

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОУВПО ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ
СТАХАНОВСКИЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ГОРНЫХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА
И ОХРАНЫ ТРУДА

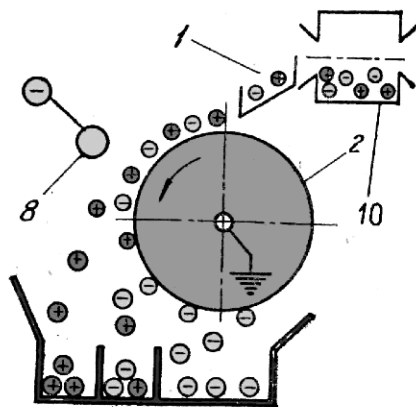
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

для студентов направления подготовки 44.03.04
(образовательно-квалификационный уровень бакалавр)

В 2-х частях. Часть 2-я: Основные процессы
переработки полезных ископаемых



*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом
ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В.ДАЛЯ»
(протокол № от 2.)*

Конспект лекций по дисциплине «Обогащение полезных ископаемых» для студентов направления подготовки 44.03.04 (образовательно-квалификационный уровень бакалавр). В 2-х частях. Часть 2-я: Основные процессы переработки полезных ископаемых. -2020. -74 с.

В учебном пособии представлен материал, предназначенный для формирования у студентов представлений о методах обогащения полезных ископаемых, подготовки сырья к обогащению и обезвоживания продуктов обогащения, о комплексном использовании сырья по безотходной технологии горного производства. Знания, полученные с использованием пособия, необходимы при выполнении лабораторных и дипломных работ студентов и организации работы на производстве в области обогащения полезных ископаемых.

Составитель: доц. Сафонов В.И.

Ответственный за выпуск: доц. Черникова С.А.

Рецензент: доц. Петров А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕКЦИЯ 3 Основные процессы переработки	5
3.1. Гравитационные процессы обогащения	7
3.1.1. Классификация гравитационных процессов обогащения	7
3.1.2. Фракционный анализ	7
3.1.3. Отсадка	11
3.1.3.1. Закономерности падения минеральных зерен в воде и воздухе	12
3.1.3.2. Устройство и принцип действия отсадочных машин	13
3.1.3.3. Классификация отсадочных машин по способу создания пульсаций воды	17
Вопросы для самопроверки	18
3.1.4. Обогащение в тяжелых средах	19
3.1.4.1. Тяжелосредный сепаратор с вертикальным элеваторным колесом	20
3.1.4.2. Тяжелосредные гидроциклоны	22
3.1.4.3. Схемы регенерации разбавленной суспензии	23
Вопросы для самопроверки	25
3.1.5. Обогащение в потоках воды на наклонных плоскостях	25
3.1.5.1. Спиральный сепаратор	26
3.1.5.2. Концентрационный стол	27
Вопросы для самопроверки	28
3.2. Флотационные методы обогащения полезных ископаемых	28
3.2.1. Флотационные реагенты	30
3.2.2. Флотационные машины	30
3.2.2.1. Механические флотационные машины «Механобр»	32
3.2.2.2. Механические флотационные машины угольные	33
3.2.2.3. Пневмомеханические флотационные машины	35
3.2.2.4. Пневматические флотационные машины	36
Вопросы для самопроверки	38
3.3. Магнитные методы обогащения	38
3.3.1. Магнитные сепараторы	40
3.3.2. Классификация магнитных сепараторов	41
3.3.3. Расшифровка типоразмеров магнитных сепараторов	42
Вопросы для самопроверки	43
3.4. Электрические методы обогащения	43
3.4.1. Классификация минералов по электрическим свойствам	44
3.4.2. Виды электросепарации	44
3.4.3. Электрические сепараторы	44
Вопросы для самопроверки	46
3.5. Специальные методы обогащения	46
Вопросы для самопроверки	50
Задания для самостоятельной работы	51
ЛЕКЦИЯ 4 Вспомогательные процессы переработки	51
4.1. Обезвоживание продуктов обогащения	51
4.1.1. Виды влаги	51

4.1.2. Методы обезвоживания.....	52
4.1.3. Дренажное.....	53
4.1.4. Ступенчатое.....	54
4.1.5. Центрифугирование.....	58
4.1.6. Фильтрация.....	61
4.1.7. Термическая сушка.....	64
Вопросы для самопроверки.....	68
Задания для самостоятельной работы.....	69
ЛЕКЦИЯ 5 Комплексное использование минерального сырья.....	69
5.1. Окучивание полезных ископаемых.....	69
5.2. Использование отходов обогащения.....	71
Вопросы для самопроверки.....	71
Задания для самостоятельной работы.....	72
Список рекомендованной литературы.....	73

ЛЕКЦИЯ 3

Основные процессы переработки

План лекции.

Гравитационные процессы обогащения

Флотационные методы обогащения полезных ископаемых

Магнитные методы обогащения

Электрические методы обогащения

Специальные методы обогащения

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

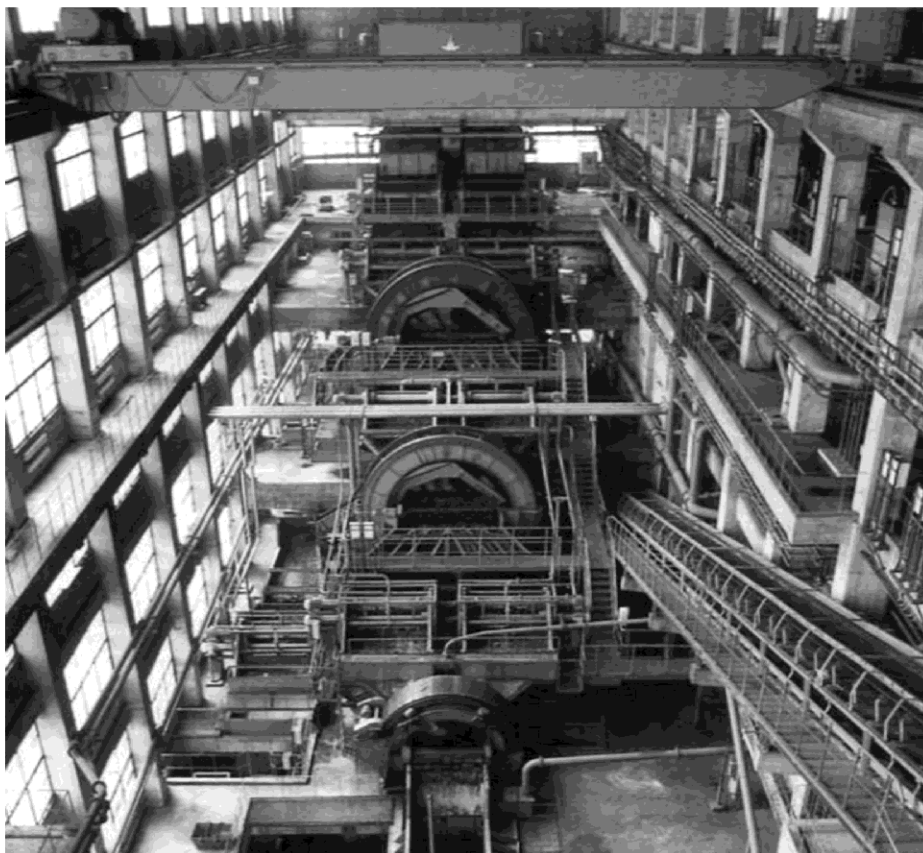


Рис. 3.1. Обогащение крупнокускового угля тяжелосредними сепараторами ТЕСКА (КНД ГУМБОЛЬДТ ВЕДАГ)

Обогащение руды представляет собой метод разделения минералов друг от друга, в результате которого получаются два и более *продукта обогащения*. Бо-

гатый полезным компонентом продукт называют *концентратом*, бедный, состоящий в основном из пустой породы – *отходами*.

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

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

Таблица 3.1. Технологические свойства минералов и соответствующие методы обогащения сырья

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

3.1. Гравитационные процессы обогащения

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

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

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

3.1.1. Классификация гравитационных процессов обогащения

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

3.1.2. Фракционный анализ

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

Фракционным анализом называется операция разделения угля на фракции различной плотности.

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

Таблица 3.1.2.1. Зависимость плотности раствора от содержания хлористого цинка

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

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

Таблица 3.1.2.2. Зависимость плотности раствора от содержания органических жидкостей

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

Результаты фракционного анализа оформляют в виде табл. 3.1.2.3.

Последовательность операций для заполнения таблицы и построения кривых обогатимости

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

$$52,2;$$

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

$$66,8+6,5=73,3 \text{ и т. д.}$$

Таблица 3.1.2.3. Фракционный состав углей

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

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

$$19,1;$$

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

$$22,7+4,0=26,7 \text{ и т. д.}$$

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

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

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

и т. д.

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

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

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

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

и т. д.

По данным таблицы строятся кривые обогатимости (рис. 3.1.2.1). p - кривая плотностей, показывает зависимость суммарного выхода

легких фракций (колонка 4) от плотности разделения (колонка 1);

(3 - кривая средних зольностей концентрата, показывает зависимость между суммарным выходом легких фракций (колонка 4) и их зольностью (колонка 5);

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

X - кривая элементарных зольностей, показывает зависимость между выходом (колонка 4) и зольностью (колонка 3) элементарных слоев.

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

Начальные точки кривых X и p и конечные точки кривых X и Ξ должны совпадать.

Анализ кривых обогатимости

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

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

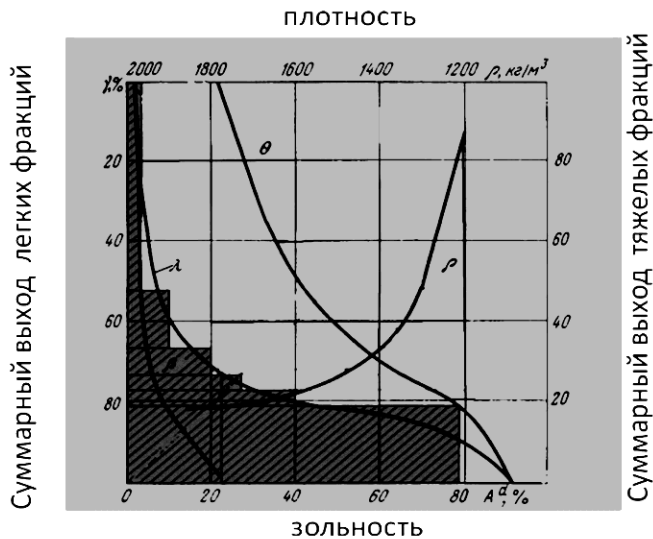
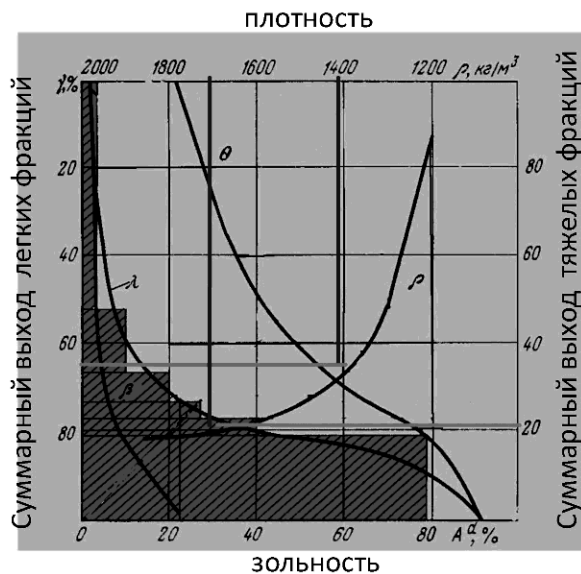


Рис. 3.1.2.1. Кривые обогатимости

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

1. Опустим перпендикуляры из точек, соответствующих заданным плотностям до кривой плотностей ρ .

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



Решение
Получилось:

$$\gamma_k = 66 \text{ \%};$$

$$\gamma_{отх} = 20 \text{ \%};$$

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

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

Показатель обогатимости:

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

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

Показатель обогатимости:

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

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

Для каменных углей промпродуктовой считается фракция плотностью 1400-1800 кг/м³. Для антрацитов промпродуктовой считается фракция плотностью 1800-2000 кг/м³. Пустая порода имеет плотность более 1800 кг/м³ при обогащении каменных углей и более 2000 кг/м³ при обогащении антрацитов.

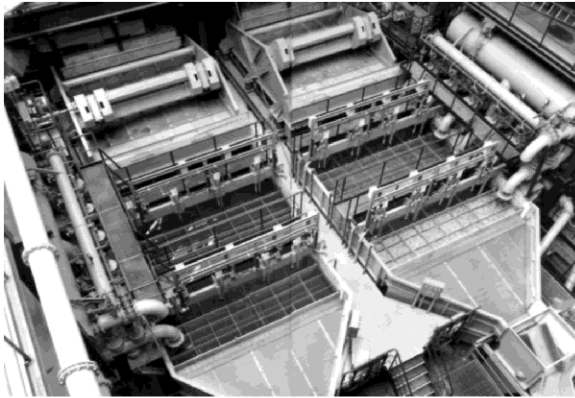
Таблица 3.1.2.4. Категории обогатимости каменных углей и антрацитов

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

3.1.3. Отсадка

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

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



Метод обогащения отсадкой может применяться для широкого диапазона крупности: 100-0,5 мм (иногда 150-0 мм) для углей, для руды черных и цветных металлов 50-0,25 мм. Но наиболее эффективно процесс отсадки осуществляется при раздельном обогащении машинных классов. Например, для углей отсадка будет проводиться для крупного машинного класса 13-100 мм и мелкого машинного класса 0.5-13 мм.

3.1.3.1. Закономерности падения минеральных зерен в воде и воздухе

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

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

Тяжелые частицы обладают большей конечной скоростью, чем легкие при том же размере. При падении частиц разной плотности и разного объема может сложиться ситуация, когда минеральные зерна различных веществ приобретают одинаковую конечную скорость падения. При этом разделение по скоростям падения, а значит и по плотности не произойдет. Такие зерна называются *равнопадающими*.

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

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

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

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

где δ_1, δ_2 - плотность легкого и тяжелого зерна, соответственно; d_1, d_2 - размеры тяжелого и легкого зерна, соответственно;

Δ - плотность среды.

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

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

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

Решение

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

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta}$$
$$e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{2700 - 1000}{1400 - 1000} = 4,25.$$

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

3.1.3.2. Устройство и принцип действия отсадочных машин

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

шето.

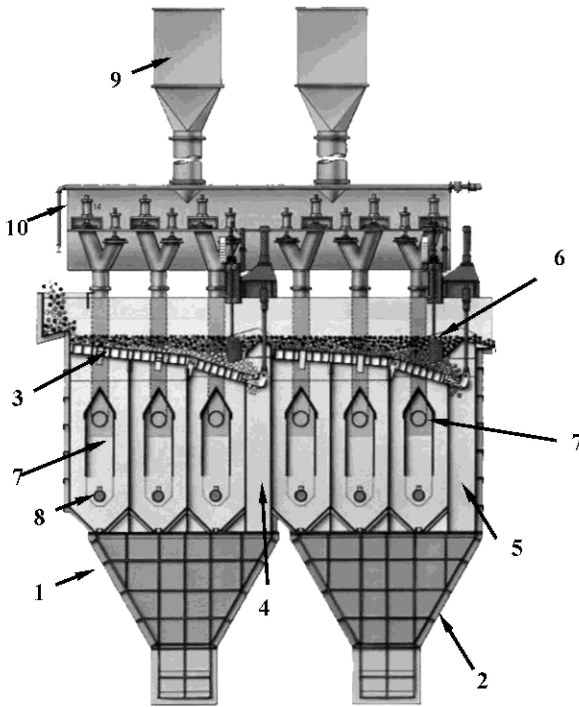


Рис. 3.1.3.2.1. Принципиальное устройство отсадочной машины БАТАК для обогащения крупнокускового материала. 1 – камера для отделения тяжелой фракции; 2 – камера для отделения промпродуктовой фракции; 3 – решето; 4-5 – разгрузочные карманы тяжелой фракции и промпродукта; 6 – поплавок с шибберным устройством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

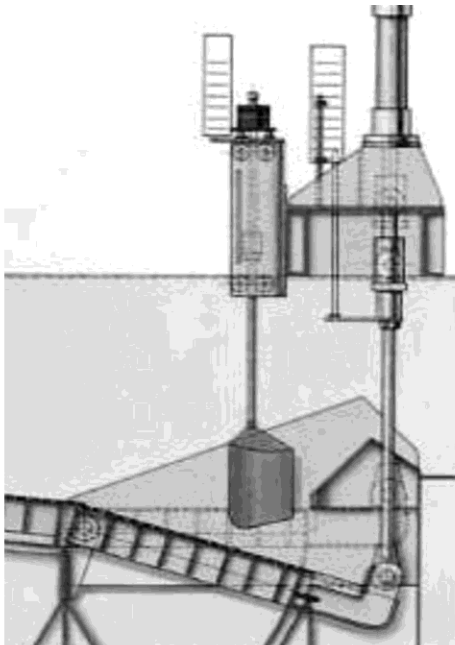


Рис. 3.1.3.2.2. Выпускное устройство для крупнокускового материала.

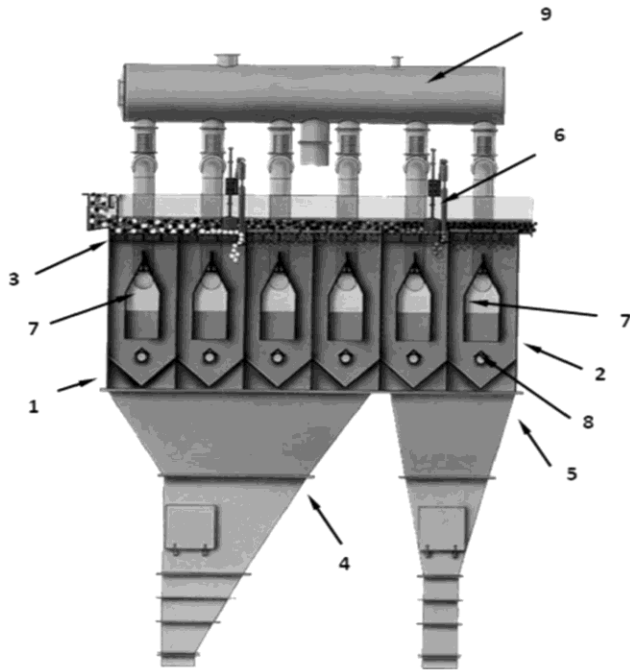
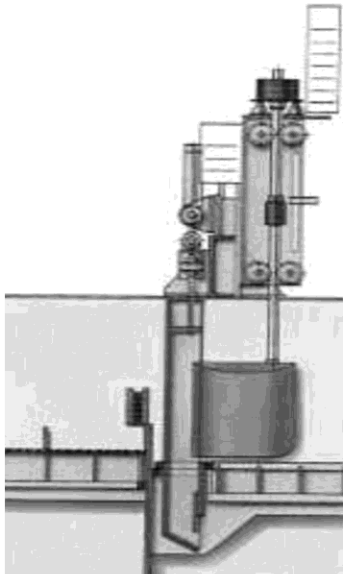


Рис. 3.1.3.2.3. Принципиальное устройство отсадочной машины БАТАК для обогащения мелкокускового материала. 1 – камера для отделения тяжелой фракции; 2 – камера для отделения промпродуктовой фракции; 3 – решет; 4 – воронка для сбора породы; 5 – воронка для сбора промпродукта; 6 – поплавок с шиберным устройством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

Рис. 3.1.3.2.4. Выпускное устройство для мелкокускового материала.



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

решето с тяжёлыми продуктами.

3.1.3.3. Классификация отсадочных машин по способу создания пульсаций воды

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

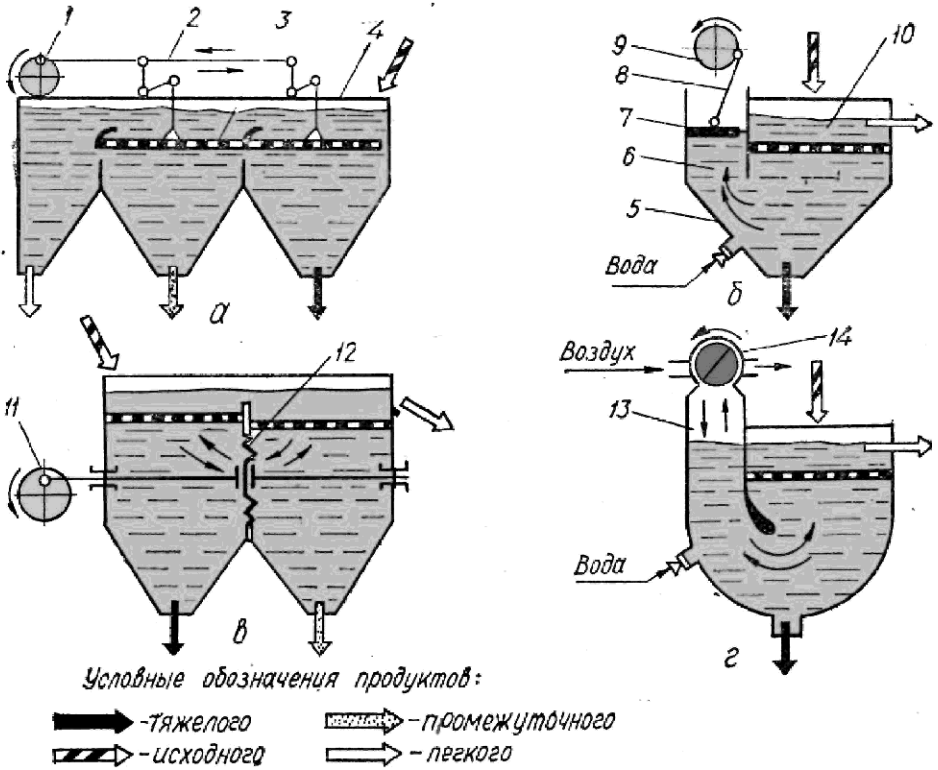


Рис. 3.1.3.3.1. Различные типы гидравлических отсадочных машин: а – с подвижным решето; б – поршневая, в – диафрагмовая; г – воздушно-золотниковая.



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

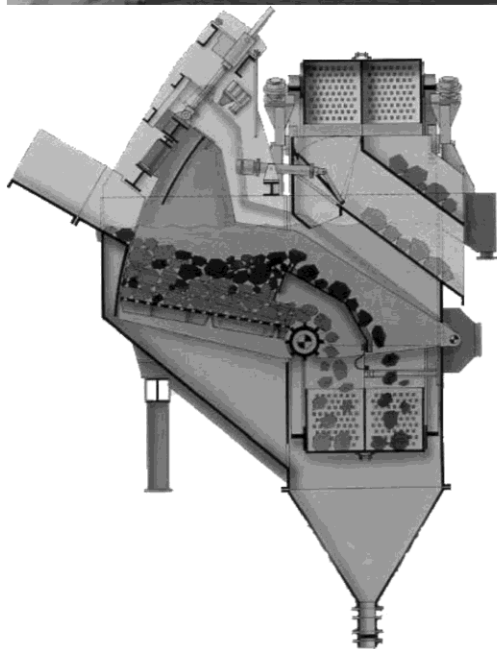


Рис. 3.1.3.3.3. Принципиальное устройство отсадочной машины с подвижным решетом РОМДЖИГ (KHD HUMBOLDT WEDAG)

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение процессу обогащения полезных ископаемых.
2. Как называются продукты обогащения?
3. На каких свойствах минералов основывается их разделение?
4. Какие технологические свойства минералов вы знаете?
5. На каком принципе основано разделение минералов гравитационными методами обогащения?
6. Какие гравитационные методы обогащения вам известны?
7. Что представляет собой обогащение минералов методом отсадки? В чем ее принцип?
8. Какие закономерности падения минеральных зерен в воде и воздухе вы

знаете? Как они связаны с гравитационными процессами обогащения?

9. Как осуществляется процесс отсадки в отсадочных машинах?

10. Чем отличается крупная отсадка от мелкой?

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

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

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

3.1.4. Обогащение в тяжелых средах

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



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

С этой целью применяются тяжелые среды:

- *водные растворы неорганических солей;*

- *тяжелые органические жидкости;*

- *суспензии (взвеси) мелких частиц твердых веществ в воде.* Водные растворы неорганических солей: растворы хлорида цинка или кальция; тяжелые органические жидкости и их смеси: иодистый метилен (плотность $3,39 \text{ г/см}^3$), бромформ (плотность $2,9 \text{ г/см}^3$), четыреххлористый углерод (плотность $2,96 \text{ г/см}^3$) применяются в лаборатории для разделения пробы руды на фракции по плотности. На фабрике для разделения минералов по плотности их использовать нельзя из-за токсичности.

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

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

средах - высокая технологическая эффективность, близкая к теоретической.

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

Аппараты:

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

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

3.1.4.1. Тяжелосредный сепаратор с вертикальным элеваторным колесом

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

Технология обогащения руд в тяжелосредних сепараторах

1. Подготовка полезного ископаемого к данному процессу:

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

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

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

3. Отделение и отмывка суспензии от продуктов обогащения.

4. Регенерация утяжелителя.

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

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

Суспензия находится в непрерывной циркуляции. Она переливается через

порог разгрузочного желоба на сито предварительного сброса (6) суспензии. Высота слоя суспензии у порога – 30-80 мм.

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

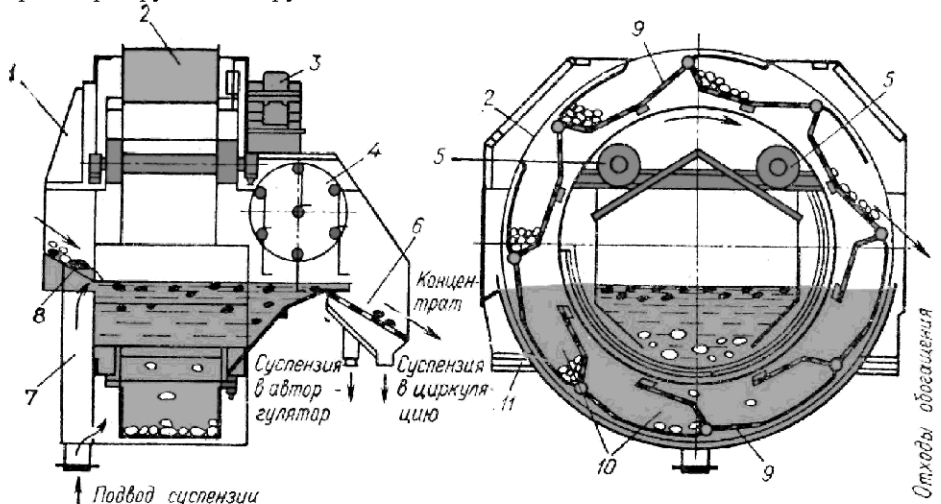


Рис. 3.1.4.1.1. Тяжелосредный сепаратор с вертикальным элеваторным колесом: 1 – корпус; 2 – элеваторное колесо; 3 – привод электродвигателя; 4 – гребковое устройство; 5 – опорные катки; 6 – сито предварительного сброса суспензии; 7 – патрубок для подвода суспензии; 8 – загрузочный желоб (течка); 9 –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

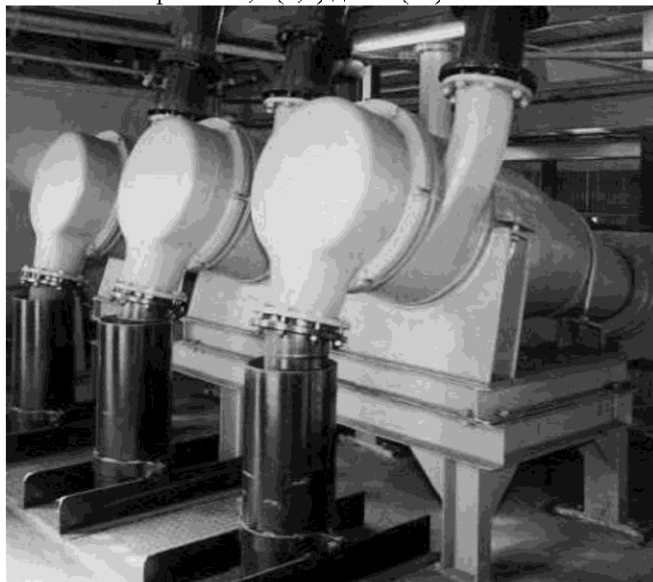
Элеваторное колесо (2) беговой дорожкой опирается на катки (5), снабженные винтами для регулировки положения колеса относительно корпуса сепаратора.

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

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

3.1.4.2. Тяжелосредные гидроциклоны

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



*Рис. 3.1.4.2.1.
Тяжелосредные гидроциклоны*

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

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

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

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

ступень каскада, становится выше плотности суспензии питания.

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

3.1.4.3. Схемы регенерации разбавленной суспензии

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

Схемы регенерации некондиционной суспензии

Задачи:

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

Продукты переработки суспензии магнетита сепаратором

- отходы регенерации;
- слив;
- магнетитовый концентрат.

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

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

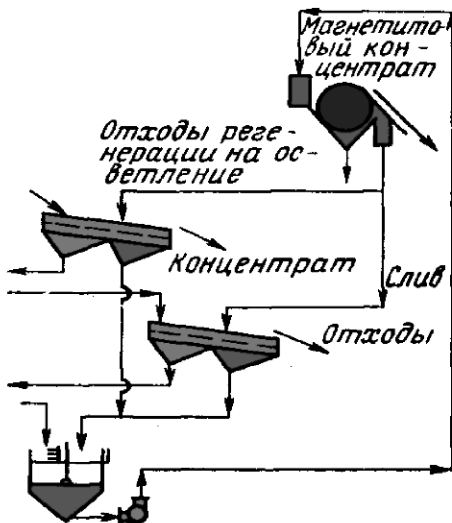


Рис. . 3.1.4.3.1. Одностадийная схема регенерации магнетитовой суспензии

При обогащении мелких углей с содержанием шлама более 150 кг/м^3 двух-

стадийная схема регенерации магнетитовой суспензии (рис. 3.1.4.3.2).

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

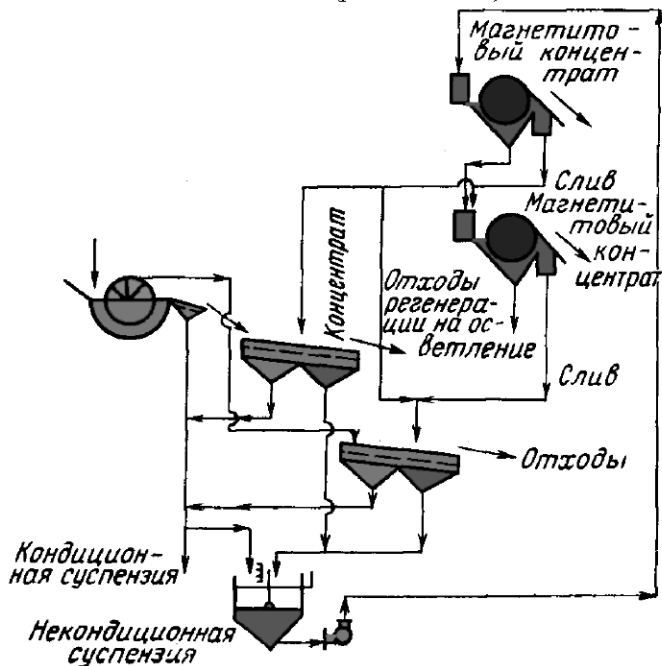


Рис. 3.1.4.3.2.
Двухстадийная
схема регенерации
магнетитовой су-
спензии

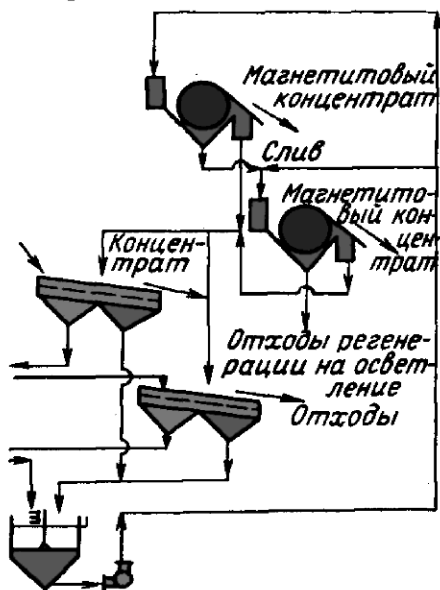


Рис. 3.1.4.3.3.
Комбинированная
схема регенерации
магнетитовой су-
спензии

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение процессу обогащения полезных ископаемых в тяжелых средах.
2. В чем заключается сущность метода обогащения полезных ископаемых в тяжелых средах?
3. Какие тяжелые среды вы знаете?
4. Какие тяжелые среды применяются в лаборатории для разделения пробы руды на фракции по плотности?
5. Какие тяжелые среды применяются на фабрике для разделения руды по плотности на концентрат и отходы?
6. Назовите достоинства и недостатки метода обогащения полезных ископаемых в тяжелых средах.
7. Какие аппараты для обогащения полезных ископаемых в тяжелых средах вам известны?
8. Назовите область применения тяжелосредных сепараторов с вертикальным элеваторным колесом.
9. Опишите технологию обогащения руд в тяжелосредных сепараторах.
10. Назовите устройство, принцип действия тяжелосредных сепараторов с вертикальным элеваторным колесом их достоинства и недостатки.
11. Назовите область применения, конструкцию, принцип действия тяжелосредных гидроциклонов их достоинства и недостатки.
12. Каким образом регенерируется разбавленная магнетитовая суспензия?

3.1.5. Обогащение в потоках воды на наклонных плоскостях

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

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

Шлюзы и моечный желоб применяются для первой стадии обогащения руд с низким содержанием тяжелых минералов, как для мелкозернистых, так и для крупнокусковых. Этим способом удаляется основная часть породы в оловянных, вольфрамовых, золото- и платино-содержащих рудах. В потоке пульпы по наклонному желобу (коробу) тяжелая фракция частиц движется по дну и удаляется в разгрузочную камеру, а легкая выносится со слоями потока воды.

Струйный концентратор (рис. . 3.1.5.1.), представляет собой наклонный

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

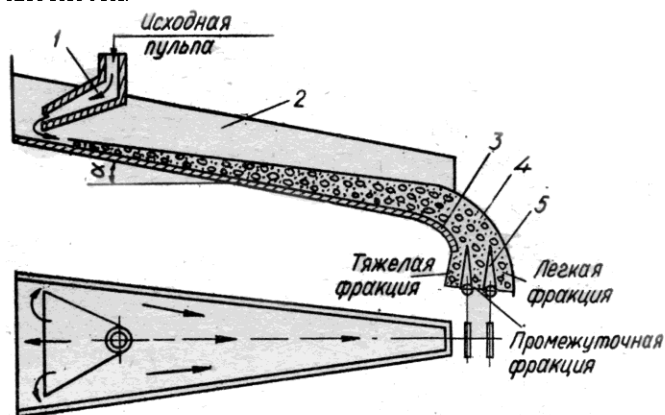


Рис. 3.1.4.5.1. Струйный концентратор: 1 – питающая воронка; 2 – суживающийся наклонный желоб; 3 – слой потока с тяжелыми частицами; 4 – слой потока с легкими частицами; 5 – перегородки-отсекатели

Применяется при обогащении россыпей минералов, например, титаново-циркониевых или ильменито-цирконорутитовых песков, в которых полезные минералы представлены мелкими свободными частицами. Плотность полезных минералов должна сильно отличаться от плотности пустой породы.

3.1.5.1. Спиральный сепаратор

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

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

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

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

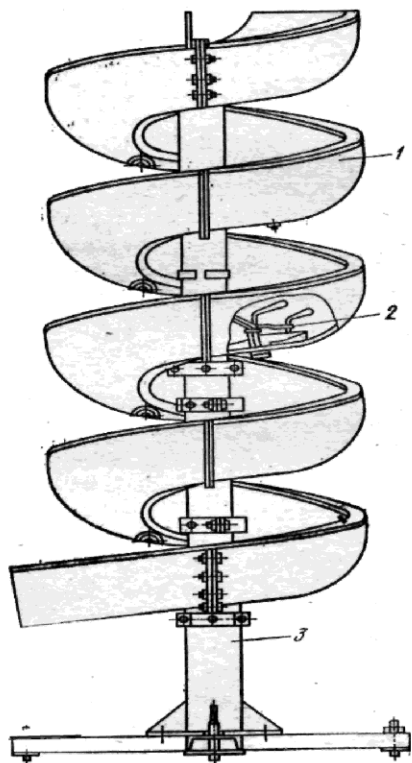


Рис. 3.1.5.1.1. Спиральный сепаратор

3.1.5.2. Концентрационный стол

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

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

Поверхность деки может быть из алюминиевых сплавов без покрытия либо покрывается линолеумом, резиной или стеклопластиком, на котором крепятся деревянные планки – рифли (2). В продольном направлении рифли скашивают по высоте и у разгрузочного конца они имеют минимальную высоту. Скашивание рифлей способствует расхождению продуктов веером по поверхности деки. Для регулирования поперечного наклона деки имеется специальный креновый механизм, при вращении маховика (12) которого дека за счет винта (11) поворачивается на одинаковый угол. Поперечный угол наклона деки составляет 2-5° для мелкого материала и 5-9° – для более крупного.

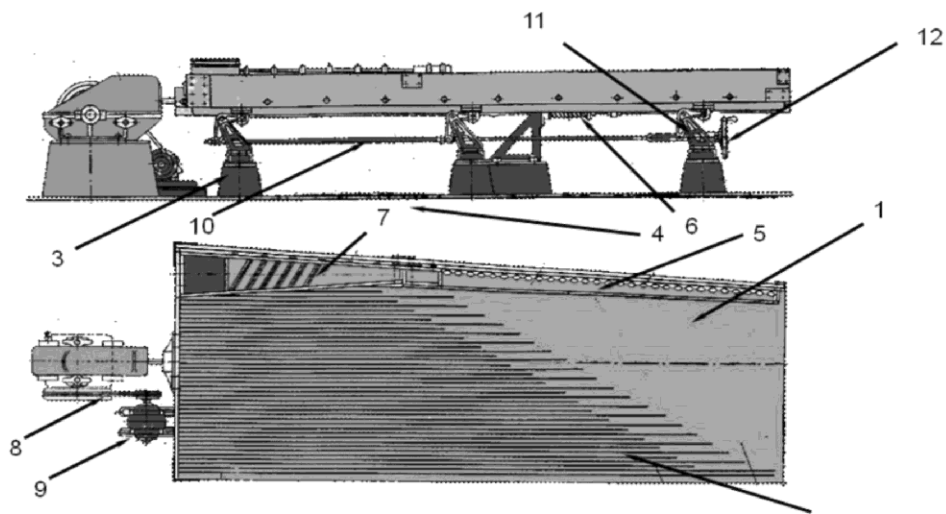


Рис. 3.1.5.2.1. Качающийся концентрационный стол СКМ-1: 1 – дека; 2 – рифли; 3 – опора дека; 4 – рама; 5 – желоб для воды; 6 – натяжное устройство; 7 – желоб для пульпы; 8 – приводной механизм; 9 – электродвигатель; 10 – тяга; 11 – винт; 12 – маховичок кренового механизма

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

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

Недостаток – низкая производительность.

Вопросы для самопроверки

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

3.2. Флотационные методы обогащения полезных ископаемых

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

способностью не обладают.



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

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

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

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

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

Существует большое разнообразие флотационных процессов: *пенная* флотация, *плёночная*, *масляная* флотация, масляная грануляция и др. Пленочной флотацией называется процесс, при котором гидрофобные частицы, попадая на поверхность движущегося потока воды, остаются на ней, образуя пленку, а гидрофильные частицы тонут. Пленочная флотация используется в процессе флотогравитации при доводке гравитационных концентратов. Масляной флотацией называется процесс, при котором гидрофобные частицы прилипают к каплям масла в пульпе и всплывают наверх, а гидрофильные частицы остаются взвешенными в пульпе. Разделение минеральных частиц может осуществляться также при помощи гидрофобной твердой поверхности (флотация твердой стенкой) или твердой поверхности, покрытой слоем гидрофобной вязкой жидкости (обогащение на жировой поверхности). К таким поверхностям, помещенным в пульпу, избирательно прилипают гидрофобные частицы. Флотация на жировой поверхности используется при обогащении алмазов. В промышленности широко применяется пенная флотация. Известны разновидности пенной флотации: *флотация кипячением*, *химическая флотация* (например, если порода содержит кальцит, то добавляя серную кислоту можно флотировать гидрофобные частицы на образующихся пузырьках углекислого газа), *вакуумная флотация*, *флотация*

под давлением, электрофлотация (получение пузырьков электролизом воды) и другие виды. Традиционно на преобладающем большинстве обогатительных фабрик применяется пенная флотация минералов на пузырьках воздуха.

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

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



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

3.2.1. Флотационные реагенты

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

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

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

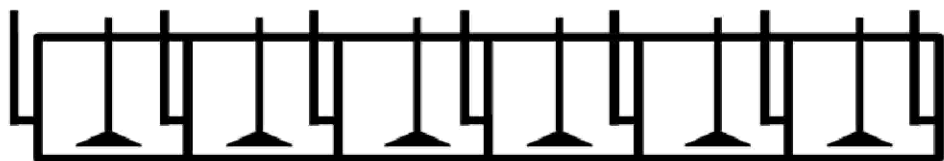
Активаторы восстанавливают флотационную способность частиц прилипать к пузырькам воздуха или подготавливают поверхность к нанесению собирателей.

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

3.2.2. Флотационные машины

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

Камерные флотационные машины



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

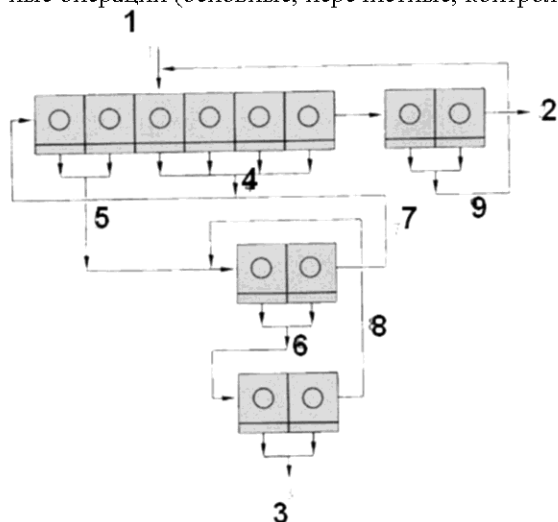


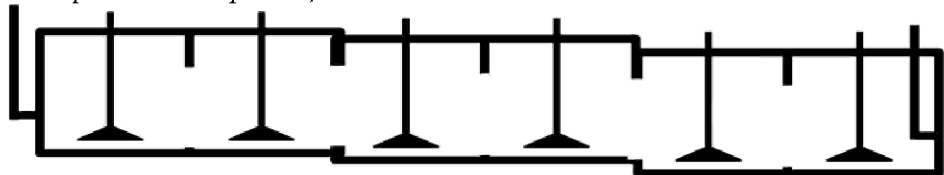
Рис. 3.2.2.1. Схема компоновки флотационных машин: 1 – подача пульпы; 2 – отвальные хвосты; 3 – конечный концентрат; 4 – первичный концентрат; 5 – концентрат первой перечистки; 6 – концентрат второй перечистки; 7 – промпродукт второй перечистки; 8 – промпродукт третьей перечистки; 9 – концентрат контрольной флотации

Камерно-прямоточные флотационные машины



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

Прямоточные флотационные машины



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

По способу подачи воздуха в камеру машины бывают:

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

3.2.2.1. Механические флотационные машины «Механобр»

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

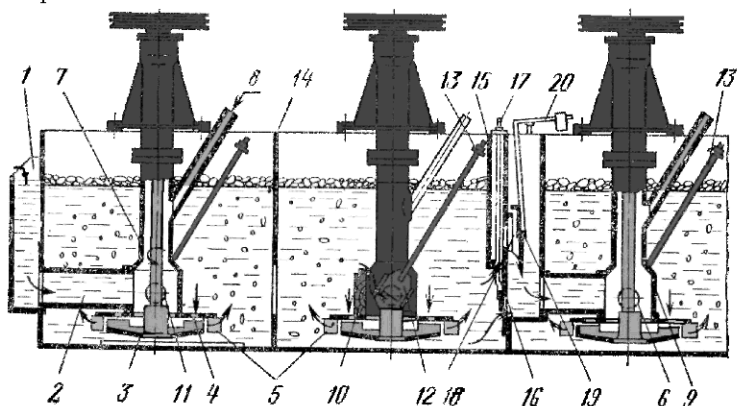


Рис. 3.2.2.1.1. Механическая флотационная машина «Механобр». 1 – приемный карман; 2 – патрубок; 3 – импеллер; 4 – отверстия в диске; 5 – направляющие лопатки статора; 6 – вал импеллера; 7 – труба импеллера; 8 – патрубок, для подачи воздуха; 9 – надимпеллерный стакан; 10 – пробка; 11 – отверстие; 12 –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

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

градусов к радиусу.

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

Для внутрикамерной циркуляции пульпы надимпеллерный диск имеет круглые отверстия, расположенные по окружности. Кроме того для регулирования внутрикамерного потока в нижней части трубы, называемой надимпеллерным стаканом (9) имеется два отверстия (11), которые служат для внутрикамерной циркуляции пульпы. Одно можно использовать для подвода промпродукта, другое можно закрыть или частично прикрыть заслонкой (12) с помощью штока (13).

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

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

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

3.2.2.2. Механические флотационные машины угольные

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

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

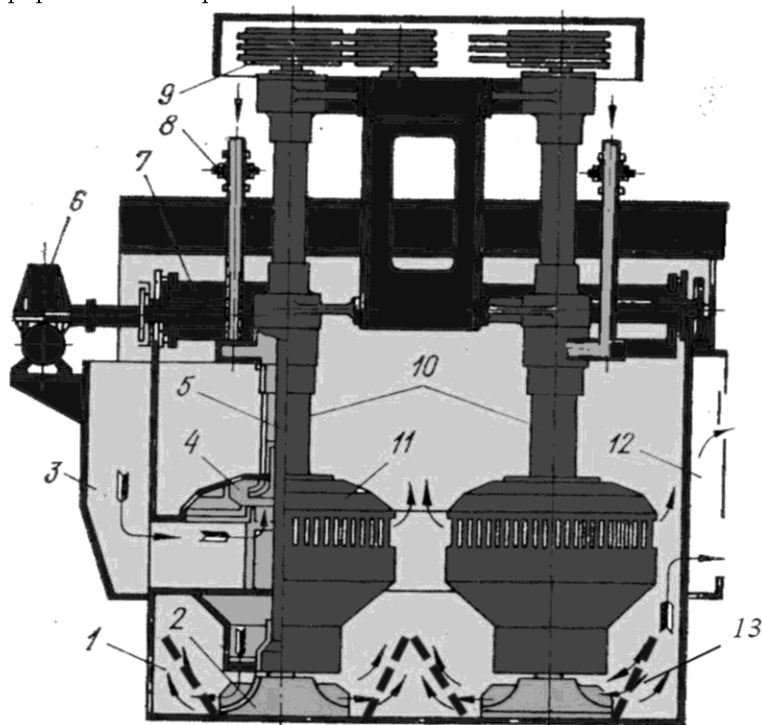


Рис. 3.2.2.2.1. Флотационная машина угольная МФУ2-63: 1 – корпус; 2 и 4 – центробежный и осевой импеллеры; 3 – карман; 5 – вал; 6 – привод; 7 – пеногон; 8 – воздухозаборная труба; 9 – приводной шкив; 10 – блок-импеллеры; 11 – аэрационная камера; 12 – переливное устройство, 13 – успокоительные решетки

Успокоительная решётка обеспечивает более свободный отвод пульпо-воздушного потока. Часть более насыщенной воздухом пульпы, выбрасывается в верхний слой флотационной камеры через щели в аэрационной камере. Этим достигается аэрация верхних слоёв пульпы и стабилизация работы осевого импеллера (2). Таким образом, в машине осуществляется принцип послойной аэрации на уровне центробежного (4) и осевого импеллера (2). Пена удаляется из камер с обеих сторон двухрядным пеногоном (6, 7). Детали флотационной ма-

шины (импеллеры, статоры, аэрационные камеры) изготавливают из износостойких сплавов, т. к. они находятся в условиях интенсивного коррозионного и абразивного воздействия. Внутреннюю часть камеры футеруют плитками из каменного литья, что также предотвращает ее быстрое изнашивание.

3.2.2.3. Пневмомеханические флотационные машины

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

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

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

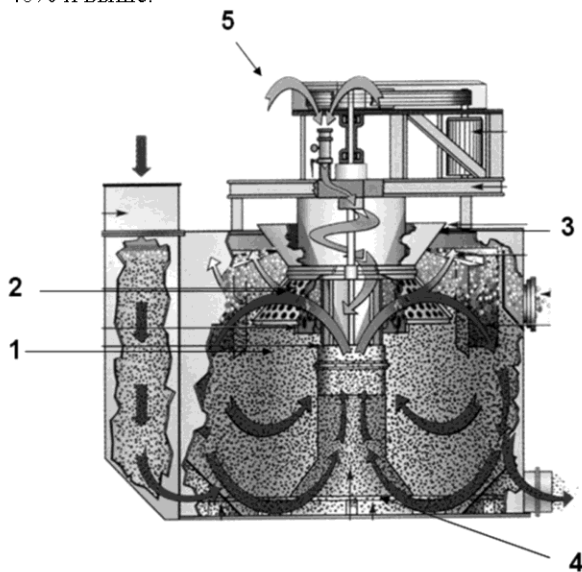


Рис. 3.2.2.3.1. Пневмомеханическая флотационная машина «Smart Cell WEMCO». 1 – дно; 2 – диспергатор; 3 – отражатель пены; 4 – всасывающая труба; 5 – подача воздуха

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

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

прямого потока и повышения степени изоляции камер установкой межкамерных перегородок.

3.2.2.4. Пневматические флотационные машины

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



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

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

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

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

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

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

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

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

Преимущества пневматических флотационных машин: небольшие площади для установки; малая металлоемкость; низкие капитальные затраты; низкие эксплуатационные расходы вследствие отсутствия подвижных частей и низкой степени их износа, что сокращает затраты на техническое обслуживание; низкое энергопотребление; высокая эффективность при высоком уровне содержания

твердого в пене; высокая селективность разделения; высокая производительность.

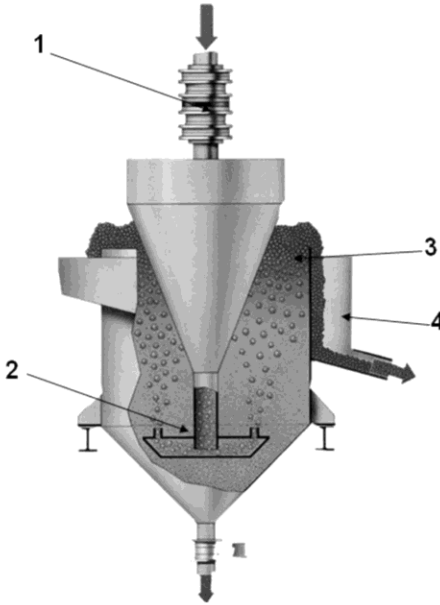


Рис. 3.2.2.4.1.
Пневматическая флотационная машина PNEUFLOT cells HUMBOLDT WEDAG. 1 – аэратор; 2 – дистрибьютер; 3 – пена; 4 – кольцеобразный желоб

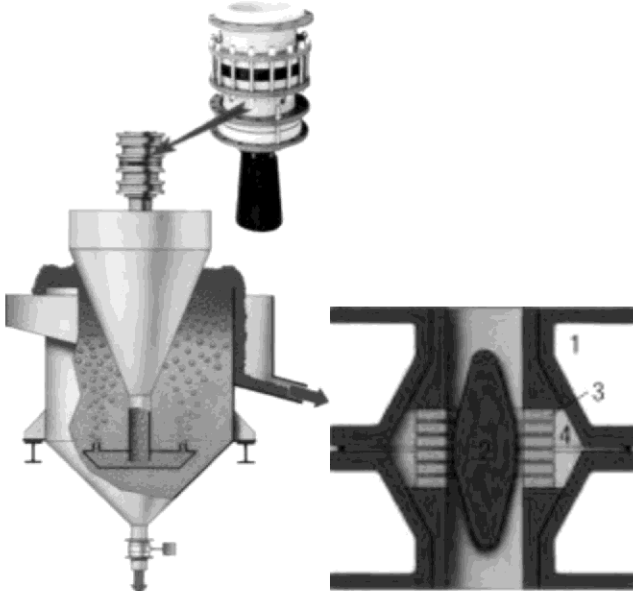


Рис. 3.2.2.4.2.
Схематический разрез аэратора: 1 – корпус, состоящий из 2-х частей из полипропилена; 2 – вытеснительное тело из керамики для образования кольцевого канала 8-12 мм; 3 – кольцевые шайбы из керамики с диаметром щели от 25 до 100 мкм; 4 – камера сжатия воздуха, соединенная с устройством его подачи

Недостатки: интенсивность перемешивания ниже, чем у механических; размер пузырьков в 2- 3 раза больше, следовательно, низкая удельная производительность на один кубометр воздуха. Есть вариант повышения производительности подачей воздуха через сопла со сверхзвуковой скоростью. Это обеспечивает тонкое его диспергирование. Недостатком является необходимость приме-

нения насосов, ненадежность аэраторов у пневматических флотационных машин с аэролифтной загрузкой (зашламовка воздухподающих трубок), чувствительность к изменению плотности пульпы и крупности измельченной руды, трудности при флотации крупного и тяжелого материала из-за недостаточного перемешивания.

Вопросы для самопроверки

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

3.3. Магнитные методы обогащения

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

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

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

Магнитная восприимчивость - величина, характеризующая связь намагниченности вещества с магнитным полем в этом веществе и обозначается греческой буквой κ (каппа).

По этому свойству они делятся на три группы:

Сильномагнитные (ферромагнетики)

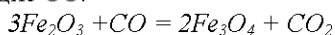
- металлы: железо, никель, кобальт;

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

Эти минералы извлекаются на магнитных сепараторах с полем слабой напряженности $H=1500$ Э (Эрстед) со слабомагнитным полем (открытые многополюсные магнитные системы). *Слабомагнитные* (парамагнетики) - вольфрамит, биотит, гематит, лимонит, сидерит.

Минералы этой группы извлекаются на магнитных сепараторах с полем высокой напряженности $H 4000 < H < 17000$ Э в сепараторах с сильным магнитным полем (замкнутые магнитные системы). *Немагнитные* минералы (диамагнетики) - кварц, полевой шпат, кварцит, касситерит, мусковит.

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

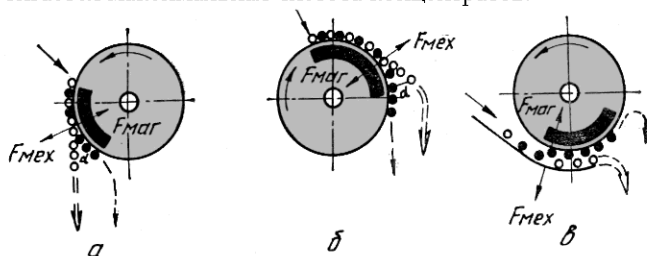


Магнитное обогащение осуществляется в неоднородных магнитных полях, которые создаются магнитной системой сепаратора, состоящей из определенным образом направленных магнитов. Процесс разделения сопровождается флокуляцией материала - образованием в рабочей зоне сепаратора флоккул и прядей из магнитных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

Способы обогащения частиц по магнитным свойствам:

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

- отклонение магнитных частиц (поток, минуя магнит, разделяется на два),
- удерживание (поток магнитных частиц перпендикулярен поверхности барабана). Поскольку направления потока частиц и магнитной силы совпадают, потери минимальны, достигается максимальное извлечение магнитных частиц и максимальная производительность по концентрату
- извлечение магнитных частиц (поток под магнитом). В этом случае достигается максимальная чистота концентратов.



Условные обозначения продуктов:

- \longrightarrow — исходного;
- \dashrightarrow — магнитного;
- $\equiv\equiv\equiv\rightarrow$ — немагнитного

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

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

3.3.1. Магнитные сепараторы

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

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



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

Сепараторы для мокрого обогащения сильномагнитных руд (рис. 3.3.1.2.) (противоточный магнитный барабанный сепаратор) обогащает руду в потоках воды. Исходная руда с водой (пульпа) поступает в ванну сепаратора.

Магнитные частицы, попадая в зону действия поля магнитной силы, притягиваются к барабану, при его вращении выходят из области действия магнитного поля и удаляются с поверхности барабана скребком. Немагнитная фракция разгружается в нижней части ванны сепаратора. Сепараторы для мокрого обогащения сильномагнитных руд используются также для регенерации магнетитовых суспензий, которые используются для отделения углей от породы.

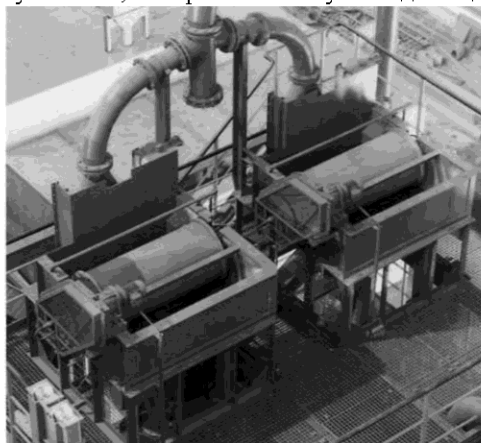


Рис. 3.3.1.2. Барабанный сепаратор с постоянными магнитами для регенерации магнетитовой суспензии

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

3.3.2. Классификация магнитных сепараторов

По напряженности и силе магнитного поля различают сепараторы:

- 1) со слабым полем (80-120 кА/м) для сильномагнитных руд и для регенерации ферромагнитных суспензий;
- 2) с сильным полем (800-1600 кА/м) для слабомагнитных руд. *По среде разделения материала* сепараторы бывают:

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

По способу удаления продуктов обогащения они делятся на сепараторы:

- 1) сепараторы прямоточные (рис. 3.3.2.1.)
- 2) сепараторы противоточные (рис. 3.3.2.2.)
- 3) сепараторы полупротивоточные (рис. 3.3.2.3.)

По конструкции устройства для извлечения магнитного продукта) различают:

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

создания электромагнитного поля: электромагнитные – (в наименовании типоразмера сепаратора присутствует буква Э); с постоянными магнитами (П).

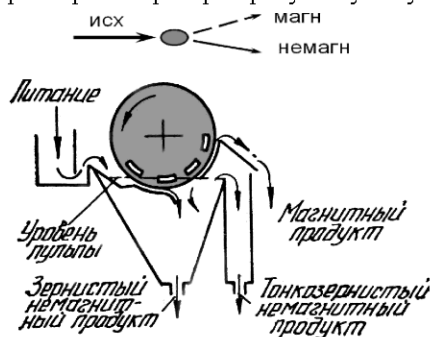


Рис. 3.3.2.1. Схема работы прямо-
точного сепаратора

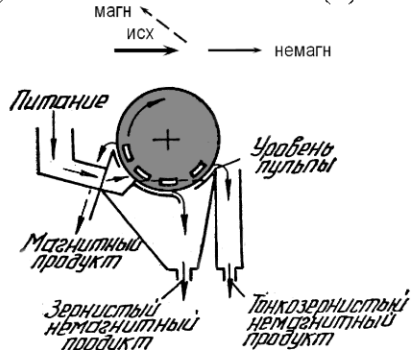


Рис. 3.3.2.2. Схема работы про-
тивоточного сепаратора

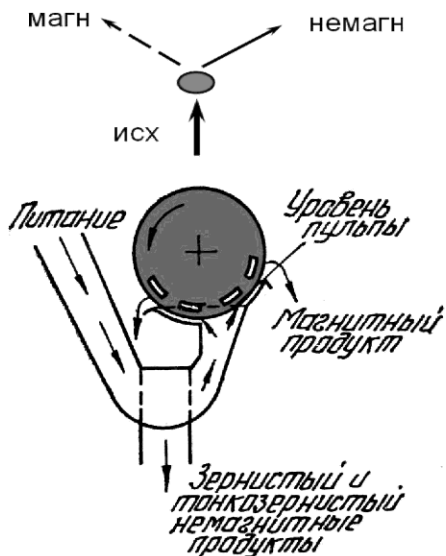


Рис. 3.3.2.3. Схема работы полу-
противоточного сепаратора

3.3.3. Расшифровка типоразмеров магнитных сепараторов

Цифры в наименовании типоразмера означают:

- 1) первая цифра – количество барабанов (валков);
- 2) цифры после букв означают размеры барабана деленные на 10:

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

Пример:

Расшифруйте наименование типоразмера сепаратора 4ЭВС 36/100.

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

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

Вопросы для самопроверки

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

3.4. Электрические методы обогащения

Электрическое обогащение – процесс разделения минералов в электрическом поле из-за различия их свойств: электропроводности, диэлектрической проницаемости, электризацией трением (трибоэлектрический эффект). Для образования или усиления эффекта разделения частиц они предварительно заряжаются контактным электродом; в электрическом поле коронного разряда, радиационным методом (облучение α и β); электризацией трением и т.д. Разделение минералов по электрическим свойствам производится в неоднородном электрическом поле. Кроме электрических сил на частицы действуют силы тяжести, центробежная сила, сила сопротивления среды.

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

3.4.1. Классификация минералов по электрическим свойствам

Все руды делятся по величине удельного электрического сопротивления на

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

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

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

3.4.2. Виды электросепарации

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

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

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

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

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

Существуют и другие виды электросепарации.

3.4.3. Электрические сепараторы

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

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

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

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

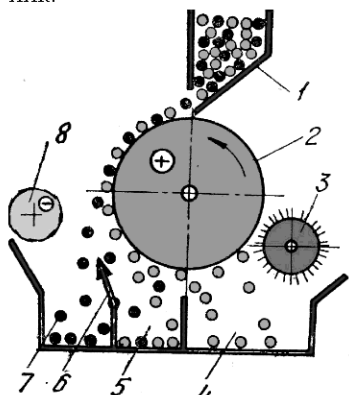


Рис. 3.4.3.1. Электрический барабанный сепаратор 1 – бункер, 2 – заряженный барабан (контактный осадительный электрод), 3 – щетки, 4 – бункер для диэлектриков, 5 – бункер для промпродукта, 6 – разделительная перегородка, 7 – бункер для проводников, 8 – отклоняющий электрод

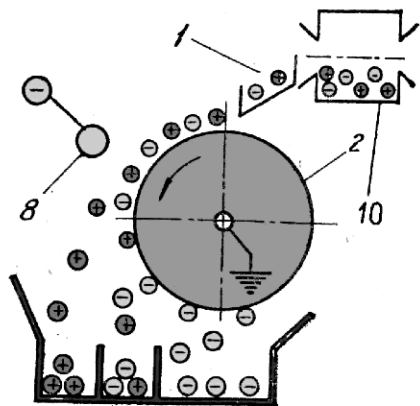


Рис. 3.4.3.2. Трибоэлектростатический барабанный сепаратор 1 – бункер, 2 – заземленный барабан (контактный осадительный электрод), 8 – отклоняющий электрод, 10 – электризатор

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

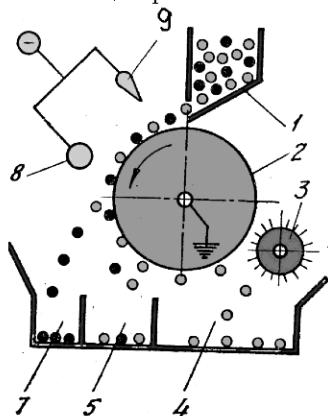


Рис. 3.4.3.3. Коронно-электростатический барабанный сепаратор 1 – бункер, 2 – заземленный барабан (контактный осадительный электрод), 3 – щетки, 4 – бункер для диэлектриков, 5 – бункер для промпродукта, 7 – бункер для проводников, 8 – отклоняющий электрод, 9 – коронирующий электрод

Попадая в область коронного разряда, частицы заряжаются соответственно

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

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение электрическому методу обогащения полезных ископаемых.
2. Как подготавливают минералы к обогащению электрическими методами?
3. Какие силы действуют на частицы при обогащении в электрическом поле?
4. Как классифицируют минералы по электрическим свойствам?
5. Какие вы знаете виды электрической сепарации?
6. Какие электрические и электростатические сепараторы вы знаете?
7. Назовите конструкцию, принцип действия электрического барабанного сепаратора.
8. Назовите конструкцию, принцип действия трибоэлектрического барабанного сепаратора.
9. Назовите конструкцию, принцип действия коронного и коронно-электростатического сепаратора.

3.5. Специальные методы обогащения

Ряд методов обогащения относят к разряду специальных.

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

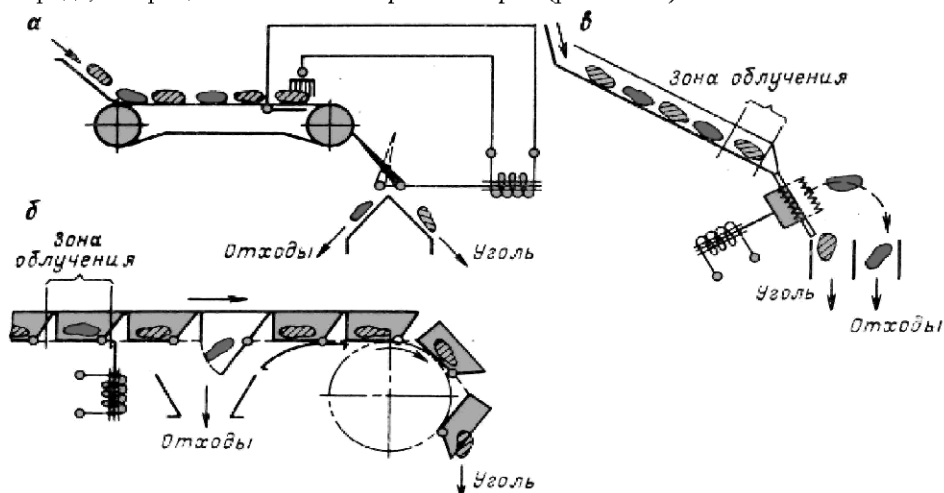


Рис. 3.5.1. Механизированная выборка породы: а – электрический сепаратор; б – рентгенометрический сепаратор с ковшовой цепью; в – радиометрический сепаратор с выталкивающим сортировочным устройством.

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

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

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

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

Методы радиометрического обогащения

1. *Авторадиометрический* применяется для обогащения минералов, обладающих естественной радиоактивностью, например, урановых руд.

2. *Фотонейтронный* применяется для обогащения бериллиевых руд, так как ядра бериллия способны испускать нейтроны при облучении γ -лучами.

3. *Нейтронно-активационный* применяется для обогащения магниевых, медных, ванадиевых руд. Руды облучаются потоком нейтронов с образованием радиоактивных изотопов, способных излучать определенный вид лучей: гамма-, бета-, нейтронное излучение.

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

5. *Гамма-абсорбционный* применяется для обогащения руд с различной способностью поглощения минералами гамма излучения. Эффективен при обогащении железных руд, углей и других полезных ископаемых с высоким содержанием ценных компонентов.

6. *Нейтронно-абсорбционный* применяется для обогащения руд бора.

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

8. *Фотометрический метод обогащения* (рис. 3.5.2.) осуществляется механическое разделение минеральных зёрен, имеющих разный цвет или блеск, лучепреломление и применяется для обогащения магнетитовых, кварцевых, мела, золотосодержащих руд из-за различия в свойстве отражать или преломлять лучи.

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

ление минералов осуществляется грохочением

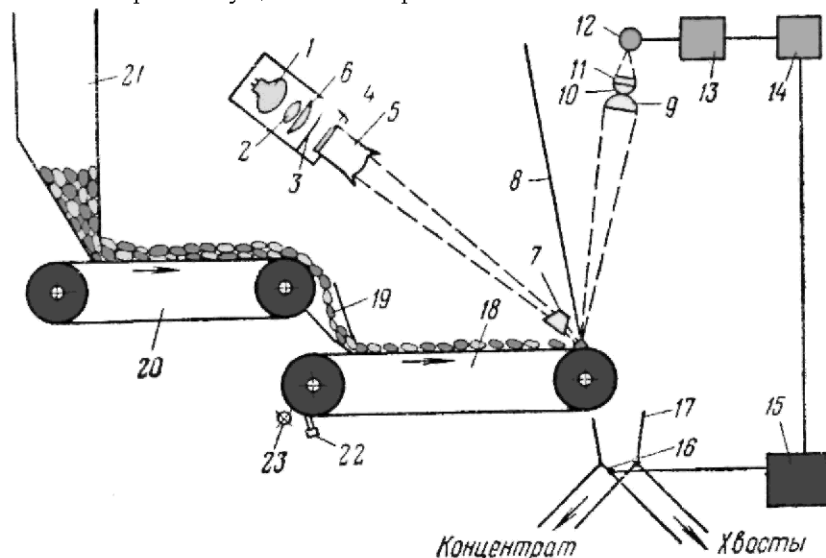


Рис. 3.5.2. Схема оптического сепаратора. 1 – фонарь; 2, 3, 6, 7, 9, 10 – линзы оптической системы; 4 – регулирующая щель; 5 – поляризатор; 8 – светонепроницаемый экран; 11 – анализатор, скрещенный под прямым углом с поляризатором; 12 – фотоумножитель; 13 – источник питания фотоумножителя; 14 – усилитель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

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

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

К специальным методам обогащения относятся также методы, которые на-

зываются *обогащение по трению*, *обогащение по форме*. Разделение частиц по этим свойствам основано на различии в скоростях движения по наклонной плоскости. Окатанные частицы имеют большую скорость, чем угловатые и шероховатые (рис. 3.5.3. б-г). При движении по наклонной плоскости волокнистые и плоские частички скользят, а округлые зёрна скатываются вниз. Коэффициент трения качения всегда меньше коэффициента трения скольжения, поэтому плоские и округлые частички движутся по наклонной плоскости с разными скоростями и по разным траекториям, что создаёт условия для их разделения. Различия в форме зёрен и коэффициенте трения позволяет отделять плоские чешуйчатые частички слюды или волокнистые агрегаты асбеста от частичек породы, которые имеют округлую форму. Устройства, которые применяют для обогащения, просты в конструкции и представляют собой различные рабочие поверхности. Это плоскостные сепараторы: с неподвижной поверхностью «Горка», плоскостной с отражателями и щелями, полочный с трамплином и лотково-барабанный.

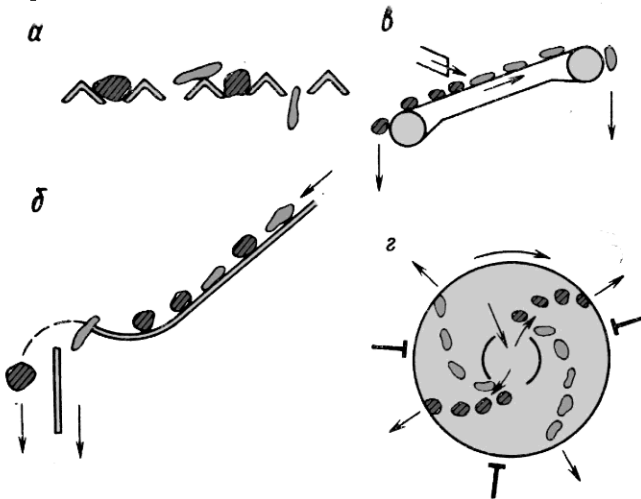


Рис. 3.5.3. Обогащение по форме и трению.

Обогащение по упругости основано на различии траектории движения частиц с различным коэффициентом упругости при столкновении с наклонной поверхностью.

Отличия в сорбционных свойствах атомов минералов полезного компонента и пустой породы лежит в основе *сорбционных способов обогащения* (рис. 3.5.4.), например, золота. При этом золото подвергают *выщелачиванию* в растворах цианидов, затем золотосодержащий раствор подвергают контакту с ионообменными смолами, прогоняя через колонки.

Кучное выщелачивание (обработка рудных штабелей) может осуществляться химическим (цианированием, обработка слабыми растворами серной кислоты) либо бактериальными методами. При этом *химическое и бактериальное выщелачивание* ряда полезных ископаемых (золото, медь, никель) из руды обуславливается разными свойствами компонентов полезного ископаемого взаимодействовать с химическими реагентами и бактериями. При выщелачивании ценные компоненты руды растворяются и отделяются от нерастворимого остатка

посредством подходящего растворителя.

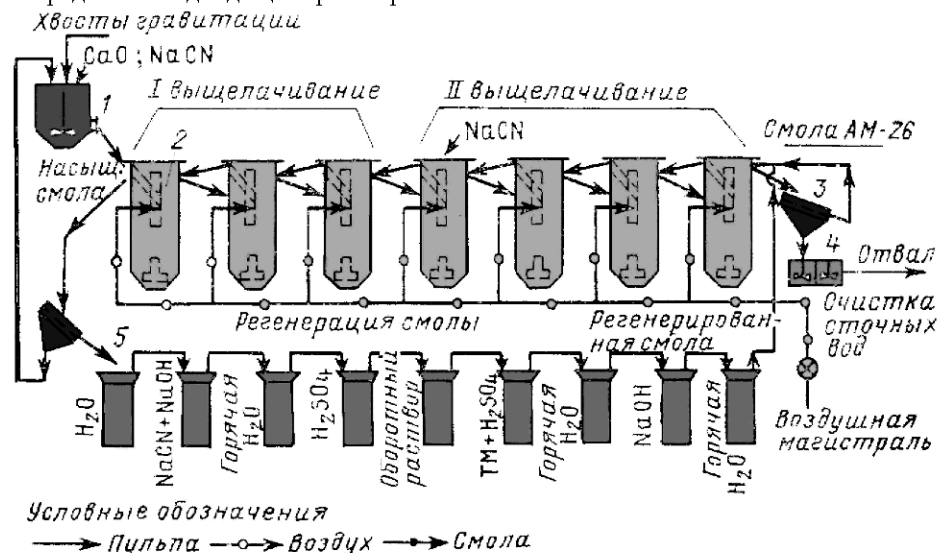


Рис. 3.5.4. Сорбционный способ обогащения растворенного золота с помощью ионообменных смол

К специальным процессам можно также отнести процессы выщелачивания типа скважинного растворения солей с дальнейшим выпариванием раствора. В основе этого метода лежит разная растворимость минералов.

Обогащение на жировых поверхностях основано на различии в смачиваемости поверхностей минералов, подлежащих разделению. Частицы избирательно закрепляются на границе раздела фаз: жировая поверхность – газ и поэтому этот вид обогащения можно также отнести к разновидностям флотационных. Процесс обогащения на жировых поверхностях используется при обогащении алмазов при переработке черновых концентратов кимберлитовых руд с крупностью частиц более 0,5 мм. Гидрофильные частицы породы удаляются с потоком пульпы, а гидрофобные алмазы увязают в жировой смазке поверхности. В качестве жировой поверхности применяют смесь масел (машинные масла, вазелин, парафин и т. д.), а в качестве реагента-собирателя используются аполярные (автол) и полярные реагенты (олеиновая кислота).

Вопросы для самопроверки

1. Какие виды специальных методов обогащения вы знаете?
2. Чем отличается рудоразборка от породовыборки?
3. Назовите область применения ручной и механизированной рудоразборки.
4. Какие методы радиометрического обогащения вы знаете. Чем они отличаются друг от друга?
5. Назовите область применения и сущность избирательного дробления.
6. Объясните понятие декрипитации и какое отношение оно имеет к обогащению полезных ископаемых?

7. Как осуществляется обогащение по крупности?
8. Каким образом минералы можно разделить по различию коэффициента трения и по форме?
9. Объясните, каким образом осуществляется процесс обогащения по упругости?
10. Что такое кучное выщелачивание?
11. Объясните, как осуществляется обогащение способом химического и бактериального выщелачивания?

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить материал лекции.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Литература: [1 – 11].

ЛЕКЦИЯ 4

Вспомогательные процессы переработки

План лекции.

Обезвоживание продуктов обогащения

Вспомогательные процессы переработки полезных ископаемых предназначены для снижения влажности продуктов обогащения до кондиционного уровня, сгущения пульпы, осветления оборотных вод, а также их обеспыливания и обесшламливания.

4.1. Обезвоживание продуктов обогащения

В основном процессы обогащения полезных ископаемых производятся в водной среде. Излишняя влага удорожает перевозку и хранение концентратов, уменьшает сыпучесть продуктов, благоприятствует смерзанию кусков в зимнее время и делает продукты обогащения малопригодными. Влагу из них следует удалять, доведя продукты обогащения до нормативных показателей. Кондиционная влажность угольных концентратов не более 9 % в летний период времени и не более 7 % – в зимний.

Обезвоживание продуктов обогащения это процесс удаления из них влаги.

Содержание влаги в продуктах обогащения руды определяется как отношение массы воды в продукте к общей массе сырого продукта и выражается процентным отношением.

$$W = \frac{Q_{H_2O}}{Q_{H_2O+руда}} 100 \%,$$

где Q_{H_2O} - масса воды в продукте, $Q_{H_2O+руда}$ - общая масса сырого продукта.

4.1.1. Виды влаги

По типу связи с минералом различают следующие виды влаги:

Химически связанная влага (внутренняя) связана с молекулой вещества в кристаллической решетке.

Адсорбированная влага. Представляет собой гидратную пленку, которая удерживается за счет сил адсорбции. Адсорбированная влага бывает:

гигроскопической, которая химически связана с поверхностью и образует на поверхности мономолекулярную водяную пленку, *адгезионной* – влаги смачивания, которая представлена на поверхности в виде пленки из нескольких (от ста до сотни тысяч) мономолекулярных слоев воды.

Капиллярная влага представлена в минерале молекулами воды, связанными в капиллярах (порах) силами капиллярного давления. Зависит от пористости минерала.

Гравитационная (свободная) влага – вода, удерживающаяся в промежутках между частицами.

В зависимости от содержания влаги продукты обогащения различают:

Пulьпы. Это обводненные продукты – механические смеси твердого и воды (суспензий); влажностью не менее 40%, обладают текучестью. Характеризуются процентным содержанием влаги – влажностью (W) либо содержанием твердого к жидкому [г/л]. Весовое содержание жидкого к твердому обозначается часто как Ж:Т, например, 7:1, 10:1 и т.д. Содержат все виды влаги.

Мокрые продукты имеют влажность в диапазоне: $15-25\% < W < 40\%$ и содержат часть капиллярной, адсорбционную и др. виды влаги.

Влажные продукты имеют влажность в диапазоне $5-6\% < W < 15-25\%$. Содержат часть капиллярной влаги, а также другие виды влаги, кроме гравитационной (свободной).

Воздушно-сухие продукты имеют влажность $W \sim 4-6\%$. содержат только в определенной пропорции адсорбционную в основном гигроскопическую и кристаллизационную влагу (химически связанную) в зависимости от пористости, смачиваемости вещества.

Сухие продукты. Их влажность $W < 4-6\%$. Содержат только внутреннюю (химически связанную влагу) и частично гигроскопическую.

4.1.2. Методы обезвоживания

Выбор метода обезвоживания зависит от характеристик материала, который обезвоживается, в основном, гранулометрического и минералогического составов, его начальной влажности, а также кондиционных требований по влажности. Чем мельче куски руды, тем сложнее их обезвоживать. Часто, за одну стадию невозможно достичь кондиционной влажности. Поэтому на фабрике для продуктов обогащения, представленных мелочью, используют разные операции обезвоживания, проводимые в несколько стадий.

Для обезвоживания продуктов обогащения используют следующие методы:

Дренаживание – стекание свободной влаги под собственным весом. Аппараты – грохоты, элеваторы.

Сгущение – осаждение шлама в пульпе под действием силы тяжести частиц с использованием реагентов – флокулянтов. Аппараты – сгустители, гидротилоны.

Центрифугирование – обезвоживание пульпы в центробежных полях. Аппараты – фильтрующие, вибрационные, осадительные и комбинированные центрифуги.

Фильтрация – обезвоживание пульпы через пористую перегородку под действием вакуума или давления. Аппараты – вакуум-фильтры, фильтр-прессы.

Термическая сушка – обезвоживание частично обводненного мелкого материала и шламов под воздействием высоких температур. Аппараты – барабанные сушилки, трубы сушилки, сушилки кипящего слоя.

4.1.3. Дренаживание

Дренаживание – это стекание воды под действием силы тяжести при помощи встряхивания или естественным образом. Дренаживание применяют для обезвоживания продуктов крупных и средних классов крупности. Обычно, это продукты обогащения: концентрат, промпродукты, отходы. Это наиболее простой и дешевый способ удаления влаги. *Дренаживанием избавляются от свободной (гравитационной) влаги.*

При дренаживании осуществляется обезвоживание продуктов

– в *бункерах и штабелях* на дренажных площадках, где происходит *естественный дренаж* под действием постоянной силы тяжести и

– *дренаживание механическое* с помощью встряхивания на аппаратах: обезвоживающих грохотах, элеваторах, классификаторах, горизонтальных ковшовых конвейерах, механических спиральных классификаторах.

Аппараты. Крупный концентрат, например, угольный (13-100 мм) эффективно обезвоживается в *бункерах* в течение 6-8 часов до влажности 4-5 %. Мелкий угольный концентрат (0,5-13 мм) эффективно обезвоживается в бункерах в течение 16-24 часа. Поскольку обезвоживание в бункерах процесс длительный, в настоящее время он применяется крайне редко.

Время обезвоживания *на грохотах* значительно меньше по сравнению с бункерами, за счет механического разрыхления материала, лежащего на сите грохота. Это способствует эффективному отделению влаги. Обезвоживающие грохоты имеют щелевидные шпальтовые сита с сечением колосников трапециевидной формы диаметром 0,25; 0,5; 0,75 и 1 мм для мелкого материала. Для крупного применяются грохоты двухситные: верхнее – штампованное с круглыми отверстиями 23*25, 13*13, 6*6 мм, нижнее – щелевидное. Неподвижные сита применяются для предварительного обезвоживания. Это могут быть плоские сита, а также дуговые и конические грохоты, с дополнительным действием центробежных сил, повышающих эффективность обезвоживания.

Производительность обезвоживающих грохотов от 8 до 15 т/м² час. Для обезвоживания часто применяются грохоты типа ГИСЛ, которые зарекомендовали себя высокой эффективностью процесса обезвоживания (рис. 4.1.3.1.).

Обезвоживание на грохотах уменьшает влажность, например, крупного угольного концентрата до 4-12 %, мелкого 10-20 %, шлама до 22-28 %.

Обезвоживание концентратов, промпродуктов и отходов производится также в элеваторах при извлечении их из отсадочных машин и классификаторов (рис. 4.1.3.2.).

Эффективность обезвоживания продуктов обогащения в элеваторах доволь-

но высока за счет большой их длины (до 40 м) и особой конструкции ковшей. Обезвоживающий элеватор представляет собой замкнутую цепь с перфорированными ковшами. Элеватор помещен в кожух с углом наклона 60-75°. Ковши элеваторов имеют щелевидные отверстия для дренажа воды, а также стальные листы отводящие воду.

Влажность крупного материала после обезвоживания на элеваторах достигает 10-15 %, мелкого – 15-25 %.

В элеваторах обезвоживаются также тяжёлые продукты отсадочных машин.



Рис. 4.1.3.1. Грохот инерционный с самобалансным самосинхронизирующимся вибратором.

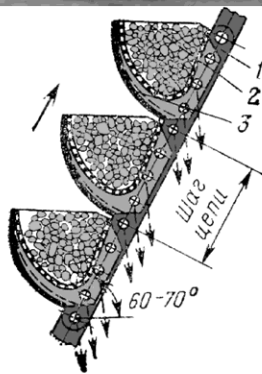


Рис. 4.1.3.2. Классификатор с обезвоживающим элеватором. 1 – зубчатая или цепная передача, 2 – ковши с щелевидными отверстиями, 3 – стальные листы отводящие воду.

4.1.4. Сгущение

На обогатительной фабрике в воде, которая используется как среда для переработки сырья скапливается много частиц очень маленького размера – шламов. Они находятся во взвешенном состоянии и загрязняют воду. Ранее шламовую воду скапливали в отстойниках, которые представляли собой железобетонные резервуары под открытым небом. В настоящее время из экологических соображений запрещено организовывать подобного типа отстойники. Шламовые отходы на фабрике необходимо осадить из пульпы, обезвоживать сгущенный осадок и утилизировать. Процесс осадения твердых шламовых частиц из пульпы под действием силы тяжести называется *сгущением*.

Для интенсификации процесса используются реагенты-флокулянты (типа Магнафлок, Праестол и т. д.). Можно сгущать пульпы также реагентами коагу-

лянтами (известь, хлористое железо, серная кислота и ее соли). Электролитная коагуляция сводится к понижению электрокинетического потенциала до некоторой предельной величины. В результате становится возможным сцепление взвешенных в пульпе шламовых частиц друг с другом - коагуляция. В настоящее время коагулянты применяются редко из-за большой химической активности этих реагентов, дороговизны и малой эффективности. Широкое применение нашли флокулянты из-за большой эффективности действия и химической пассивности.

Полимерные флокулянты (ПФ) – высокомолекулярные органические химические вещества, которые связывают взвешенные в пульпе частицы друг с другом, образуя флоккулы. Обладая большим объемом и массой, чем шламовые частицы, они преодолевают вязкость среды и осаждаются под действием гравитационных сил. Механизм образования флоккул заключается в адсорбции ПФ на частицах твердой фазы и образовании координационных связей с молекулами поверхностного слоя частицы. Полимерная цепь, связанная с одной частицей, может также присоединяться другими своими адсорбционно-активными группами к другим частицам, образуя, так называемые “мостики” между отдельными частицами. Процесс образования агрегатов шламовых частиц-флокул называется *мостиковой флокуляцией*. Кроме мостиковой флокуляции известен еще *механизм адсорбционного (или химического) покрытия участков поверхности частиц* и понижения за счет этого электрохимического потенциала поверхности частиц, что приводит к их коагуляции и образования агрегатов.

Процесс сгущения применяется часто для обезвоживания шламовых отходов фабрики: отходов флотации, фугатов центрифуг, подрешетных шламовых продуктов грохотов и т. д. При сгущении содержание влаги снижается до 40-50%.

В процессе осаждения частиц из пульпы происходит одновременно осветление шламовой воды (рис. 4.1.4.1.), которая поступает обратно в технологический процесс.



Рис. 4.1.4.1. Перелив радиального сгустителя, получаемый после осветления

Эффективность процесса сгущения зависит от крупности частиц, плотности и температуры пульпы и от эффективности процесса флокуляции. Эффективное действие флокулянтов связано с их молекулярной массой, химической активностью ионов, и условия применения флокулянта. Активность флокулянтов повы-

шается по мере увеличения их молекулярной массы. Молекулярная масса эффективных высокомолекулярных флокулянтов более 10^6 .

С повышением температуры вязкость осаднения, а также разбавление пульпы увеличивается скорость осаждения, а также разбавление пульпы.

Аппараты сгустители. В качестве сгустителей наиболее известны в настоящее время радиальные сгустители с центральным или с периферическим приводом (рис. 4.1.4.2). Используются также пирамидальные отстойники, сгустительные воронки, пластинчатые сгустители и гидроциклоны.

Радиальные (цилиндрические) сгустители – аппараты с диаметром чана от 2м до 25м (с центральным приводом) и от 15 до 200м (с периферическим).

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



Рис. 4.1.4.2. Сгустители радиальный с периферическим приводом

Сгуститель радиальный с центральным приводом (рис. 4.1.4.3) состоит из чана (1), который представляет собой железобетонный круглый резервуар, подвижной фермы – крестовины с гребками, поставленной под углом так, что при вращении вала материал перемещается от периферии к центральному разгрузочному отверстию.

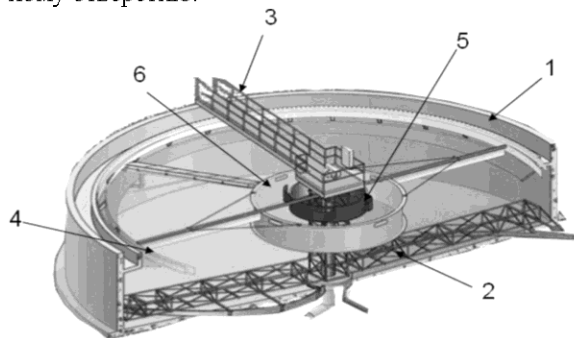


Рис. 4.1.4.3. Сгуститель радиальный с центральным приводом. 1 – чан, 2 – подвижная ферма, 3 – неподвижная ферма, 4 – круговой рельс, 5 – опорная головка, 6 – вращающаяся часть опорной головки

Один конец подвижной фермы (2) опирается на вращающуюся часть центральной головки (6), а другой ходовым колесом на круговой рельс (4). На не-

подвижной ферме (3) уложен желоб, по которому пульпа поступает в резервуар через окно опорной головки (5). К нижнему колесу подвижной фермы прикреплены наклонные скребки.

На неподвижной ферме смонтирована рама с механизмом привода, состоящего из электродвигателя, редуктора и устройства для передачи вращательного движения ходовому колесу. Ходовое колесо, перемещаясь по круговому рельсу, приводит в движение подвижную ферму (2), которая осуществляет перемешивание пульпы.

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

Гидроциклоны широко известны как аппараты-классификаторы. В процессе разделения частиц по размерам они одновременно сгущают продукт, состоящий из наиболее крупных частиц – пески и поэтому используется как сгуститель. Для сгущения шламов применяют гидроциклоны больших размеров 600-1500 мм, которые чаще всего устанавливаются вертикально или под некоторым углом наклона к горизонту (рис. 4.1.4.4.).

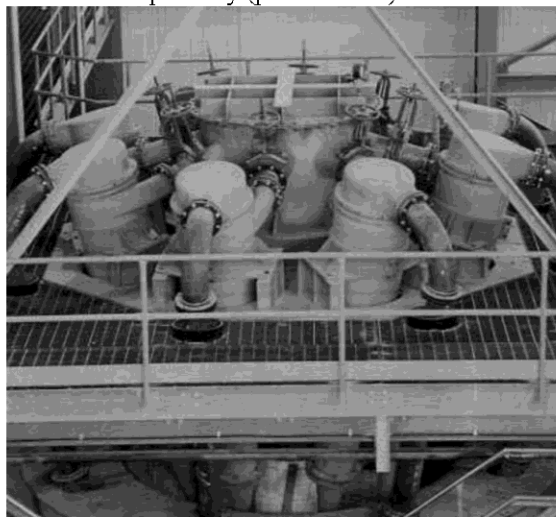


Рис. 4.1.4.4. Гидроциклоны

Пластинчатые сгустители – сгустители с наклонными пластинами (рис. 4.1.4.5.). Любая поверхность имеет шероховатости, которые могут быть центрами образования флоккул. На этом принципе основан процесс обезвоживания шламов в пластинчатых сгустителях.

В пластинчатом сгустителе имеется ряд наклонных пластин (9), которые заключены в корпус. Питание сгустителя (5), смешиваясь с растворами флокулянтов в смесителе (4) поступает в камеру с пластинами.

Образующиеся флоккулы «захватываются» пластинами(9) и становятся центрами образования агрегатов, которые сползают по пластинам в бункер для сгущенного шлама (7). Для интенсификации процесса пластины снабжены вибраторами (8). В верхней части корпуса имеется патрубок для слива осветленной воды.

Пирамидальные отстойники представляют собой ряд последовательных соединенных железобетонных ячеек размером 6×6 м (или 7×7 м) с пирамидальной нижней частью, оборудованных выпускными кранами для сгущенного продукта. Содержание твердого в сгущенном продукте: 300-600 г/л.

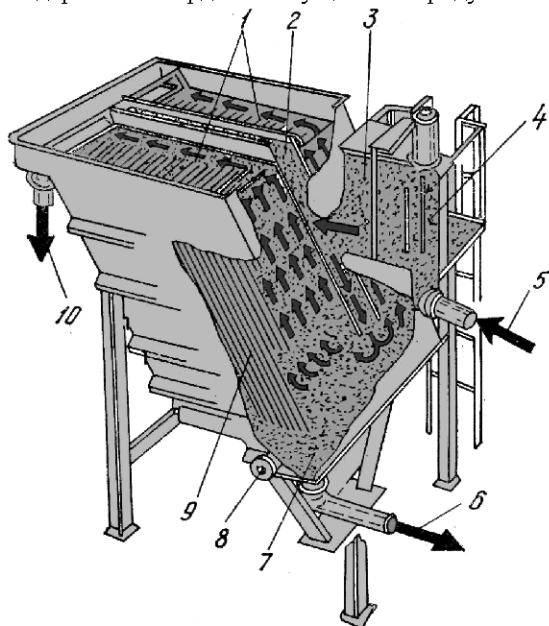


Рис. 4.1.4.5. Сгуститель с наклонными пластинами: 1 – распределительные отверстия для потока, 2 – питающий желоб, 3 – бак для флокулянта, 4 – смеситель, 5 – питание, 6 – сгущенный продукт, 7 – бункер для сгущенного шлама, 8 – пакет вибраторов, 9 – наклонные пластины, 10 – слив осветленной воды

4.1.5. Центрифугирование

Центрифугирование – это процесс обезвоживания продуктов обогащения, состоящих из мелких кусков руды или угля под действием центробежных сил. Центробежные силы интенсифицируют процесс обезвоживания продуктов обогащения. Аппараты называются центрифугами. Известны два типа обезвоживающих центрифуг: фильтрующие и осадительные центрифуги. Фильтрующие центрифуги обезвоживают материал крупностью кусков 2-25 мм, осадительные – 0-2 мм. Они отличаются по конструкции и принципу действия. Центрифуги предназначены для обезвоживания концентратов и промежуточных продуктов обогащения.

Фильтрующие центрифуги используются для обезвоживания мелких классов руды крупностью кусков 2-25 мм, а угля 3(0,5)-13 мм, которые предварительно обезвоживаются до влажности 25–30 % дренированием. Влажность обезвоженного осадка составляет 7–10 %.

Центрифуги бывают шнековые (рис. 4.1.5.1.), вибрационные (рис. 4.1.5.3.) и инерционные. Они отличаются по принципу разгрузки обезвоженного материала.

Аппараты: ФВП; ВПП-32; «Рейнвельд»(Нидерланды, Англия, Франция); НВВ (с вибрационной разгрузкой); ВГ- горизонтальная вибрационная, вибрационная фильтрующая центрифуга HSG-1100.

Фильтрующие центрифуги (рис. 4.1.5.2.) состоят из корпуса (2), распреде-

лительного устройства (1), вращающейся корзины – ротора (3), который является просеивающей поверхностью. При обезвоживании мокрых продуктов обогащения в фильтрующих центрифугах минералы прижимаются к внутренней поверхности под действием центробежных сил. Вода с тонкими шламами отжимается через просеивающую поверхность ротора центрифуги и называется *фугатом*.



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

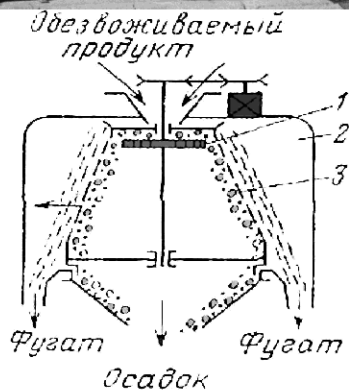


Рис. 4.1.5.2. Центрифуга фильтрующая вертикальная шнековая: 1 – распределительное устройство для обезвоживаемого материала, 2 – корпус, 3 – ротор

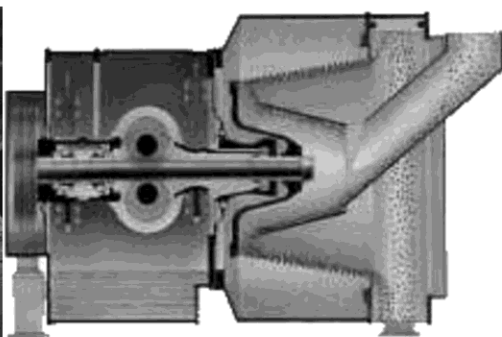
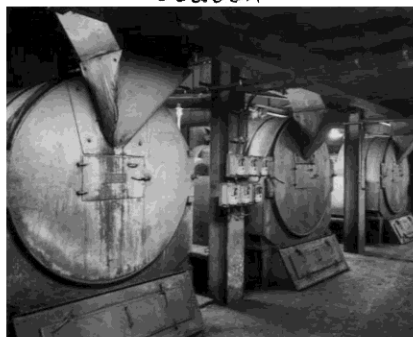


Рис. 4.1.5.3. Центрифуга фильтрующая вибрационная HSG-1100

Центрифуги с вибрационной выгрузкой отличаются автоматической очисткой поверхности сит и более интенсивным отделением влаги. Влажность обез-

воженного угля класса 0-13 мм – $W_{0.13}=7-8\%$, на центрифуге HSG-1100W не более 7%.

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



Рис. 4.1.5.4. Осадительные центрифуги

Аппараты: УЦМ-3; НОГШ-1350; «Декантер» и др.

Ротор расположен горизонтально (рис. 4.1.5.5.), внутри него размещен шнек и дополнительная фильтрующая насадка. Некоторые центрифуги оборудованы вибрационной разгрузкой.

Влажность обезвоженного угольного шлама осадительными центрифугами – 14-16%.

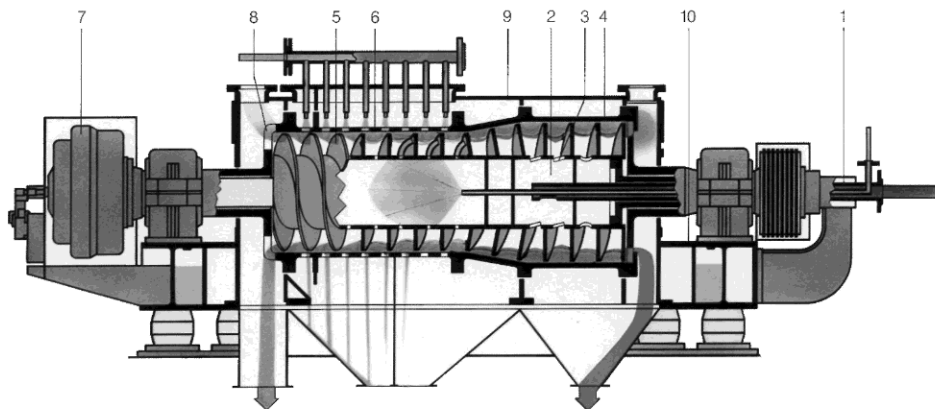


Рис. 4.1.5.5. Осадительная центрифуга «Декантер». 1 – входная труба; 2 – распределительная камера; 3 – отверстия распределительной камеры; 4 – барабан; 5 – шнек; 6 – фильтрующая часть; 7 – редуктор; 8 – выходные отверстия; 9 – корпус; 10 – основная рама

Пульпа, содержащая шлам, подлежащий обезвоживанию, поступает через входную трубу (1) в распределительную камеру (2), которая является внутрен-

60

ней частью ротора-шнека (5). Под действием центробежных сил пульпа распределяется по внутренней поверхности камеры и просачивается через отверстия распределительной камеры во внутреннюю часть ротора-барабана. Под действием центробежной силы более тяжелые твердые частицы суспензии осаждаются на стенках барабана. В *осадительной части* барабана отделенная центрифугированием жидкость (отжатая) течет навстречу передвижению осадка и выводится через сливной порог на торцевой стене (синяя стрелка).

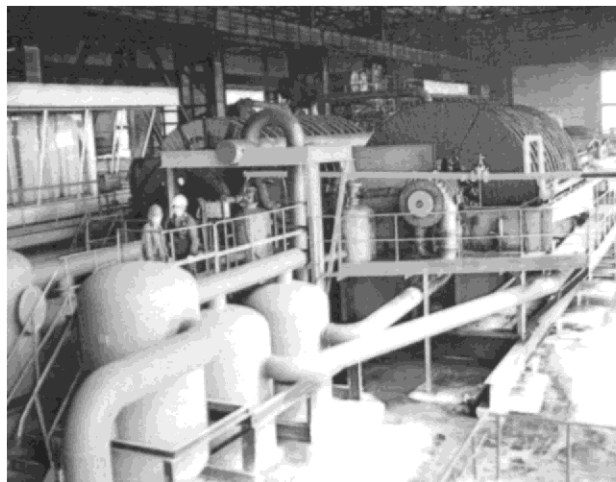
Прижатые центробежными силами к стенкам барабана тяжелые твердые частицы суспензии перемещаются с помощью шнека (5) внутри барабана к *фильтрующей части*. Ротор-шnek вращается с большей скоростью для того, чтобы иметь возможность транспортировать осадок к месту разгрузки. Для регулирования скорости вращения шнека (для изменения числа оборотов шнека по сравнению со скоростью вращения барабана) установлен редуктор (7). В фильтрующей части (6) через отверстия сливается фугат (свободная жидкость). На этой ступени можно при необходимости промывать осадок. Обезвоженный продукт поступает через выходящие отверстия – разгрузочные окна (8) и выводится из корпуса (9).

4.1.6. Фильтрация

Фильтрация – это продавливание пульпы (шламовой воды) через фильтрующую поверхность с образованием осадка твердых частиц. Обычно на фильтрацию поступают частицы размером не более 0,5 мм. Наиболее известны следующие типы фильтрующих аппаратов: дисковые, гипербарические, камерные вакуум-фильтры, ленточные и барабанные фильтр-прессы. Фильтрация заключается в удалении жидкости через фильтрующую поверхность за счет разности давлений по обеим сторонам фильтрующей ткани.

В дисковых, гипербарических, камерных вакуум-фильтрах производят обезвоживание флотационного концентрата (рис. 4.1.6.1.) и других продуктов обогащения с высоким содержанием полезного компонента. Частично обезвоженные в сгустителях шламовые отходы отжимают от воды ленточными и барабанными фильтр-прессами.

Дисковые вакуум-фильтры (рис. 4.1.6.2.) состоят из ряда полых дисков из фильтровальной ткани, помещенных частично в ванну с флотационным концентратом. Диски разделены на сектора, которые при вращении попеременно проходят зоны вакуума, «мертвую» зону и зону компрессионной отдувки. При этом на секторах, проходящих зону вакуума, образуется осадок, сектор с осадком при вращении дисков выходит из пульпы на воздух и при этом осадок на нем высушивается. В зоне компрессионной отдувки высушенный осадок откидывается сжатым воздухом в желоба на ленточный конвейер.



*Рис. 4.1.6.1. Флото-
фильтровальное отде-
ление*



*Рис. 4.1.6.2. Диско-
вые вакуум-фильтры
ДУ-250 Сибирь*

На углеобогатительных фабриках применяются вакуум-фильтры «ANDRITZ» (рис. 4.1.6.3.), ДУ250 Сибирь, Украина-80 и др.

Производительность дисковых вакуум-фильтров и эффективность обезвоживания увеличивается с применением флокулянтов. Они зависят от содержания гидрофильных и особенно глинистых частиц в питании фильтра, которые приводят к образованию обводненных осадков и зашламовке фильтрующей ткани.

Гипербарические фильтры (рис. 4.1.6.4.) работают по тому же принципу, но система фильтрующих дисков заключена в барокамеру.

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

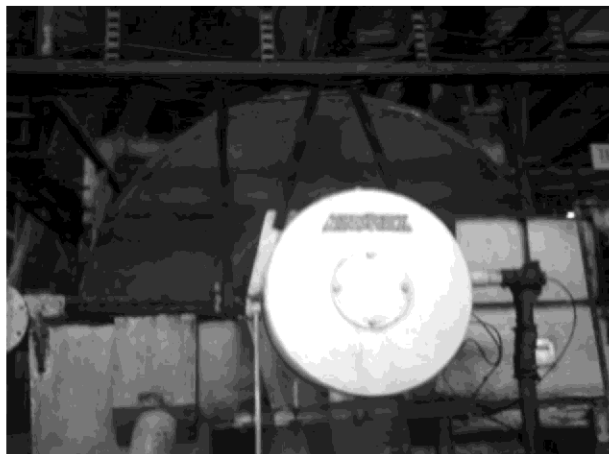


Рис. 4.1.6.3. Дисковые вакуум-фильтры фирмы «ANDRITZ» на Беловской ЦОФ

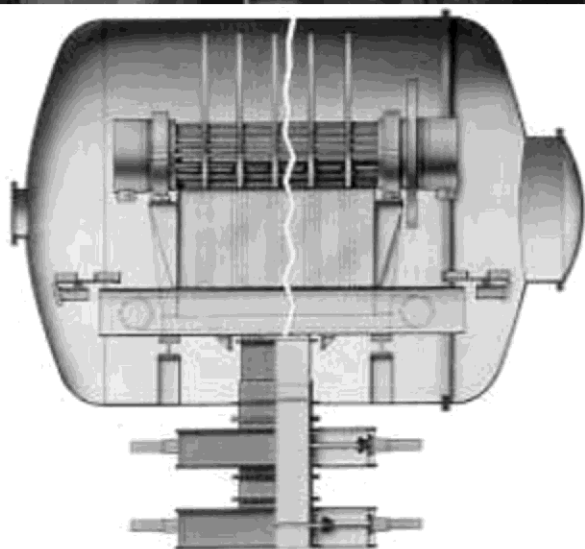


Рис. 4.1.6.4. Гипербарический фильтр фирмы «ANDRITZ»

Сгущенный продукт радиального сгустителя обязательно обрабатывается флокулянтами до творожистого состояния. Помещенный для обезвоживания на ленточный фильтр-пресс он проходит через распределители питания последовательно зоны (рис. 4.1.6.6.): гравитационного дренажа (1), клиновидную зону (2) и зону сжатия-сдвига (3).

В зоне гравитационного дренажа из обезвоживаемого продукта удаляется до 50% влаги, затем он поступает в клинообразную зону, где происходит захват осадка между фильтровальными лентами фильтр-пресса. Важно выбрать оптимальный угол между лентами, чтобы обжим пульпы начинался как можно скорее, но не препятствовал свободному входу пульпы, т.к. в этом случае пульпа будет выдавливаться через края лент. В зоне сжатия-сдвига осуществляется максимальное усилие сжатия, которое увеличивается при уменьшении диаметра волок. Разгрузка осадка фильтр-пресса производится на ленточный конвейер и

отгружается в породный отвал.

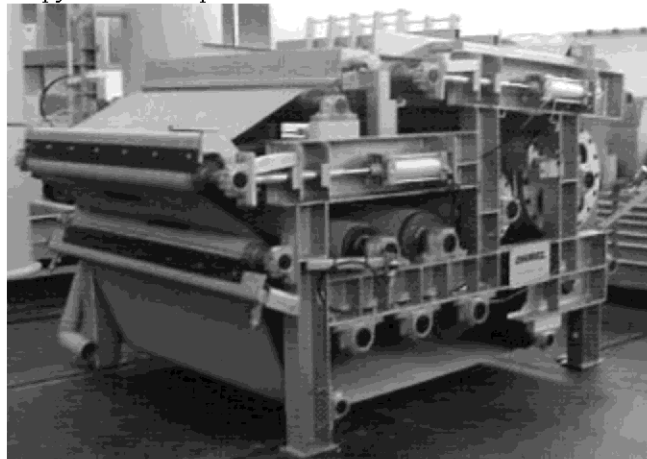


Рис. 4.1.6.5. Ленточный фильтр-пресс фирмы «ANDRITZ»

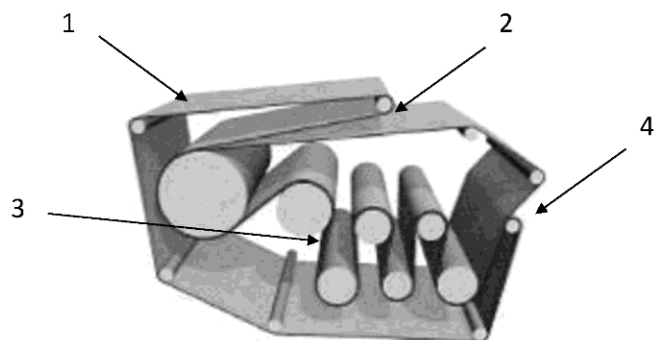


Рис. 4.1.6.6. Иллюстрация принципа работы ленточного фильтр-пресса 1 – зона гравитационного дренажа; 2 – клиновидная зона; 3 – зона сжатия-сдвига; 4 – зона разгрузки осадка фильтр-пресса

4.1.7. Термическая сушка

Сушка – процесс обезвоживания влажного материала, основанный на испарении воды при нагревании горячим воздухом. Аппараты называются сушилками. Основные типы сушилок:

- барабанные сушилки,
- трубы сушилки,
- сушилки кипящего слоя.

Дымовые топочные газы, проходя через слой материала, высушивают его и затем подвергаются обязательной очистке проходя через циклоны и скрубберы (рис. 4.1.7.1.)



Рис. 4.1.7.1. Сушильная установка с газоочистными сооружениями на обогатительной фабрике для энергетических углей. Канада

Барабанная прямоточная сушилка (рис. 4.1.7.2.) представляет собой барабан с наклоном $1-5^\circ$ в сторону разгрузки. Сушилки бывают разных размеров с диаметром барабана от 0,5 до 3,5 м, длиной барабана от 2,5 до 27 м. Барабан опирается на опорные ролики и вращается вокруг своей оси. Частота вращения барабана 1-6 оборотов в минуту. Вращение барабана производится с помощью зубчатого обода, находящегося в зацеплении с шестерней привода. Время сушки 15-40 мин. Температура на входе от 600 до 750°C . Выходящие из топки газы имеют температуру около 1100 , но их объема недостаточно для сушки материала, поэтому в сушку добавляют некоторое количества воздуха из атмосферы. Температура топочных газов и пара на выходе $70-150^\circ\text{C}$. Высушенный материала содержит 4-7 % влаги. Производительность барабанных сушилок – 150-250 т/ч.



Рис. 4.1.7.2. Барабанная прямоточная сушилка

Внутри барабана устанавливают насадки (рис. 4.1.7.3.) для лучшего перемешивания материала.

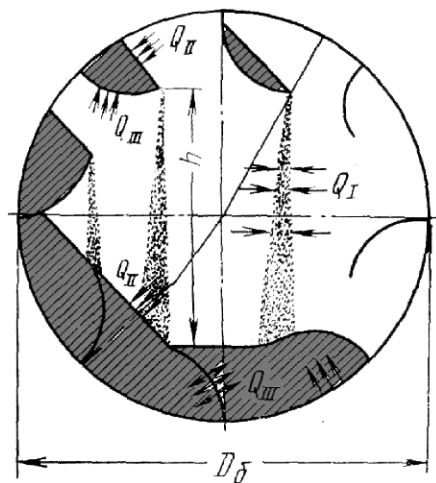


Рис. 4.1.7.3. Схема передачи тепла в сушильном барабане в процессе его вращения и перемешивания материала с помощью насадок-лифтеров.

Насадки бывают различного типа (рис. 4.1.7.4.), они служат лифтерами, поднимая и сбрасывая влажный материал, разрыхляя его и позволяя топочным газам уносить высохший продукт из барабана.

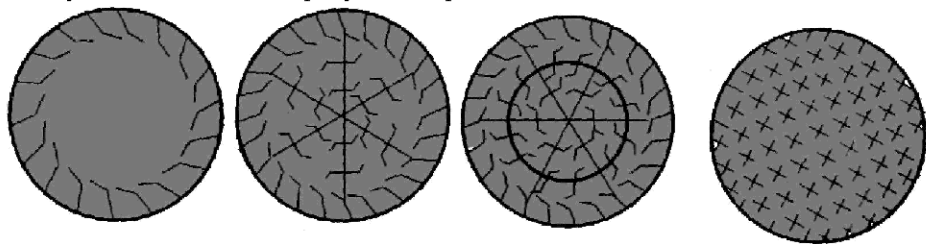


Рис. 4.1.7.4. Внутренние насадки барабанных прямоточных сушилок: а – периферийная; б – секторная; в – секторная с внутренним кольцом; г – крестообразная

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

Газ вместе с парами подвергается очистке. В камере (3), которая представляет собой циклон, высушенный продукт отделяется от газов и выгружается через разгрузочное устройство. Далее газы очищаются от пыли в батарейных пылеуловителях (4), а затем в скруббере – мокром пылеуловителе (6).

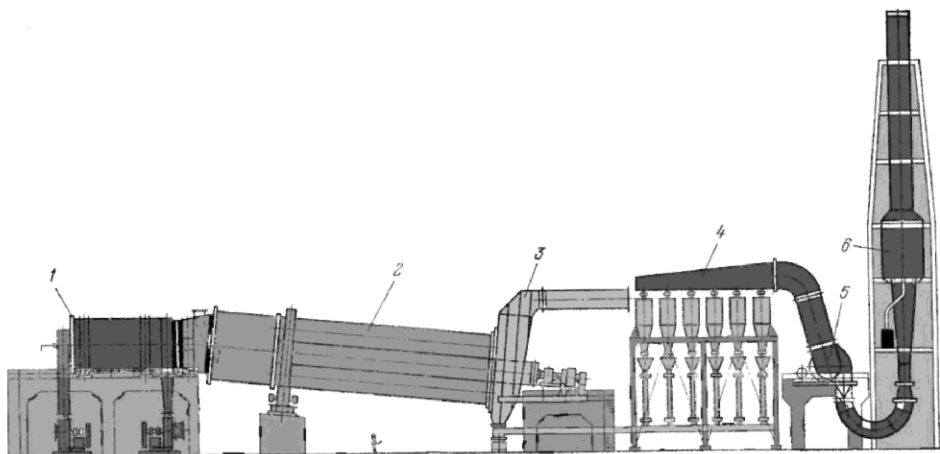


Рис. 4.1.7.5. Крупногабаритная барабанная сушильная установка с газоочистными сооружениями фирмы «Вено-Пик» (Франция): 1 – топка; 2 – сушильный барабан; 3 – разгрузочная камера; 4 – батарея циклонов; 5 – дымосос; 6 – мокрый пылеуловитель

Сушильная установка с трубой-сушилкой (рис. 4.1.7.6.) также широко используется на обогатительных фабриках.

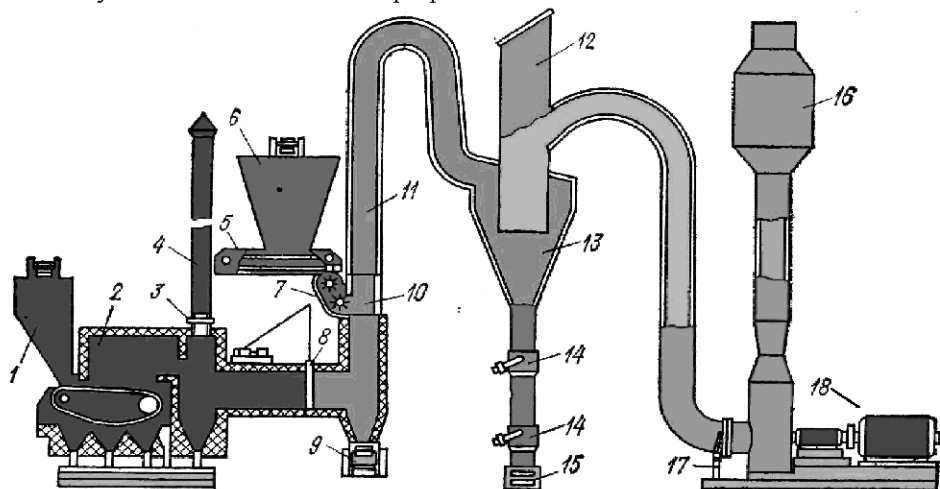


Рис. 4.1.7.6. Схема установки с трубой-сушилкой: 1 – топливный бункер; 2 – топка; 3 – клапан растопочной трубы; 4 – растопочная труба; 5 – скребковый питатель; 6 – бункер влажного угля; 7 – загрузочное устройство; 8 – шибер борова топки; 9 – провальная часть; 10 – загрузочная часть трубы-сушилки; 11 – труба-сушилка; 12 – аварийный клапан; 13 – циклон; 14 – затворы выпуска высушенного угля; 15 – конвейер высушенного угля; 16 – мокрый пылеуловитель; 17 – привод направляющего аппарата дымососа; 18 – дымосос

Из бункера питателя (6) забрасывателем (7) подается материал. В трубу сушилку (11) дымовые газы из топки (2) засасываются при помощи вентилятора дымососа (18) и движутся по трубе вверх, вынося с собой материал, подлежащий сушке.

В трубе материал высушивается, в циклоне (13) отделяется от газов и выгружается через разгрузочное устройство (14) на ленточный конвейер (15). Газы отчищаются от пыли в батарейных пылеуловителях, а затем в скруббере – мокром пылеуловителе (16). Пылеочисти-тельная система имеет обязательно систему защиты от избыточного давления нагретых паров в виде самостоятельно открывающихся клапанов (12).

Крупность частиц поступающих на сушку в трубу-сушилку не более 10-15 мм. Производительность по влажному углю 250-500 кг/м³ч.

Вопросы для самопроверки

1. Какие вспомогательные процессы переработки полезных ископаемых вы знаете?

2. Для чего необходимо обезвоживание продуктов обогащения?

3. Дайте определение содержанию влаги в продуктах обогащения руды.

4. Какие виды влаги вы знаете?

5. Как классифицируются продукты по влажности?

6. Какие методы обезвоживания продуктов обогащения применяются на фабрике?

7. Объясните, каким образом осуществляется процесс дренирования

8. Какие аппараты, используемые для дренирования вам известны, какова крупность подвергаемых дренированию частиц, влажность обезвоженных продуктов?

9. Что собой представляет процесс сгущения?

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

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

12. Каким образом осуществляется процесс центрифугирования?

13. Каким образом обезвоживаются продукты в фильтрующих центрифугах, для какой крупности кусков они предназначены?

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

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

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

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

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

19. Назовите область применения, принципиальное устройство и действие

ленточных фильтр-прессов.

20. Назовите основные типы сушильных агрегатов.

21. Назовите область применения, конструкцию, принцип действия барабанной прямоточной сушилки.

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить материал лекции.

2. Ответить на контрольные вопросы.

Литература: [1 – 11].

ЛЕКЦИЯ 5

Комплексное использование минерального сырья

Окускование полезных ископаемых

Использование отходов обогащения

5.1. Окускование полезных ископаемых

Железорудные концентраты и концентраты других минералов часто необходимо подвергать окускованию, так как составляющие их частицы слишком мелкие (бывают до 40-60 % класса 0,074 мм) и непригодны для дальнейшего использования, например в сталеплавильной промышленности.

Окускование – это процесс обработки тонкозернистых минералов в агрегаты для возможности их дальнейшего эффективного использования.

Существует три способа окускования: брикетирование, агломерация и окомкование.

Агломерация – термохимический способ обработки мелких руд с целью окускования за счет их спекания. Применяется в основном для окускования железорудных концентратов. В процессе агломерации можно изменить химический состав руды, понижая содержание вредных примесей и, тем самым, улучшить ее металлургические свойства. Через слой шихты прокачивается горячий воздух, который получается в процессе сгорания твердого топлива, при этом образуются пористые агрегаты повышенной прочности. Аппараты – агломерационные машины. Температура спекания – 1150-1350° С.

Брикетирование – процесс окускования тонкоизмельченных минералов путем прессования под давлением с использованием связующих веществ с целью получения брикетов – кусков геометрически правильной формы. Аппараты – вальцовые брикетные, ленточные кольцевые и штемпельные прессы. Схема получения брикетов с помощью штемпельного пресса представлена на рис. 5.1.1. Штемпель пресса за одно возвратно-поступательное движение делает один брикет.

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

Угольные брикеты бывают *бытовые* (основной потребитель – население) и *промышленные*, которые находят применение как сырье для полукоксования и

КОКСОВАНИЯ.

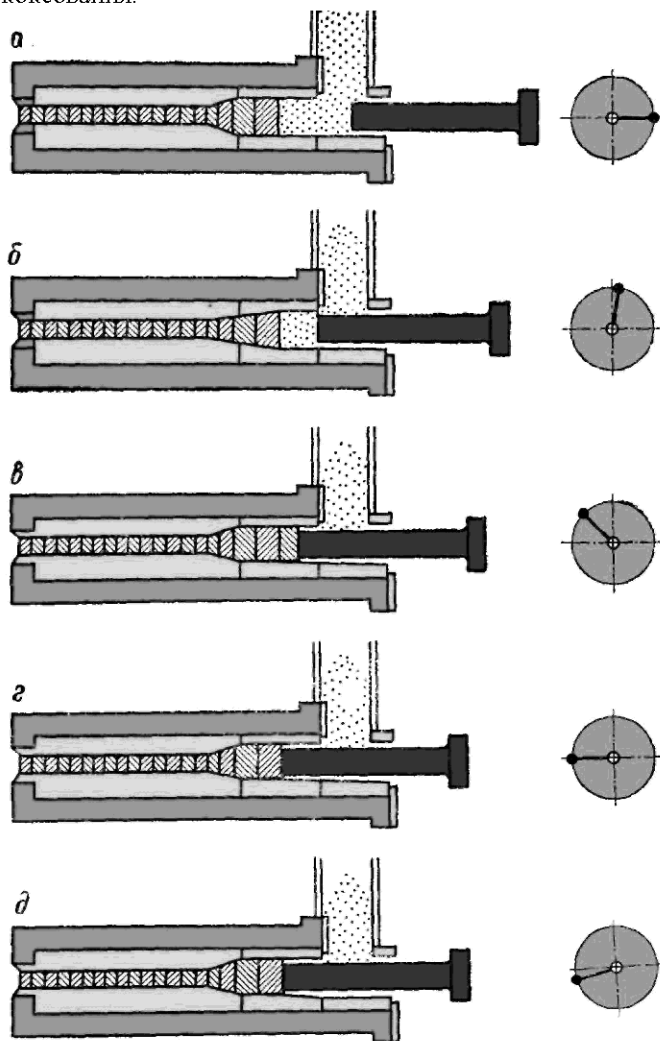


Рис. 5.1.1. Схема процесса брикетирования с помощью штемпельного пресса

Окомкование – процесс окускования тонкоизмельченных влажных минералов (в основном железных концентратов) за счет их способности образовывать при перекачивании агрегаты округлой формы – *окатыши*. Сырые окатыши обжигают. Таким образом подготавливают, например, шихту для дальнейшей агломерации. Шихту перемешивают, увлажняют, добавляют связующие добавки, флюсы и вещества, которые интенсифицируют процесс: известь, мел, бентонит и т. д. и подвергают окомкованию. Аппараты: барабанные и чашевые (рис. 5.1.2.) окомкователи.

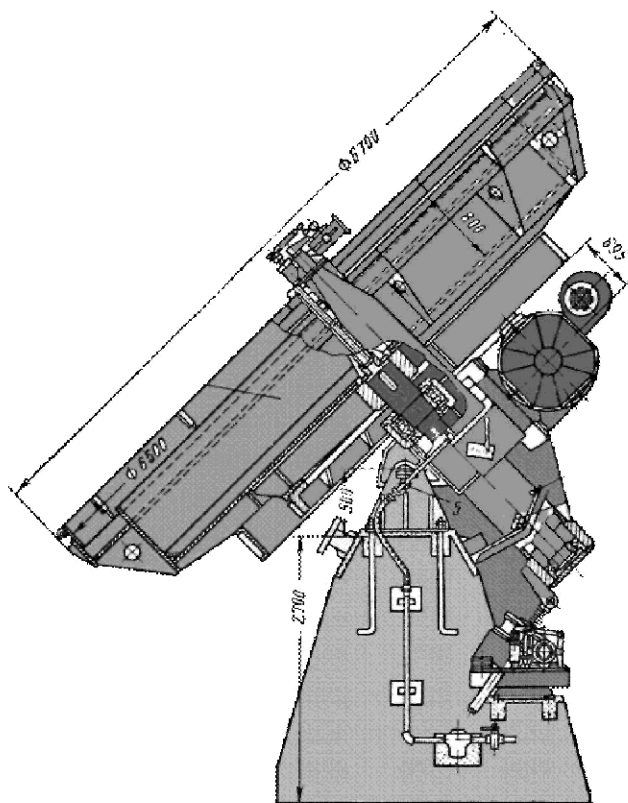


Рис. 5.1.2. Чашевый окомкователь

5.2. Использование отходов обогащения

При проектировании обогатительной фабрики разрабатываются условия применения отходов обогащения в других областях промышленности. Отвальные хвосты часто используют как сырье для других отраслей промышленности. Кварцевые отходы обогащения сырья применяются для стекольной промышленности, глинистые, содержащие окрашенные примеси, для лакокрасочной промышленности. Отвальные хвосты используют для строительства дорог, приготовления кирпичей и для различных строительных работ.

В настоящее время имеет место переработка гидроотвалов углей, зольность которых, как правило, не превышает 30 % (т.е. равносильно зольности углей в некоторых шахтах).

Вопросы для самопроверки

1. Какие продукты обогащения необходимо подвергать окуску-ванию?
2. Какие способы окускования вы знаете?
3. Каким образом осуществляется процесс агломерации?
4. Что представляет собой процесс окомкования продуктов обогащения руды?
5. Дайте определение процессу брикетирования продуктов обогащения.

6. Как классифицируются продукты по влажности?
7. Где находят применение отходы обогащения?

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить материал лекции.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Литература: [1 – 11].

Список рекомендованной литературы

1. Обогащение полезных ископаемых: учебное пособие [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов очной и заочной формы обучения специальностей горного профиля 130405 «Обогащение полезных ископаемых» и 280102 «Безопасность технологических процессов и производств», 130404 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», 080502.14 «Экономика и управление на предприятиях в горной промышленности». /Л.А.Сулина. –Электрон. дан. –Кемерово: КузГТУ, 2012.
2. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. Том IV. Учебник для вузов/ А. А. Абрамов – М.: МГУ, 2008. – 710 с.
3. Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых: учебник для вузов: в 2 т. – М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2006. – Т. 1. Обогащительные процессы. – 417 с.
4. Абрамов А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. В 3-х томах. Том 2. Технология обогащения полезных ископаемых. Учебник для вузов/ А. А. Абрамов – М.: МГУ, 2004. – 509 с.
5. Кармазин В. В. Кармазин В. И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. В 2-х томах. Том 1. Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых. Учебник для вузов/ В. В. Кармазин, В. И. Кармазин – М.: МГУ, 2005. – 670 с.
6. Современная техника и технология обогащения российских углей: Каталог-справочник/Л. А. Антипенко, Ю. Е. Кирюхин, А. А. Гуцин, Ю. А. Толченкин под ред. В. М. Щадова. – Кемерово, Кузбассполиграфиздат, 2008. – 310 с.
7. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования. Каталог-справочник / Под общей редакцией В. М. Щадова / Сост. Г. С. Головин, А. С. Малолетнев. – М.: НТК .Трек. , 2007. – 292 с.
8. Шилаев, В. П. Основы обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 296 с.
9. Фридман, С. Э. Основы обогащения руд и углей и окускование концентратов: учебник для вузов / С. Е. Фридман, О. К. Щербаков, Н. Я. Еремин. – М.: Недра, 1991. – 270 с.
10. Бедрань, Н. Г. Переработка и качество полезных ископаемых: учебник для вузов / Н. Г. Бедрань, Л. М. Скоробогатова. – М.: Недра, 1986. – 290 с.
11. Кармазин, В. И. Процессы и машины для обогащения полезных ископаемых / В. И. Кармазин, Е. Е. Серго, А. П. Жендринский [и др.]. – М.: Недра, 1974. – 559 с.

Учебное издание

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

для студентов направления подготовки 44.03.04

(образовательно-квалификационный уровень бакалавр)

В 2-х частях. Часть 2-я: Основные процессы
переработки полезных ископаемых.

Составитель:

Валентин Иванович Сафонов

Печатается в авторской редакции.

Компьютерная верстка и оригинал-макет автора.

Подписано в печать _____

Формат 60x84¹/₁₆. Бумага типограф. Гарнитура Times

Печать офсетная. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____

Тираж 100 экз. Изд. № _____. Заказ № _____. Цена договорная.

Издательство Луганского национального
университета имени Владимира Даля

*Свидетельство о государственной регистрации издательства
МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015 г.*

Адрес издательства: 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а

Телефон: 8 (0642) 41-34-12, **факс:** 8 (0642) 41-31-60

E-mail: uni@snu.edu.ua **http:** www.snu.edu.ua

Учебное издание

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

для студентов направления подготовки 44.03.04

(образовательно-квалификационный уровень бакалавр)

В 2-х частях. Часть 2-я: Основные процессы

переработки полезных ископаемых

Составитель:

Валентин Иванович Сафонов

Печатается в авторской редакции.

Компьютерная верстка и оригинал-макет автора.

Подписано в печать _____

Формат 60x84¹/₁₆. Бумага типограф. Гарнитура Times

Печать офсетная. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____

Тираж 100 экз. Изд. № _____. Заказ № _____. Цена договорная.

Издательство Луганского национального
университета имени Владимира Даля

*Свидетельство о государственной регистрации издательства
МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015 г.*

Адрес издательства: 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а

Телефон: 8 (0642) 41-34-12, **факс:** 8 (0642) 41-31-60

E-mail: uni@snu.edu.ua **http:** www.snu.edu.ua