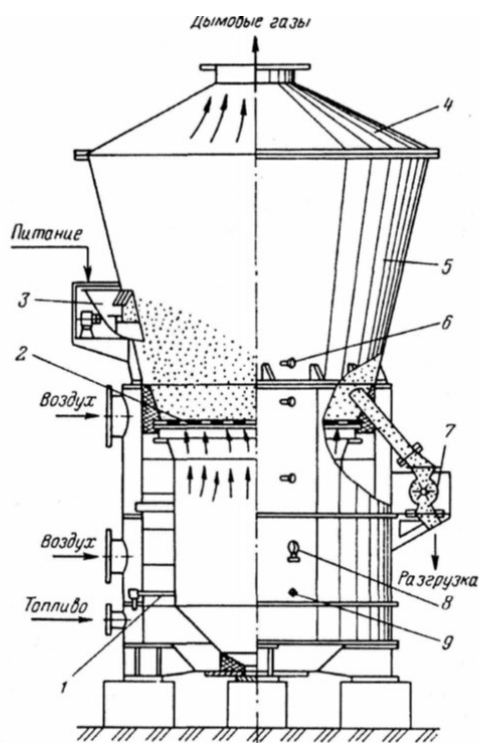
R_1 и R_2 – влажность материала до и после сушки, %;

ω – напряженность сушилки по испаряемой влаге, т/(ч · м³).

Сушка в печах кипящего слоя заключается в псевдооживлении сыпучего материала под действием медленно перемещающегося потока горячего газа, который переводит материал из неподвижного состояния в состояние «кипения».

Печь кипящего слоя (рисунок 45) состоит из двух камер: нижней – топливно-смесительной и верхней – сушильной. Камеры разделены между собой металлической или керамической решеткой. Исходный материал подается лопастным питателем 3 в сушильную камеру 5. На решетке 2 под действием горячего газа образуется кипящий слой высотой 30 – 45 см. На уровне кипящего слоя устанавливается труба, по которой через разгрузочное устройство 7 сухой материал удаляется из сушилки.

Сушка в трубах-сушилках применяется главным образом на углеобогатительных фабриках. Сушильная установка состоит из топki со смесительной камерой и вертикально установленной топki со смесительной камерой и вертикально установленной трубы длиной от 14 до 35 м и диаметром 650 – 1200 мм. Горячие газы засасываются из топki через нижний конец трубы вентилятором-дымососом и здесь же питателем забрасывается в трубу исходный материал. По мере продвижения материала вверх по трубе он высушивается и разгружается в циклон. Газы после очистки в батарейных циклонах или мокром пылеуловителе выбрасываются в атмосферу.

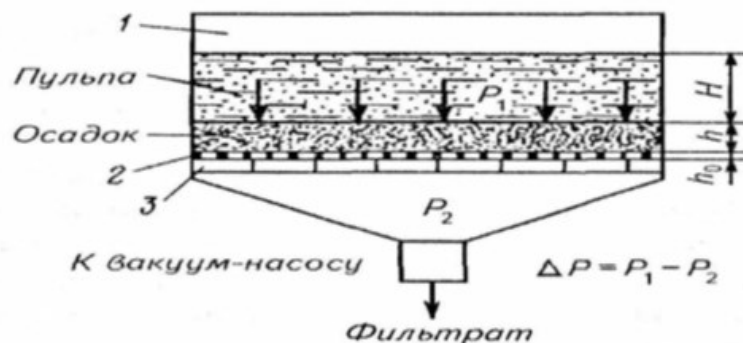


- 1 – фосунка; 2 – решетка; 3 – питатель; 4 – крышка; 5 – сушильная камера;
 6 – термомпары; 7 – разгрузочное устройство; 8 – манометр;
 9 – запальное устройство

Рисунок 45 – Схема печи КС («кипящего слоя»)

При такой операции как сушка выделяются так называемые топочные газы (воздух, загрязненный, а точнее сказать с частичками материала.) естественно такой воздух в атмосферу не пускают и осуществляется процесс очистки газов. Очистка газов происходит в циклонах, скрубберах, трубах Вентури и т.д.

3.3 Фильтрование и гидроциклонное обезвоживание горных пород



1 – корпус ванны; 2 – фильтровальная ткань; 3 – фильтрующая перегородка

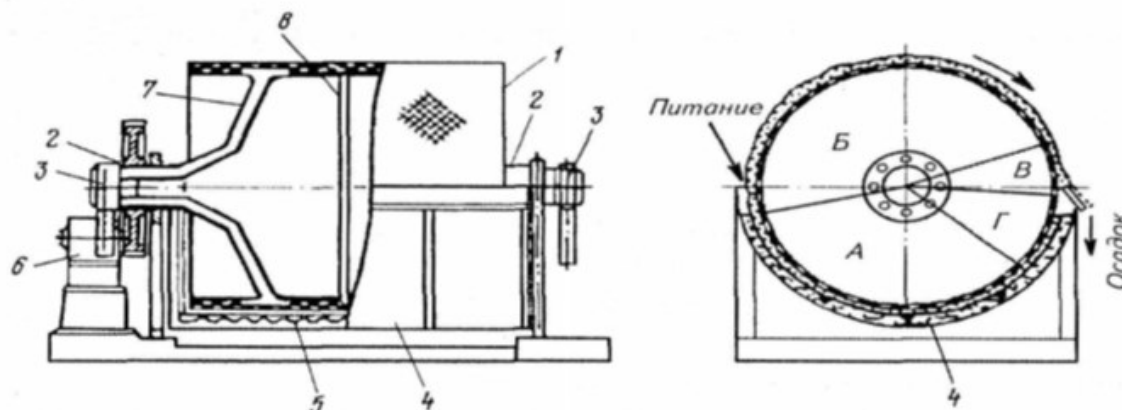
Рисунок 46 – Схема процесса фильтрования

В зависимости от способа создания перепада давлений различают вакуум-фильтры и фильтр-прессы.

В зависимости от формы фильтрующей поверхности вакуум-фильтры подразделяются на:

- барабанные (с внутренней и внешней фильтрующей поверхностью) (рисунок 47, 48);
- дисковые;
- ленточные.

Вакуум-фильтры широко применяются для обезвоживания продуктов обогащения при переработке различных рудных и нерудных полезных ископаемых.



1 – барабан; 2 – полые цапфы; 3 – распределительные головки;
4 – ванна; 5 – мешалки; 6 – привод

Рисунок 47 – Схема работы барабанного вакуум-фильтра



Рисунок 48 – Барабанный вакуум-фильтр

Барабанный вакуум-фильтр с наружной фильтрующей поверхностью (рисунок 47) состоит из барабана 1, полых цапф 2, распределительных головок 3, ванны 4, мешалки 5 и привода 6. Вертикальная перегородка 8 делит барабан на две изолированные друг от друга секции. Внешняя поверхность барабана разделена на неглубокие ячейки, покрытые перфорированными решетками. Между решетками предусмотрены пазы, в которые резиновыми жгутами уплотняется фильтровальная ткань, поэтому ячейки изолированы друг от друга. Фильтроткань на барабане закрепляют с помощью мягкой стальной проволоки, которой обматывают барабан. Внутренняя полость барабана разделена в радиальном направлении на секции, каждая из которых соединена трубами 7 с цапфой. Барабан погружен в ванну, снабженную мешалкой для предотвращения осаждения частиц твердого. В боковой стенке ванны предусмотрены переливные патрубки, с помощью которых обеспечивают постоянный уровень пульпы в ванне. Вращение от электродвигателя через многоступенчатый редуктор передается на приводную шестерню, укрепленную на цапфе барабана. Барабан вращается на полых чугунных цапфах в подшипниках, укрепленных на торцевых стенках ванны. К торцам пустотелых цапф пружинами прижаты распределительные головки со сменными шайбами, которые служат для подключения внутренних секций фильтра к вакуум-проводам и трубам, подающим сжатый воздух и отводящим фильтрат.

РАЗДЕЛ IV ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА ТОРФЯННЫХ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

4.1 Технологические схемы производства торфяных топливных брикетов. Требования к исходному сырью и готовой продукции

Для производства брикетов и пеллет (гранул) предназначен торф, добываемый на торфяной залежи любого типа со степенью разложения не менее 15 %.

Размеры брикетов определяются конструкцией матричного канала применяемого штемпельного пресса в пределах: – длина – от 80 до 200 мм; – ширина – от 40 до 80 мм; – высота – от 15 до 240 мм.

Количество оборудования торфобрикетных заводов и последовательность его установки в цепи аппаратов зависят от производственной мощности предприятия и конструкции применяемой сушилки.

Пневмогазовые сушилки с шахтной мельницей не требуют специальной подготовки сырья к сушке, поэтому технологическая схема ТБЗ с такой сушилкой наиболее проста. Наоборот, заводы с сушильными установками Пеко или паровыми трубчатыми сушилками имеют наиболее сложные технологические схемы, так как сушилки этих конструкций требуют наиболее тщательной механической подготовки поступающего сырья.

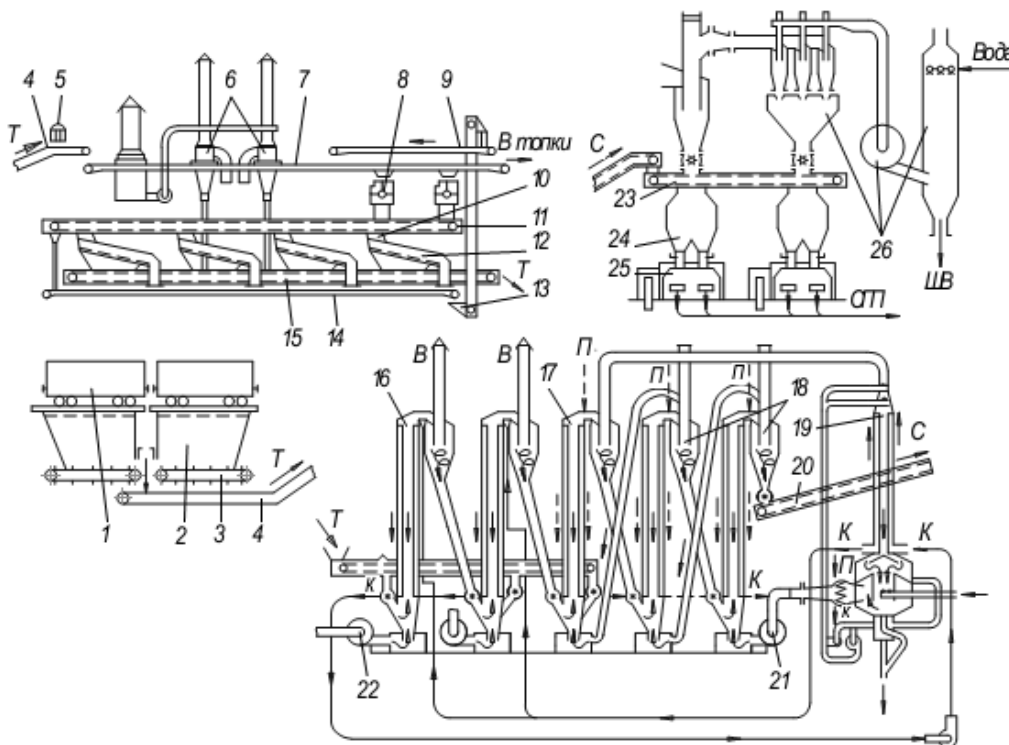
На количество оборудования и сложность технологической схемы производства оказывает влияние и то, что заводы с сушилками Пеко и паровыми трубчатыми имеют наибольшую производственную мощность. Так, завод «Старобинский» с барабанными трубчатыми сушилками производит 240 тыс. т брикетов в год.

На заводе производственной мощностью 60 тыс. т брикетов в год исходный торф из вагонов узкой колеи 1 (рисунок 49) разгружается в бункер 2, дном которого является пластинчатый питатель 3. В качестве привода пластинчатого питателя используются двигатели постоянного тока или много-скоростные двигатели переменного тока. Изменяя скорость движения пластинчатого полотна и положение затвора, в зависимости от влажности и плотности сырья, можно усреднять физико-механические свойства торфа и регулировать производительность завода в целом.

Из бункера торф подается на наклонный ленточный конвейер 4. Для удаления из сырья металлических включений используется магнитный сепаратор 5. По распределительному конвейеру 7 с помощью плужковых сбрасывателей торф направляется в дробилки 8. Измельченный торф распределяется по грохотам 12 винтовым или скребковым конвейером 11. Лопастные питатели 10, установленные над грохотами, используются для регулирования их производительности.

Скребковым конвейером 15 мелкой фракции торф с размерами частиц менее 8 мм направляется на сушку, а отсев – ленточным конвейером 14 крупной фракции и ковшовым элеватором 13 подается либо в топку котельной, либо, при большом его количестве, на ленточный конвейер возврата 9, а затем на распределительный конвейер 7.

При недостатке отсева имеется возможность направлять в котельную для работы топок часть фрезерного торфа с конвейера 7. Для обеспечения санитарно-гигиенических условий труда в подготовительном отделении используется индивидуальная система газочистки 6.



Т – торф; *С* – сушенка; *К* – конденсат; *В* – водяные корпуса, вода; *П* – паровые корпуса, пар; *Ш* – шламовая вода; *СГП* – склад готовой продукции
 Рисунок 49 – Технологическая схема завода с пневмопароводяной сушильной установкой

Сушка осуществляется при последовательном перемещении торфа по пяти сушильным корпусам, в первых двух корпусах 16 испарение влаги из торфа происходит за счет теплоты горячей воды, в трех последних корпусах 17 теплоносителем является пар. Перемещение торфа внутри сушильных корпусов осуществляется воздушным потоком, для чего в первых двух корпусах используются индивидуальные вентиляторы 22, а для трех последних – один вентилятор 21. Для правильной организации воздушного потока перед каждым сушильным корпусом установлен барабанный питатель, выполняющий функцию затвора. После каждого сушильного корпуса происходит осаждение торфа из воздушного потока в соответствующем циклоне 18.

В пневмопароводяных сушильных установках часть тепла, затраченного на испарение влаги из торфа (соковый пар) в паровых корпусах, повторно используется для подсушки материала в двух первых водяных корпусах. Теплообменным аппаратом является скруббер-теплообменник 19.

На некоторых ТБЗ подача торфа проводится обводным конвейером непосредственно во второй или третий корпус, что позволяет производить чистку трубок водяных корпусов без остановки завода.

Высушенный торф (сушенка) скребковым конвейером 20 направляется в прессовое отделение и далее скребковым конвейером 23 распределяется между бункерами 24 брикетных прессов 25. Очистка запыленного воздуха, выходящего через зазоры между штемпелем и его уплотнением, а также системы транспортирующих средств прессового отделения производится системой обеспыливания 26. Брикетты по охлаждающим лоткам и системе ленточных конвейеров направляются на склад готовой продукции.

4.2 Технология флотационного способа производства калийных удобрений

Флотационный способ выделения хлорида калия из сильвинита основан на флотогравитационном разделении водорастворимых минералов калийной руды в среде насыщенного ими солевого раствора. Это достигается селективной гидрофобизацией поверхности частиц калийных минералов с помощью флотореагентов – собирателей.

Технологические схемы флотационного производства хлорида калия зависят от минерального и гранулометрического состава флотируемого сильвинита: содержания в нем примесей (глинистых шламов), размеров зерен компонентов и различаются методами обработки глинистых шламов. В общем случае флотационный метод выделения хлорида калия из сильвинита включает следующие операции:

1. Измельчение руды с предварительной и поверочной классификацией;
2. Механическое и флотационное обесшламливание руды;
3. Флотация сильвина;
4. Выщелачивание хлорида натрия из флотационного концентрата;
5. Гидросгущение и обезвоживание хвостов флотации;
6. Гидроклассификация и обезвоживание концентрата;
7. Сгущение шламов;
8. Сушка концентрата;
9. Приготовление реагентов;
10. Гранулирование калия хлористого;
11. Облагораживание гранул;
12. Погрузка готовой продукции;

13. Складирование отходов производства.

Флотационным методом производится розово-красный мелкий и гранулированный хлористый калий. Массовая доля KCl в продукте составляет 95 – 96%. Извлечение полезного компонента при флотационном методе переработки составляет 85,5 – 87,2%.

Флотационный метод эффективен при извлечении хлорида калия из высококачественных сильвинитовых руд, содержащих незначительное количество шлама.

4.3 Технология галургического способа производства калийных удобрений

Технологический процесс переработки руды галургическим методом основан на физико-химических особенностях системы $NaCl-KCl-H_2O$.

В основе данного способа лежит различная зависимость растворимости составляющих минералов – сильвина и галита от температуры: повышенная растворимость хлористого калия из руды обратным раствором при температуре $+115^{\circ}C$ и последующая кристаллизация полезного компонента при охлаждении.

В растворах, насыщенных обеими солями, при повышении температуры от $20 - 25^{\circ}C$ до $90 - 100^{\circ}C$ содержание хлорида калия возрастает примерно в два раза, а хлорида натрия несколько уменьшается. При охлаждении такого горячего раствора он становится пересыщенным относительно хлорида калия, который будет кристаллизоваться, а хлорид натрия останется в растворе. При последующем нагревании этого раствора он останется насыщенным относительно хлорида натрия и становится ненасыщенным относительно хлорида калия. Поэтому при обработке подобным раствором нового количества сильвинита из него будет извлекаться только хлорид калия, переходя в раствор, а хлорид натрия растворяться не будет.

Это свойство системы « $KCl - NaCl - H_2O$ » и используется в галургическом методе извлечения хлорида калия из сильвинитовых руд для организации циклического процесса.

Технологический процесс состоит из следующих стадий:

- дробление руды с предварительным грохочением;
- подогрев щелоков;
- растворение руды;
- фильтрация галитовых отходов;
- осветление насыщенного щелока;
- кристаллизация хлористого калия;
- сгущение и центрифугирование хлоркалийевой суспензии;
- сушка калия хлористого;
- гранулирование калия хлористого;

- складирование, хранение и погрузка;
- охлаждение оборотной воды;
- приготовление реагентов;
- складирование отходов производства.

Галургическим методом производится белый мелкокристаллический, крупнокристаллический и гранулированный хлористый калий. Крупнокристаллический продукт (при необходимости) может быть окрашен в розово-красный цвет. Массовая доля KCl в продукте составляет 96 – 99%.

Извлечение полезного компонента при галургическом методе переработки составляет 88 – 89%.

II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Перечень тем лабораторных работ

1. Коэффициент истечения сыпучих материалов из выпускных отверстий бункеров.
2. Составление схем дробления, грохочения, измельчения по заданным параметрам.
3. Определение эффективности грохочения (по заданным параметрам).
4. Определение коэффициента дробления горной породы в молотковой дробилке.
5. Определение технологических показателей (по заданным параметрам).
6. Расчет грохотов с вращающейся поверхностью.
7. Расчет дробильного оборудования ударного действия.
8. Прессование горной породы в формовочном устройстве с неподвижным упором.
9. Расчет циклона.
10. Определение типоразмера сушильной установки барабанного типа.

2.2. Перечень тем практических занятий

1. Составление технологических схем процессов дробления, грохочения, измельчения различной стадильности.
2. Эффективность процесса грохочения.
3. Составление материального баланса продуктов обогащения.
4. Изучение принципа работы оборудования для гравитационного обогащения.
5. Изучение конструкции оборудования для классификации и флотационных машин.
6. Изучение конструкции сушильных установок.

III РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1 Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- защита лабораторных работ;
- сдача зачёта;
- сдача экзамена по дисциплине.

3.2 Примерный перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы обучающихся

1. Цель и задачи курса. Понятия и определения обогащения и переработки горных пород.
2. Методы обогащения. Оценка «выхода» обогащенного продукта.
3. Процесс бункерования горных пород, применяемое оборудование.
4. Бункеры горных пород. Назначение, классификация и истечение материала из выпускных отверстий бункеров.
5. Давление, действующее на стенки бункеров. Расчет обшивки стенок бункеров.
6. Затворы и питатели бункеров.
7. Грохочение полезных ископаемых. Технологические параметры оценки качества процесса грохочения. Просеивающие поверхности грохотов.
8. Устройство, принцип работы и определение основных параметров грохотов с плоской просеивающей поверхностью.
9. Грохоты с вращающейся и активной поверхностью. Принцип работы.
10. Дробление полезных ископаемых. Способы, степень дробления и схемы дробления.
11. Устройство, принцип работы и определение основных технологических параметров щековых и конусных дробилок.
12. Устройство, принцип работы и определение основных технологических параметров молотковых дробилок.
13. Процесс смешивания сыпучих материалов. Аппаратурное оснащение.
14. Основы теории прессования горных пород. Способы прессования.
15. Прессование горных пород в штемпельных кривошипно-шатунных прессах.
16. Гранулирование горных пород. Аппаратурное оформление.
17. Гравитационные методы обогащения полезных ископаемых.

18. Отсадка горных пород. Оборудование, применяемое при отсадке горных пород.
19. Обогащение полезных ископаемых в потоке воды. Аппаратурное оформление.
20. Флотация горных пород. Применяемое оборудование.
21. Принцип работы флотомашин. Достоинства и недостатки.
22. Обезвоживание горных пород и продуктов обогащения. Аппаратурное оформление.
23. Принцип работы барабанного вакуум-фильтра.
24. Гидроциклонное оборудование. Принцип работы. Основные достоинства и недостатки.
25. Сушильные установки. Принцип действия сушильной установки барабанного типа, печи «кипящего слоя».
26. Технология производства торфяных топливных брикетов.
27. Технология флотационного способа производства калийных удобрений. Требования к исходному сырью.
28. Технология галургического способа производства калийных удобрений. Требования к исходному сырью.

IV ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1 Список рекомендуемой литературы

1. Авдохин, В.М. Основы обогащения полезных ископаемых : в 2-х томах / В.М. Авдохин. – М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2006.
2. Андреев, С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С.Е. Андреев, В.А. Перов, В.В. Зверевич. – М. : Недра, 1980.
3. Карамзин, В.В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых : в 2-х томах / В.В. Карамзин. – М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2005.
4. Козин, В.З. Исследование руд на обогатимость : учебное пособие / В.З. Козин. – Екатеринбург, 2008.
5. Разумов, К.А. Проектирование обогатительных фабрик / К.А. Разумов. – М. : Недра, 1984.
6. Фридман, С.Э. Обогащение полезных ископаемых / С.Э. Фридман, О.К. Щербаков. – М. : Недра, 1985.
7. Шохин, В.Н. Гравитационные методы обогащения / В.Н. Шохин. – М. : Недра, 1980.